

Marthe Solvåg, Ingrid Hynne og Kjersti Drugli

Hvordan kan sensorer og IoT forhindre uplanlagt stans og øke påliteligheten til sperreluftviftene?

Overgang til tilstandsbasert- og prediktivt vedlikehold ved Elkem Thamshavn

Bacheloroppgave i maskin, drift og vedlikehold

Veileder: Viggo Gabriel Borg Pedersen

Mai 2023

Marthe Solvåg, Ingrid Hynne og Kjersti Drugli

Hvordan kan sensorer og IoT forhindre uplanlagt stans og øke påliteligheten til sperreluftviftene?

Overgang til tilstandsbasert- og prediktivt vedlikehold ved Elkem Thamshavn

Bacheloroppgave i maskin, drift og vedlikehold
Veileder: Viggo Gabriel Borg Pedersen
Mai 2023

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



Kunnskap for en bedre verden

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel:

Hvordan kan sensorer og IoT forhindre uplanlagt stans og øke påliteligheten til sperreluftviftene?

How can Sensors and IoT Prevent Downtime and Increase the Reliability of Chargepipe Fans?

Prosjektnr:

MTP-D-2023-01

Forfattere:

Marthe Solvåg, Ingrid Hynne og Kjersti Drugli

Oppdragsgiver eksternt:

Elkem Thamshavn ASA

Veileder internt:

Viggo Gabriel Borg Pedersen

Rapporten er:

Åpen

Dato levert:

22.05.23

Sammendrag:

Denne oppgaven ser på hvordan trådløse sensorer kan bidra til å forhindre uplanlagt stans og øke påliteligheten til kritiske komponenter. For å besvare oppgaven er det utført en FMECA, det er sett på dagens driftsmønster, og ulike tiltak for å øke påliteligheten. Oppgaven har også sett på hvilken nytteverdi sensorene tilfører bedriften, samt hvordan forbruket kan forbedres og hvordan unødvendig skifte av komponenter kan redusere utslipp.

This thesis looks at how wireless sensors can help prevent unplanned shutdowns and increase the reliability of critical components. To answer the task, an FMECA has been carried out, current operating patterns has been looked at, as well as various measure to increase the reliability. The thesis also looked at the values that the sensors add to the company, as well as how consumption can be improved and how unnecessary replacement of components can reduce emissions.

Stikkord:

Kritisk utstyr
Prediktivt vedlikehold
Optimalisering
Tingenes internett
Vedlikeholdsdata

Keywords:

Critical equipment
Predictive maintenance
Optimization
Internet of Things
Maintenance data

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som et gruppearbeid av Marthe Solvåg, Ingrid Hynne og Kjersti Drugli i faget MAST2900 som avsluttende del av studiet drift og vedlikehold ved Norges teknisk- vitenskapelige universitet, NTNU. Oppgaven har gått gjennom hele vårsemesteret 2023, og handler om hvordan tilstandsbasert vedlikehold kan forhindre nedetid, øke påliteligheten og skape en mer bærekraftig drift.

Oppgaven kom som en ide da ett av gruppemedlemmene jobbet hos Thamshavn gjennom bedriften El-Watch. El-Watch sine sensorer gav på en enkel måte mulighet til å overvåke kritisk utstyr. Dette gjorde at gruppen ønsket å se nærmere på hvordan sensorer kan benyttes i vedlikeholdet og bidra til færre uplanlagt stans.

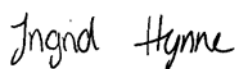
Det har vært svært lærerikt å jobbe i gruppe med denne oppgaven, da alle har ulik erfaring fra jobb med sensorbasert vedlikehold, samt at man som gruppe ofte ser ting fra ulike perspektiver, noe som fører til konstruktive diskusjoner og en bedre forståelse av hvordan man løser en oppgave med ulike synspunkter.

Vi ønsker å takke våre kontakter gjennom perioden. Ansatte hos Elkem Thamshavn som har bidratt i omvisning, intervju og med informasjon når vi har hatt spørsmål. Til slutt ønsker vi å takke Viggo G. B. Pedersen som har vært vår veileder.

Trondheim, 16.05.23



Marthe Solvåg



Ingrid Hynne



Kjersti Drugli

Sammendrag

I 2022 ble det montert trådløse Neuron sensorer fra El-Watch på produksjonskritiske sperreluftvifter ved Elkem Thamshavn. Sensorene ble montert for å samle inn tilstandsdata; vibrasjon-, ampere- og temperaturmålinger. Hensikten med innføringen var å få faktiske tilstandsverdier å forholde seg til, hindre at vedlikeholdet ble gjort på skjønn og fristille tid til andre oppgaver for de ansatte. Uplanlagt stans på en av sperreluftviftene krever stans av produksjonsovn for vedlikehold, noe som er økonomisk kostbart. Målet med innføringen er å få gode tilstandsdata som kan benyttes til å forberede og planlegge vedlikehold på sperreluftviftene til de ukentlige, planlagte stansene. Dette er en del av overgangen til industri 4.0, hvor tingenes internett er en viktig faktor.

Hensikten med oppgaven er å se på om de trådløse sensorene kan bidra til å forhindre uplanlagt stans og øke påliteligheten til sperreluftviftene. For å løse dette har det gjennom fire resultatmål blitt gjennomført en FMECA av sperreluftviftene. Det har også blitt sett på dagens driftsmønster – og mulige tiltak for å øke påliteligheten i fremtiden. Videre har det blitt sett på hvilken verdi El-Watch sitt neuronsystem tilfører bedriften, og hvordan dette kan optimalisere forbruk, samt bidra til å redusere utslipp ved å unngå unødvendig utskifting av komponenter.

Oppsummert viser resultatene i oppgaven at sensorer og tingenes internett (IoT) kan bidra til å forhindre uplanlagt stans og øke påliteligheten til sperreluftviftene. Tilstandsdataen for vibrasjonssensoren gir tydelig indikasjon på unormale mønster, og med satte alarmgrenser er det i dag mulig å forberede og gjennomføre skifte av sperreluftvifte ved planlagt stans. Resultatet peker også på at det kan være fordelaktig med en opprydding i dokumenter og bedre opplæring i - og utnyttelse av bedriftens vedlikeholdsprogramvarer.

Abstract

In 2022, wireless Neuron sensors from El-Watch were installed on production critical chargepipe fans at Elkem Thamshavn. The sensors are mounted to collect data of the conditions: vibration, ampere, and temperature. The purpose of the introduction allowed for the collection of actual conditional values to relate to, prevent maintenance from being done on discretion, and free up time for other tasks for the employees. Unplanned shutdowns of one of the chargepipe fans requires a shutdown of the production furnace for maintenance, which is economically costly. The goal of the introduction is to obtain good condition data that can be used to prepare and plan maintenance on the chargepipe fans for the planned weekly shutdowns. This is the part of the transition to Industry 4.0, where Internet of Things (IoT) are an important factor.

The purpose of the thesis is to look at how the wireless sensors can help prevent unplanned shutdowns and to increase the reliability of the chargepipe fans. To solve this, an FMECA of the chargepipe fans have been implemented through four performance measures. Using the current operating patterns, possible measures could be implemented to increase future reliability. Furthermore, it has been looked at which values El-Watch's neuronal system adds to the company, and how it can improve consumption, while helping to reduce emissions by avoiding unnecessary replacement of components.

In summary, the results of the thesis show that these sensors and the IoT can help prevent unplanned shutdowns and increase the reliability of chargepipe fans. The condition data for the vibration sensors clearly indicates an abnormal pattern, and with set alarm limits, it is currently possible to prepare for and carry out a replacement of the chargepipe fans in the event of a planned shutdown. The result also indicates that it can be beneficial to clean up the documents and provide better training in – and utilization of the maintenance software.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag.....	II
Abstract.....	III
Figurliste.....	VI
Tabelliste.....	IX
Ligning.....	X
Ordforklaringsliste.....	X
1 Innledningskapittel.....	1
1.1 Bakgrunn for valg av tema.....	1
1.2 Avgrensning og problemstilling.....	1
1.3 Resultatmål og effektmål.....	2
1.4 Oppgavens tidsomfang.....	3
1.5 Oppgavens disposisjon.....	3
1.6 Interessentanalyse.....	4
2 Teori.....	5
2.1 Bærekraft.....	5
2.2 Vedlikeholdsstyring.....	5
2.3 Kritikalitetsanalyse.....	7
2.3.1 FMECA.....	7
2.4 Digitalisering.....	9
2.4.1 Industri 4.0.....	9
2.4.2 Tingenes internett.....	10
2.5 Vedlikehold.....	11
2.6 Neuron sensorsystem.....	12
2.6.1 Neuron Vibration.....	12
2.6.2 Neuron Ampere.....	13
2.6.3 Neuron Cellular Gateway.....	13
2.6.4 Neuronsensors.app.....	13
2.7 El-motor.....	14
2.8 Sentrifugalvifte.....	14
2.9 Smelteverket – Elkem Thamshavn.....	15
2.9.1 Beskrivelse av produksjon av silisium.....	15
3 Metode.....	17
3.1 Møter med- og dokumentasjon fra Elkem Thamshavn.....	17
3.2 Litteraturstudie.....	17
3.3 Intervju og omvisning.....	18

3.4 FMECA.....	18
3.5 Kildekritikk.....	18
4 Resultat og funn.....	20
4.1 Informasjon om drift og funksjon av sperreluftvifter.....	20
4.1.1 Organisering	20
4.1.2 Vedlikehold.....	22
4.1.3 Sperreluftviftens funksjon	22
4.1.4 Teknisk info.....	23
4.1.5 Stans.....	24
4.1.6 Sensorikk	24
4.2 FMECA.....	26
4.2.1 Blåser for lite luft.....	27
4.2.2 Blåser ikke luft.....	28
4.3 Data fra Neuronsensors	32
4.3.1 Sensordata ovn 1	33
4.3.2 Sensordata ovn 2.....	37
4.4 Vedlikeholdslogg og vedlikeholdsintervall.....	44
5 Diskusjon.....	46
5.1 Resultatmål 1 - FMECA av sperreluftviftene	46
5.2 Resultatmål 2 - Vurdere hvilken verdi Neuronsensors system gir Elkem Thamshavn.....	47
5.3 Resultatmål 3 - Evaluere driftsmønster av dagens tilstand til sperreluftviftene og foreslå tiltak for å øke påliteligheten.....	50
5.3.1 Sammenstilling mellom sensordata og vedlikeholdslogg.....	51
5.3.2 Redundans, symptomløsning og lagerbeholdning	53
5.3.3 Skjønn og systematisering	54
5.3.4 Tiltak for å øke påliteligheten.....	55
5.4 Resultatmål 4 - Redusere og forbedre forbruk ved bruk av teknologi.....	56
5.5 Validiteten til oppgaven.....	57
6 Konklusjon og videre arbeid	58
6.1 Resultatmål 1 - FMECA av sperreluftviftene	58
6.2 Resultatmål 2 - Vurdere hvilken verdi Neuronsensors system gir Elkem Thamshavn.....	58
6.3 Resultatmål 3 - Evaluere driftsmønster av dagens tilstand til sperreluftviftene og foreslå tiltak for å øke påliteligheten.....	59
6.4 Resultatmål 4 - Redusere og forbedre forbruk ved bruk av teknologi.....	60
6.5 Videre arbeid.....	60
Kildehenvisning.....	61
7 Vedlegg	64

Figurliste

Figur 1: Innføring av IoT har ført med seg sensorovervåking av sperreluftvifter. (Eget bilde)

Figur 2: Interessentmatrise for oppgaven. (Eget bilde)

Figur 3: Styringsløyfa. Tilgjengelig fra:

<https://www.ptil.no/contentassets/9fdd4648b19747aca09c0abd82830c8b/basisvedlikehold.pdf>

Figur 4: Demingssirkelen. Tilgjengelig fra: https://snl.no/kvalitetsledelse_-_produksjonsteknikk

Figur 5: Et potensielt FMECA skjem. Tilgjengelig fra: <https://tinyurl.com/4nfrxdcr>

Figur 6: Utviklingen fra den første industrielle revolusjon til industri 4.0. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>

Figur 7: Ulike typer vedlikehold. Tilgjengelig fra: <https://www.novotek.no/insights/slik-velger-du-riktig-vedlikeholdsstrategi/>

Figur 8: Neuron Vibration. Tilgjengelig fra: https://el-watch.no/wp-content/uploads/2023/01/Productsheet_Neuron_Vibration_2.pdf

Figur 9: Neuron Ampere. Tilgjengelig fra: https://el-watch.no/wp-content/uploads/2023/01/Productsheet_Neuron_Ampere_2-1.pdf

Figur 10: Sperreluftvifte vist fra siden og fremsiden. Lufta kommer inn i en åpning rett til impeller, før den sendes ut. Tilgjengelig fra: <https://styring.nemitek.no/kapittel-103-styring-og-regulering-av-tekniske-anlegg-i-bygg-vifter-og-pumper/ulike-sentrifugalvifter/162598>

Figur 11: Sperreluftvifte oppmontert med el-motor. Blå pil viser el-motoren, mens rød pil viser impeller. (Eget bilde).

Figur 12: Hele systemet, noe som inkluderer viften, viftehuset som er spiralformet, el-motor, luftinntak og rør. (Eget bilde).

Figur 13: Skisse av produksjon av silisium Tilgjengelig fra:

https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2010021004001?page=15

Figur 14: Skisse av oppbyggingen av teknisk avdeling ved Thamshavn. Aktuelle personer for oppgaven er ringet inn i rødt. (Eget bilde).

Figur 15: Sperreluftvifte i drift. (Eget bilde).

Figur 16: Innblikk i prosessen. Chargerøret vises i midten av bildet. Tilgjengelig fra: <https://www.ntnu.no/blogger/teknat/2021/05/27/resirkulering-av-avgass-i-silisiumproduksjon/>

Figur 17: Thamshavns system i Neuronappen. Ved alarm varsles det visuelt i appen. (Eget bilde).

Figur 18: Utklipp fra gjennomført FMECA. Feilårsakene som er markert grå, har RPN under 12 og blir ikke videre presentert. Resterende blir videre presentert i oppgaven. (Eget bilde).

Figur 19: Figuren viser graf for vibrasjon og temperatur på el-motor på vifte 1, ovn 1. Temperaturen går naturlig ned når el-motoren ikke er i bruk (som fra 13.12.22-11.01.23). (Eget bilde).

Figur 20: Diagrammet viser grafer fra sensorer montert på el-motor på vifte 1, ovn 1. Blå graf viser vibrasjon mens rød graf viser strømtrekk. (Eget bilde).

Figur 21: Vifte 2, ovn 1 for hele perioden. (Eget bilde).

Figur 22: Nærmere inn på grafen. Ser at det fortsatt er lave utslag for vibrasjon. (Eget bilde).

Figur 23: Graf for vifte 3, ovn 1 for hele perioden. (Eget bilde).

Figur 24: 18.-22. oktober, økende trend frem til 21. oktober, deretter faller trenden ned til 0.6 g igjen. (Eget bilde).

Figur 25: Vifte 4, ovn 1 for hele perioden. (Eget bilde).

Figur 26: Vifte 5, ovn 1 med stabile trender. (Eget bilde).

Figur 27: Vifte 6, ovn 1 med stabile trender gjennom hele perioden. (Eget bilde).

Figur 28: Vifte 7, ovn 1 med noe økende trend fra desember 2022 til januar 2023. (Eget bilde).

Figur 29: Diagram med graf for vibrasjon og strømtrekk for vifte 1 på ovn 2. Grafen viser en svært ustabil og høy trend frem til 12. oktober. (Eget bilde).

Figur 30: Utfordrende å lese ut data fra dette diagrammet for vifte 2, ovn 2. (Eget bilde).

Figur 31: Fra oppstart til og med 03. februar på vifte 2, ovn 2. (Eget bilde).

Figur 32: Vifte 2 på ovn 2, fra 04. februar til april. Økning fra 05. april, noe som kan ha en sammenheng med stans av ovn for oppstart av omforming. (Eget bilde).

Figur 33: Flat, men ujevn trend på vifte 3, ovn 2. Økning i slutten av perioden, om den vedvarer kan det være tegn på begynnende havari. (Eget bilde).

Figur 34: Vifte 4, ovn 2 svak stigning i vibrasjon. Økning i strømtrekk i midten av januar. (Eget bilde).

Figur 35: Graf med tydelige perioder for hele perioden. Ujevn trend etter fall i vibrasjon 10. august. Jevn trend etter økning og fall fra og med 09. november. (Eget bilde).

Figur 36: Jevn trend med lav vibrasjon på vifte 6, ovn 2. (Eget bilde).

Figur 37: Graf for vibrasjon og strømtrekk for vifte 7, ovn 2. (Eget bilde).

Figur 38: Gradvis økning før det blir rask økning i vibrasjon i oktober. Jevnt strømtrekk. (Eget bilde).

Figur 39: Perioden med økende vibrasjon i oktober 2022 for vifte 8, ovn 2. (Eget bilde).

Figur 40: Vifte 9, ovn 2. Noe økende trend fra mars og ut. (Eget bilde).

Figur 41: Graf for vifte 10, ovn 2. Ujevn graf, men med lave verdier. (Eget bilde).

Figur 42: Vifte 5, ovn 1. (Eget bilde).

Figur 43: Vifte 3, ovn 1. (Eget bilde).

Figur 44: Graf for vibrasjon på vifte 5 fra installasjon til midten av april. Her har det vært to bytter av vifte, noe som også vises godt på grafen. (Eget bilde).

Figur 45: Graf for chargerørvifte 8. (Eget bilde).

Figur 46: Graf for chargerørvifte 1. Tydelig økning i vibrasjon frem til 13. oktober 2022. (Eget bilde).

Tabelliste

Tabell 1: Ordforklaring

Tabell 2: Resultatmålene som er satt i bachelorperioden

Tabell 3: Effektmål for bachelorgruppen som er satt i bachelorperioden

Tabell 4: Effektmål for bedriften som er satt i bachelorperioden

Tabell 5: Risikoverdier for frekvens

Tabell 6: Risikoverdier for konsekvens

Tabell 7: Risikoverdier for oppdagbarhet

Tabell 8: Presentasjon av feilmekanismen feilbalansering av viftehjul med tilhørende kritikalitetsverdier.

Tabell 9: Presentasjon av feilmekanismen ubalanse i stator/rotor med tilhørende kritikalitetsverdier.

Tabell 10: Presentasjon av feilmekanismen feilmontering av el-motor på viftehus med tilhørende kritikalitetsverdier.

Tabell 11: Presentasjon av feilmekanismen slitasje på lager med tilhørende kritikalitetsverdier.

Tabell 12: Presentasjon av feilmekanismen feildimensjonert viftehjul med tilhørende kritikalitetsverdier.

Tabell 13: Presentasjon av feilmekanismen overanstrengelse av el-motor med tilhørende kritikalitetsverdier.

Tabell 14: Presentasjon av feilmekanismen ubalanse i stator/rotor med tilhørende kritikalitetsverdier.

Tabell 15: Presentasjon av feilmekanismen feildimensjonert viftehjul med tilhørende kritikalitetsverdier.

Tabell 16: Fire arbeidsordrer i EAM som er utført etter sensorer ble montert i juni 2022.

Ligning

Ligning 1: Ligning for RMS (Root Mean Square)

Ligning 2: Kjemisk reaksjon av silisium i smelteovn

Ligning 3: Kjemisk reaksjon av silisium i smelteovn

Ordforklaringsliste

I tabell 1 blir det presentert ulike forkortelser, begrep og ord som har blitt brukt gjennom oppgaven.

Begrep	Betydning engelsk	Betydning norsk
AC	Alternating current	Vekselstrøm
AO		Arbeidsordre
CMMS	Computerized maintenance management system	Datastyrt vedlikeholdsstyringssystem
EAM	Enterprise Asset Management	
FMECA	Failure mode, effects and criticality analysis	Feilmode, effekt og kritikalitetsanalyse
FN	United Nations	De forente nasjoner
FV		Forebyggende vedlikehold
g	Acceleration from gravity	Tyngdekraft
IKT, IT		Informasjons- og kommunikasjonsteknologi
IoT	Internet of Things	Tingenes internett
IP	Ingress protection	Kapslingsgrad
OD		Oljedirektoratet
PDCA	Plan-Do-Check-Act	Planlegg, utfør, vurder, iverksett
RMS	Root mean square	Effektivverdien
RPM	Revolutions per minute	Omdreiningstall (turtall)
RPN	Risk Priority Number	Risikoindeks

Tabell 1: Ordforklaring

1 Innledningskapittel

Dette kapittelet presenterer bakgrunnen for valgt tema, hvilke avgrensninger som har blitt gjort og problemstillingen som er satt. Det er også presentert hvilke resultat- og effektmål som er satt, metodikken for hvordan oppgaven er løst, samt oppgavens disposisjon og en interessentanalyse.

1.1 Bakgrunn for valg av tema

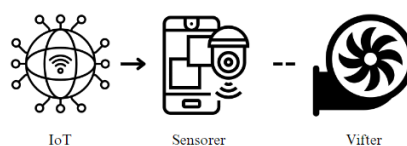
Elkem Thamshavn har startet med innføring av tingenes internett (IoT) og prediktivt vedlikehold, noe det har blitt et økt fokus på. Som en del av innføringsprosessen åpnet det seg en mulighet til å se på hvordan driften og vedlikeholdet kan optimaliseres på en av bedriftens kritiske komponenter; sperreluftviftene.

For bachelorgruppen er dette en oppgave som omhandler mange av emnene gjennom studieløpet, samt mulighetene til å gå dypere inn i optimalisering av drift på en komponent. For utenom det tekniske med komponentene, er optimalisering og bruk av data fra sensorer overførbart til ulike bedrifter og prosesser. Oppgaven er veiledende for å fremme tiltak som kan bidra til å nå FN's bærekraftsmål.

1.2 Avgrensning og problemstilling

Hensikten med denne oppgaven er å vurdere og fremme forslag som er med å gjør overgangen fra manuell inspeksjon til sensorbasert tilstandsovervåkning så effektiv som mulig.

Det er montert over 100 trådløse sensorer fra El-Watch (figur 1) hos Elkem Thamshavn. Avgrensningen for oppgaven er at vi kun ser på én type kritisk komponent. Denne komponenten er sperreluftviftene, også kalt chargerørvifter. Viftene er et kritisk støttesystem til produksjon på Elkem Thamshavn. Stans på en av viftene vil føre til produksjonsstans. Oppgaven tar for seg alle sensorer som er montert på sperreluftviftene, med hovedfokus på vibrasjonssensorene.



Figur 1: Innføring av IoT har ført med seg sensorovervåkning av sperreluftvifter

I forprosjektfasen ble det detektert flest problemer på den største av de to ovnene, navngitt ovn 2. Oppgaven er derfor i hovedsak basert på å løse problematikken på ovn 2. Den generelle besvarelsen vil dog gjelde begge.

Ved hjelp av den metodiske fremgangsmåten beskrevet i kapittel 3, svarer oppgaven på følgende problemstilling:

Hvordan kan sensorer og IoT forhindre uplanlagt stans og øke påliteligheten til sperreluftviftene?

Problemstillingen besvares gjennom 4 resultatmål som presenteres nedenfor i kapittel 1.3.

1.3 Resultatmål og effektmål

Et resultatmål skal beskrive hva som skal være oppnådd når prosjektet er ferdig, det skal være etterprøvbart og konkret (Rolstadås m.fl., 2020). Det er fastsatt fire resultatmål som skal besvares gjennom bachelorperioden. Resultatmålene er vist i tabell 2.

	Resultatmål
1	FMECA av sperreluftviftene
2	Vurdere hvilken verdi Neuronsensors system gir Elkem Thamshavn
3	Evaluere driftsmønster av dagens tilstand til sperreluftviftene og foreslå tiltak for å øke påliteligheten
4	Redusere og forbedre forbruk ved bruk av teknologi

Tabell 2: Resultatmålene som er satt i bachelorperioden.

Effektmål skal oppgi gevinst for brukerne av tiltaket (Rolstadås m.fl., 2020). Det er delt inn i to ulike grupper med effektmål. I den ene tabellen er det effektmål for bachelorgruppen og i den andre er det effektmål for bedriften, Elkem Thamshavn. Effektmålene står i tabell 3 og 4.

Effektmål for gruppen	
1	Få bedre kunnskap til sensorsystemer som tilstandsbasert vedlikeholdstiltak
2	Sette tillært teori og praksis sammen
3	Prosjektplanlegging, gruppearbeid og rapportskrivning
4	Godt samarbeid innad i gruppen

Tabell 3: Effektmål for bachelorgruppen som er satt i bachelorperioden.

Effektmål for bedriften	
1	Nyttig veiledning
2	Godt samarbeid mellom gruppe og bedrift
3	Bedre kjennskap til sensorsystemet
4	Nøytralt innblikk i utnyttelse og verdi av nåværende sensorikk

Tabell 4: Effektmål for bedriften som er satt i bachelorperioden.

1.4 Oppgavens tidsomfang

Bachelorperioden har vart i ett semester der start til slutt er fra januar til mai 2023. Kontakten med Elkem Thamshavn ble opprettet i desember 2022. Dette for å avklare kontaktpersoner, kommunikasjonsform, informasjon om avtaler samt endelig bekreftelse på samarbeidet. Det ble også gitt en omvisning hos bedriften for å se på prosessene og hvordan vedlikeholdet er organisert. I kapittel 3 vil det bli presentert en mer grundig gjennomgang av hvilke metoder som har blitt brukt for å løse oppgaven.

1.5 Oppgavens disposisjon

Oppgaven består av totalt seks kapitler inkludert innledningskapittel, hvor de fem neste med underliggende delkapittel er:

- Teorikapittel med relevant teori som brukes i oppgaven for å løse resultatmålene
- Metodekapittel med forklaring av metoden som er brukt i oppgaven
- Funn og resultater presenterer informasjon fra intervju, FMECA som er gjennomført, data fra neuronsensors.app og vedlikeholdsloggen til Elkem Thamshavn
- Diskusjon med vekt på resultatmålene i oppgaven
- Konklusjon basert på diskusjon

1.6 Interessentanalyse

«Arbeid med interessenter har i praksis to vinklinger: dels analyse av hvem prosjektet må forholde seg til (interessentanalyse), dels aktiviteter for å håndtere disse ulike interessentene (interessentstyring)» (Rolstadås m.fl., 2020).

Forskning viser at det er viktig å følge opp interessenter og etablere midler for å håndtere dem, for å unngå problemer. I dette tilfellet er det ikke særlig mange interessenter, og kun studentene som har stor innflytelse og stor interesse. Dess flere nøkkelspillere, jo viktigere er det med en tydelig plan og gode rammer (Rolstadås m.fl., 2020). Interessentanalysen for denne oppgaven er illustrert i figur 2.

Innflytelse	Stor	Tilfredsstilles	Nøkkelspillere Studentene (oppgaveskrivere)
	Liten	Minimal innsats NTNU El-Watch	Holdes informert Elkem Thamshavn Veileder
		Liten	Stor
		Interesse i prosjektet	

Figur 2: Interessentmatrise for oppgaven.

2 Teori

Kapittel 2 omhandler relevant teori for oppgaven. Her er det teori om bærekraft, vedlikeholdsstyring, kritikalitetsanalyse og digitalisering. Det er også presentert teori om vedlikehold og utviklingen i feltet, samt teori om El-Watch sitt sensorsystem, el-motor og sentrifugalvifte. Det er også lagt til et delkapittel om hvordan produksjonen av silisium foregår på Elkem Thamshavn.

2.1 Bærekraft

Bærekraft er et ord som ofte blir brukt for å beskrive idealet om bærekraftig utvikling. «En bærekraftig utvikling vil si en utvikling som tilfredsstillende behovene til menneskene som lever nå, uten å ødelegge fremtidige generasjoners muligheter til å tilfredsstillende sine behov» (Tjernshaugen, 2022). Bærekraft er inspirert av FN sine bærekraftsmål og de omhandler diskusjoner om å kunne bekjempe miljøproblemer, fattigdom og nød (Tjernshaugen, 2022).

Bærekraftsmål 12 omhandler ansvarlig forbruk og produksjon. Dette målet går ut på å kunne gjøre mer, men ved å bruke mindre ressurser. For at dagens og fremtidige generasjoner skal ha gode levekår, må livsstilen til forbrukerne endre seg. De endringene som et samfunn, men også enkeltindivider kan gjøre, er å redusere ressursbruk, miljøføringelse og klimautslipp. Ved å minske disse så vil det på sikt få økonomisk vekst, klimaendringene vil bli begrenset og livskvaliteten til individer på jorden vil økes (FN-sambandet, 2023).

2.2 Vedlikeholdsstyring

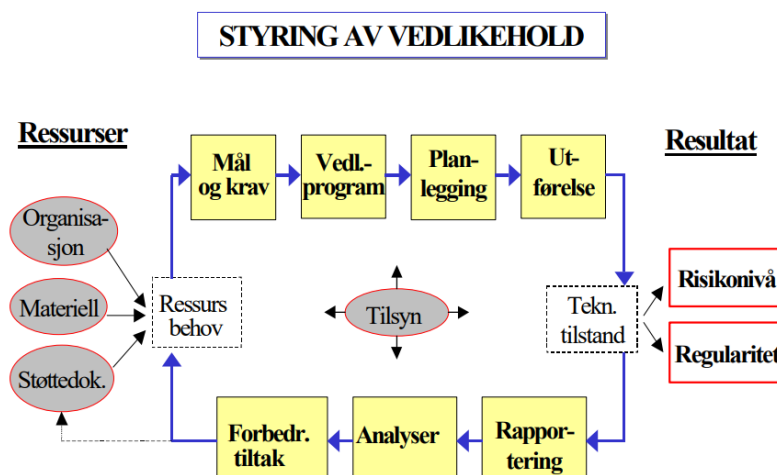
Oljedirektoratet (OD) startet høsten 1996 et prosjekt ved navn «Basisstudiet vedlikeholdsstyring». «Målet for prosjektet er å utvikle en metode for systematisk og helhetlig vurdering av selskapenes eget vedlikeholdsstyringssystem» (Oljedirektoratet, 1998). Med dette prosjektet ønsket OD også å bidra til å forbedre kvaliteten på operatørsystemene for styring av sikkerhetsrelatert vedlikehold generelt, og å sette operatørene i stand til å bedre planlegge for ODs forventninger og krav på dette området (Oljedirektoratet, 1998).

Flere faktorer bidro til gjennomføringen av prosjektet, og disse faktorene var:

- Mangelfull internkontroll av virksomheter mot vedlikeholdsfunksjonen
- Manglende OD-kapasitet til å forfølge enkeltfelt

- Behovet for mer effektiv vedlikeholdsstyring av utrangert utstyr
- Nye krav til kontrollsystemet på grunn av innføring av mer avanserte optimaliseringsverktøy

Det ble satt opp pilotstudier av prosjektet «Basisstudiet vedlikeholdsstyring» hos Norske Shell, Elf Petroleum Norge og Norsk Hydro i løpet av 1997 og vinteren 1997/1998. Shell, Elf og Hydro sine erfaringer ga verdifulle innspill til videreutvikling av en styringsmodell for sikkerhetsrelatert vedlikehold. Denne modellen er illustrert i figur 3 (Oljedirektoratet, 1998).

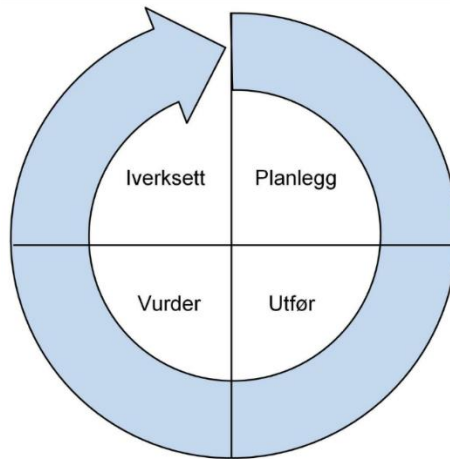


Figur 3: Styringsløyfa (Oljedirektoratet, 1998).

Denne modellen er også kalt styringsløyfen og er et resultat av prosjektet som ble gjennomført av OD. Målet til styringsløyfen er å gjøre vedlikeholdet kontinuerlig, og sløyfen starter med at det blir satt opp mål og krav. Dette vil påvirke hvilke vedlikeholdsprogram som tas i bruk, planlegging for hvilke vedlikeholdsaktiviteter som skal gjøres, og utførelse av vedlikeholdet. Når disse er gjennomført vil det gis tilbakemeldinger i form av rapportering og analyser. Det blir så gjort forbedringstiltak basert på rapportering og analyser, og deretter blir det satt opp nye mål og krav. Dette gjør at styringsløyfen er lukket og kontinuerlig (Oljedirektoratet, 1998).

Demingsirkelen (figur 4), også kalt PDCA (Plan-Do-Check-Act), er et hjelpemiddel for å få kontinuerlig forbedring i bedrifter. Sirkelen består av fire deler. Og dette er planlegg, utfør, vurder og iverksett. Hva som skal gjøres i de forskjellige delene av sirkelen er som følgende. I planleggingsdelen skal problemer i en prosess identifiseres, for så å planlegge hvordan problemene kan korrigeres. De eksperimentelle korrektive tiltakene skal så gjennomføres i delen som heter utfør. Etter at tiltakene er utført, skal det sjekkes om tiltakene har gitt de

ønskede resultatene. Dette gjøres i delen som heter vurder. Siste punktet i sirkelen er iverksett og her skal prosessen bli modifisert og den reviderte prosessen skal tas i bruk. Ved å utføre hvert av punktene i sirkelen kontinuerlig, så vil prosessen kontinuerlig forbedres (Rolstadås, 2022).



Figur 4: Demingssirkelen.

2.3 Kritikalitetsanalyse

I samfunnet i dag er det mye utstyr som er avhengig av å fungere når det skal, altså ha en høy pålitelighet. Dersom det feiler kan det ha store konsekvenser, som for eksempel livreddende maskiner på sykehus. Samtidig er hyppigheten av at maskinen feiler en faktor som avgjør hvor kritisk utstyret er. Kritikaliteten til utstyr avgjøres derfor slik: konsekvens * hyppighet = kritikalitet (ddv.org, 2022). En analyse som benyttes til å vurdere kritikaliteten av utstyr iblant annet industrien er kritikalitetsanalysen, FMECA, som er beskrevet nedenfor.

2.3.1 FMECA

En FMECA er en feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse, og den ble utviklet i hovedsak til å analysere problemer som kunne føre til svikt i militære systemer. En FMECA blir gjennomført for å analysere årsaker til forskjellige feilmoder og de påvirkningene de har. Analysen definerer altså mulige feil, og feilene er basert på omfattende gjennomganger av komponenter og delsystemer. Etter at gjennomgangen er ferdig, så blir det bestemt en rekkefølge for å eliminere de feilene som ble funnet. Analysen kan implementeres enkelt uten noen avanserte analyseteknikker, men det er viktig å forstå formålet og de operasjonelle grensene for systemet som blir analysert (Goo m. fl., 2019). Ifølge en artikkel i tidsskriftet International Journal of

Naval Architecture and Ocean Engineering skrevet av Goo m. fl. (2019) skal følgende oversatt liste av

«grunnleggende spørsmål bli besvart i en FMECA:

1. Hvordan kan hver komponent feile?
2. Hvilke mekanismer kan produsere feilmodene?
3. Hvis feilen oppstår, hva kan da effekten være?
4. Er feilen i sikker eller usikker sone/retning?
5. Hvordan kan feilen oppdages?
6. Hvilke iboende bestemmelser er gitt i utformingen til å kompensere for eventuelle feil?

Basert på de spørsmålene som er nevnt ovenfor skal følgende trinn utføres:

1. Systemet som blir sett på skal defineres og avgrenses.
2. Systemets hovedfunksjoner skal defineres.
3. Operasjonell mode til systemet skal beskrives.
4. Systemet nedbrytes til delsystemer slik at de kan håndteres mer effektivt.
5. Diagram og tegninger til systemet skal gjennomgås slik at sammenhenger mellom de ulike delsystemene kan bestemmes.
6. Hvert delsystem får en komplett komponentliste. Her blir det beskrevet hvordan drift og ytre påvirkninger kan ha en innvirkning på driften av systemet.»

Når spørsmålene er besvart og trinnene har blitt utført, registreres problemdefinisjon og analyseresultater i et FMECA-skjema. Dette skjemaet er illustrert i figur 5. Hvert element i FMECA-skjemaet får så en tildelt risikoindeks. Denne risikoindeksen blir funnet ved å multiplisere frekvens, konsekvens og oppdagbarhet. Hver feilmode blir klassifisert i forskjellige nivåer og dette avhenger av sannsynligheten for feil. Konsekvens blir definert til å være omfanget av feil, tap og konsekvenser på systemnivå. Oppdagbarhet er systemets evne til å kunne oppdage potensielle feil og årsaker, under ulike inspeksjoner som blir utført ved vedlikehold av systemet. Innenfor produksjonsindustrien er en FMECA et av de viktigste dokumentene for kvalitetskontroll (Goo m. fl., 2019).

Analyseobjekt:
Referanse:

Dato:
Navn:

Beskrivelse av enheten			Beskrivelse av feilen			Effekten av feilen		Risiko				Risiko- reduserende tiltak	Ansvarlig	Merknad
Ref. nr.	Funksjon	Operasjonell mode	Feilmode	Feilårsak	Hvordan opp-dage feilen?	På del-systemet	På systemet	Frek.	Kons.	Oppd.	RPN			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)

Figur 5: Et potensielt FMECA skjema.

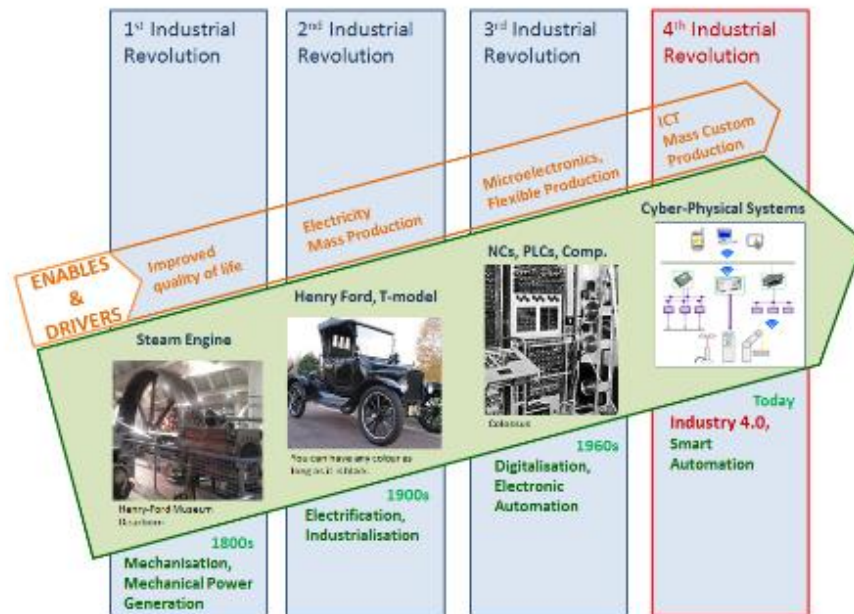
2.4 Digitalisering

For mer enn 30 år siden kom den såkalte «IT-boomen». Den nye teknologien, spesielt internettets oppstart, skapte store muligheter for utvikling overalt i samfunnet. Som Jari Collin (2015) sier: «Digitalisation has become a global megatrend that is fundamentally changing existing value chains across industries and public sectors.»

Som følge av den pågående digitaliseringen har blant annet kunstig intelligens og tingenes internett (IoT) kommet på banen (Danielsen, 2015). Perioden for den digitale utviklingen blir ofte kalt industri 4.0, som presenteres nedenfor.

2.4.1 Industri 4.0

Industri 4.0 blir også kalt den fjerde industrielle revolusjonen. En videreutvikling av den industrielle revolusjonen på 1800-tallet, hvor det var en overgang fra håndkraft til maskinkraft, som førte til større fabrikkproduksjon. Etter den første industrielle revolusjonen har ikke utviklingen stoppet, som vist på figur 6. I Tyskland i 2011 oppstod begrepet industri 4.0, hvor dagens produksjon består av avanserte digitaliserte industrielle systemer som blant annet benytter tingenes internett og maskinlæring til å gjøre driften mer effektiv, lønnsom, bærekraftig og kundetilpasset (Rojko, 2017).



Figur 6: Utviklingen fra den første industrielle revolusjon til industri 4.0

2.4.2 Tingenes internett

Begrepet tingenes internett, også kjent som Internet of Things med sin forkortelse IoT, oppsto på slutten av 1990-tallet. Fra 1990-tallet og til nå har det vært en rask utvikling innenfor kommunikasjonsteknologi, sensorteknologi, batteriteknologi og kraftige små datamaskiner, og det er denne utviklingen som har gjort IoT mulig. IoT er et IKT-system hvor fysiske enheter som for eksempel biler, klokker og overvåkningsutstyr kommuniserer med hverandre og med internett. De fysiske enhetene kan altså sende og motta informasjon til hverandre gjennom internett. De fysiske enhetene i IoT er ofte utstyrt med enheter som eksempelvis sensorer som måler temperatur, trykk eller posisjon, samtidig har de kommunikasjonsutstyr. Ved hjelp av utstyret som er montert i enhetene kan man ved hjelp av IoT hente ut informasjon som trengs. Bruksområdene hvor IoT kan anvendes er mange, men noen eksempler er miljøovervåkning, energiovervåkning og smarte hus. Utfordringer som er knyttet til IoT er for eksempel at de har en begrenset levetid da enhetene i IoT er små og ikke koblet til strømmettet, og dette gjør at de er avhengige av batterier for å fungere (Øverby, 2021).

2.5 Vedlikehold

Vedlikehold kan deles inn i to hovedtyper; korrektiv- og forebyggende vedlikehold. Korrektivt vedlikehold er vedlikehold som utføres etter at en feil er oppdaget, og gjøres for å sette komponenten tilbake i stand til å utføre krevd funksjon. Korrektivt vedlikehold kan deles inn i forutsett og uforutsett korrektivt vedlikehold. Forutsett korrektivt vedlikehold gjøres på komponenter man har lagt opp til at skal havarere. Gjennom analyse kan det avdekkes at noe vedlikehold er mest hensiktsmessig å gjennomføre forutsett, med tanke på økonomi, tidsbruk og kompleksitet. Uforutsett korrektivt vedlikehold må gjøres på komponenter som havarerer akutt, som man ønsker å få tilbake i drift så raskt som mulig (Bye, 2009).

Forebyggende vedlikehold er vedlikehold som utføres før svikt/havari. Dette er planlagt og har til hensikt å hindre at det skjer svikt eller feil som kan få følgeskader, hindre skader på miljø og mennesker og i tillegg redusere behovet for korrektivt vedlikehold. Forebyggende kalenderbasert vedlikehold er tidsfastsatt med faste intervaller (Bye, 2009). Tilstandsbasert vedlikehold kan forklares som «forebyggende vedlikehold som omfatter vurdering av fysisk tilstand, analyse og mulige påfølgende vedlikeholdstiltak» (Standard Norge, 2017). Prediktivt vedlikehold kan forklares som «tilstandsbasert vedlikehold som utføres etter en prognose utledet av gjentatt analyse eller kjente egenskaper og evalueringer av de vesentlige parameterne for degradering av enheten» (Standard Norge, 2017). De ulike typene av vedlikehold er illustrert i figur 7.



Figur 7: Ulike typer vedlikehold.

2.6 Neuron sensorsystem

Neuron sensorer kommer fra den norske bedriften El-Watch. Alle sensorene til El-Watch er trådløse og sender data til en sky via en gateway. I denne oppgaven vil fokuset være på to ulike sensorer: Neuron Vibration og Neuron Ampere.

2.6.1 Neuron Vibration

«Vibrasjon er hurtige og periodiske bevegelser, svingninger. Ordet blir spesielt brukt om hurtige, elastiske svingninger i stive legemer» (Grøn, 2021). Vibrasjon er en tilstandsparameter som kan brukes til å detektere både degradering og belastning. RMS (Root Mean Square) gir energiinnholdet i vibrasjonen i gjennomsnitt, hvor peak er definisjonen på hvor langt massen beveger seg (Pedersen, 2022):

$$RMS = \frac{Peak}{\sqrt{2}} = 0.707 * Peak \quad (1)$$

Neuron Vibration er en trådløs sensor som måler vibrasjon og overflatetemperatur (figur 8), heretter også omtalt som vibrasjonssensor. Sensoren har en innebygd magnet til festing på eksempelvis el-motorer og det er også der temperaturen måles. Av tekniske detaljer måler den 80 millisekund hvert 2. minutt og sender direkte til gateway og Neuron cloud. Oppløsningen er på 0.001 g og måleområdet fra 0-12 g RMS akselerasjon (summen av x-, y, og z-aksen). Sensoren har IP67 (kapslingsgrad), opptil 10 års batteritid, og ved utgått batteri må sensoren byttes ut. Sensoren kan benyttes til blant annet prediktivt vedlikehold, el-motor- og pumpeovervåking, driftstidsovervåking og strukturovervåking (El-Watch a).



Figur 8: Neuron Vibration.

2.6.2 Neuron Ampere

Neuron Ampere (figur 9) er en trådløs sensor som måler vekselstrøm (AC), heretter også kalt strømtrekksensor. Sensoren er bygd opp med delt kjerne for enkel montering, og festes derfor på allerede eksisterende kabler for måling. Sensoren har IP40, og opptil 10 års batterilevetid. Amperesensoren måler hvert 10. sekund og sender målinger hvert 2. minutt, eller akutt dersom det er over 20% endring i måleverdi. Nøyaktigheten på sensoren er 1.6% (EI-Watch b).



Figur 9: Neuron Ampere.

2.6.3 Neuron Cellular Gateway

Neuron Cellular Gateway er et mellomledd mellom sensorer og Neuron cloud. Gatewayen legges inn i appen på samme måte som sensorene, ved å skrive inn serienummer eller scanne QR-koden. Integrert eSIM med sømløs roaming globalt gjør at den kan benyttes hvor som helst, så lenge det er 2G, 3G, 4G eller 5G. Neuron Cellular Gateway har driftsspenning på 10-32 VDC med maks 5W (EI-Watch c).

2.6.4 Neuronsensors.app

Neuronsensors er nettappen som benyttes for å installere sensorer og gateway fra Neuron, samt for å lese av- og hente ut data. Etter å ha opprettet en bruker med passord, er neste steg å lage et system med gateway og sensorer. Disse kobles opp i systemet ved bruk av serienummer. Når det er gjort, vil dataen komme umiddelbart inn i systemet, og loggingen er i gang. Ved ønske om å analysere dataen i andre programmer - eller innlemme den i eksisterende CMMS eller vedlikeholdsprogram, gjøres det via «integrations». På neuronsensors kan det settes alarmregler som betyr at man får umiddelbar varsling på valgte verdier enten på SMS eller mail.

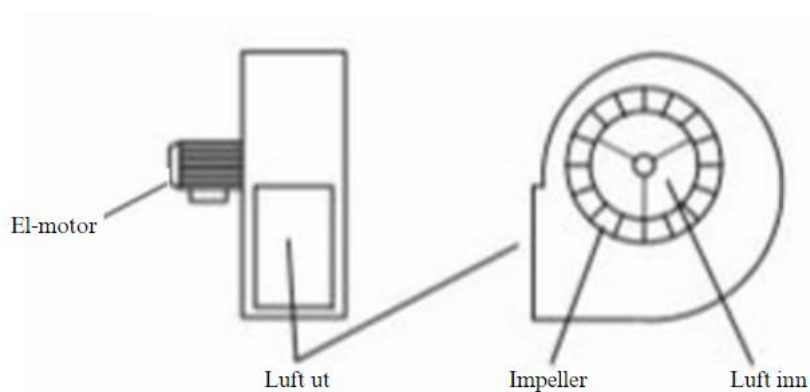
2.7 El-motor

En elektrisk motor er en maskin som opptar elektrisk effekt og avgir mekanisk effekt i en roterende bevegelse ved hjelp av strøm fra strømmettet eller batteri. En el-motor drives i prinsippet av å utnytte kreftene mellom magnetpoler for å skape roterende eller lineær bevegelse (Pedersen, 2021).

Den mekaniske energien som skapes overføres via en aksling til en maskin. Maskinen kan utføre mange ulike arbeidsoppgaver, både drift av fastmonterte maskiner og maskiner i bevegelse. Eksempler på dette er vifter, biler, kjøkkenmaskiner, skrumaskiner og lignende (Ryland, 2018).

2.8 Sentrifugalvifte

En sentrifugalvifte er en type vifte der luft blir trukket inn i midten og skytes ut radially mot periferien. Sentrifugalviften har radially anordnede blader som er festet til en roterende aksel. Luften blir flyttet med en sentrifugalkraft fra midten mot kanten (periferien), deretter blir luften fanget av en kapsel og mates inn i et rør (Høye, 2019). Ved feil byttes hele enheten; vifte, el-motor og flens, som avbildet på figur 10.



Figur 10: Sperreluftvifte vist fra siden og fremsiden. Lufta kommer inn i en åpning rett til impeller, før den sendes ut.

I figur 11 vises det hvordan flensen er montert på el-motoren, og figur 12 avbilder hele systemet ferdig montert på plass. Systemet henger sammen med sperreluftrørene ved at det går et mindre korrugert rør fra viftene til sperreluftrøret.



Figur 11: Sperrluftvifte oppmontert med el-motor. Blå pil viser el-motoren, mens rød pil viser impeller



Figur 12: Hele systemet, noe som inkluderer viften, viftehuset som er spiralformet, el-motor, luftinntak og rør

2.9 Smelteverket – Elkem Thamshavn

Elkem er eid av China National Bluestar de har produksjonsanlegg og salgskontor over store deler av verden (Holm, 2016). Elkem er organisert i ulike divisjoner; hvor Elkem Thamshavn ASA, herav kalt Thamshavn, er en av fem smelteverk tilhørende Elkem Silicon Materials. Thamshavn produserer opp mot 50 000 tonn med metallurgisk Silisium og 28 000 tonn microsilica i sine lokaler på Orkanger hvert år (Norconsult, 2020).

På det 28 000 m² store havneområdet til Thamshavn har det siden 1800-tallet vært ulik industrivirksomhet og i 1964 ble den første smelteovnen bygd opp. På grunn av behov for økt produksjonskapasitet ble ovn 2 installert i 1981. Den dag i dag driftes både ovn 1 og ovn 2, men systemet er modernisert og optimalisert i stor grad siden oppstart (Norconsult, 2020).

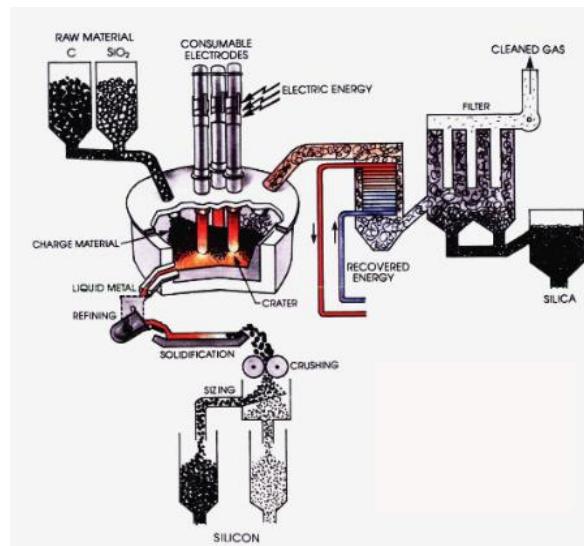
2.9.1 Beskrivelse av produksjon av silisium

Hele 27.7% av jordskorpen består av silisium, noe som gjør det til det nest vanligste grunnstoffet etter oksygen (Kofstad og Pedersen, 2022). Silisium finnes ikke i ren form, men bundet sammen til to oksygenatom, kalt silisiumdioksid, SiO₂. For å få rent silisium må silisiumdioksidet reduseres ved bruk av smelteovn. I en ideell verden vil den teoretiske kjemiske reaksjonen i smelteovnen (ligning 1 og 2) se ut slik:



Men i praksis får vi ikke helt rent silisium da det vil inneholde omtrent 1-2% av andre elementer. Ulikheter i renheten og kvaliteten av silisiumet vil avhenge av smelteovn og produksjonsmetode (Schei m.fl., 1998).

Hjerte av produksjonen ved Thamshavn er to lysbuesmelteovner, ovn 1 og ovn 2, hvor ovn 2 er den nyeste og største. En skisse over ovnenes oppbygning finnes nedenfor (figur 13). Ovnene er bygd opp av en gryte fylt med ladematerialene ull og kvarts. I topp er det montert tre elektroder, disse senkes ned i ladematerialet. En trefasestrøm går gjennom materialet hvor det når en temperatur opp mot 2000°C på det varmeste. Ved denne temperaturen omformes silisiumoksidet til silisium, og tappes ut i bunnen av ovnen. Siste del av prosessen er raffinering hvor partikler fjernes, og sammensetning justeres til spesifisert renhet. Til slutt etter avkjøling knuses det til ønsket størrelse (Schei m.fl., 1998)



Figur 13: Skisse av produksjon av silisium.

3 Metode

I dette kapittelet gjøres det rede for hvilke metoder som er brukt for å løse oppgaven. Kapittelet består av 5 delkapittel og her vil de ulike metodene gjennomgås, til slutt vil kildekritikk bli diskutert.

3.1 Møter med- og dokumentasjon fra Elkem Thamshavn

Oppgaven kom til som en følge av at sperreluftviftene med el-motor er en komponent det mest sannsynlig skal være enkelt å ha tilstandsovervåkning på, noe som er montert opp med sensorer fra El-Watch. Samtidig er det nødvendig å klare å nyttiggjøre seg sensordataen for å unngå unødvendig stans og få dataen inn i de øvrige vedlikeholdsrutinene. Det er et skritt fra å montere opp sensorer og bygge system, til å klare å nyttiggjøre seg dataen som kommer fra sensorene.

Det ble gjennomført flere møter med ansatte i Elkem Thamshavn for å få informasjon om hvordan vedlikeholdet gjennomføres i dag. Hva er korrektivt, preventivt og prediktivt? Benyttes andre programmer enn EAM? Hvor mye er dokumentert og hvor mye er personavhengig? Det er også blitt gjort en dokumentgjennomgang. I hovedsak har gruppen gjennomgått vedlikeholdshistorikk på sperreluftviftene, tekniske data på komponenten og sett på kontinuerlig sensordata fra Neuronsensors.

3.2 Litteraturstudie

Det er benyttet litteraturstudie for å øke kunnskapsgrunnlaget om tilstandsbasert vedlikehold og vibrasjon. Underveis i prosessen ble det benyttet både kjedesøking, systematisk søking og bevisst tilfeldig søking. Ved kjedesøking tas det utgangspunkt i en tekst, og videre på kilder som er brukt i den aktuelle teksten også videre. Her er det viktig at første tekst er sikker, for å være trygg på at man benytter en god tråd. I denne måten «anbefaler» forfattere hverandre (Rienecker og Jørgensen, 2013).

Det ble også benyttet systematisk søking. Blant annet i søket etter informasjon om IoT og tilstandsbasert vedlikehold. Her ble både google, NTNU oria og tilgjengelig faglitteratur på Blackboard benyttet. Det ble også benyttet bevisst tilfeldig søking i starten av prosessen. Det vil si at det søkes tilfeldig og at man lar seg inspirere av informasjon man kommer over (Rienecker og Jørgensen, 2013).

Det er benyttet informasjon fra bøker, nettsider, forelesningsnotater og rapporter. I oppstarten ble det en del skumlesing og arbeid for å skaffe oversikt over hvilken litteratur som finnes på det aktuelle temaet. For å få en bedre forståelse av teorien som er benyttet, har det også blitt gjennomført samtaler med kompetente personer som jobber med de aktuelle temaene daglig.

3.3 Intervju og omvisning

Det ble tidlig i prosessen gjennomført en omvisning på Thamshavn med vedlikeholdsleder og automatiker ved Elkem Thamshavns elektroavdeling. Her ble det sett nærmere på komponenten på lager og på komponenten i bruk. Det ble også gjennomført formelle kvalitative intervjuer om vedlikehold, vedlikeholdsprogramvaren EAM, FV-runder som gjennomføres, bruken av IoT, konkret oppbygging av sperreluftviften og generelt hvordan vedlikeholdet er organisert og gjennomføres. I tillegg dukket det opp flere spørsmål både underveis i omvisningen og gjennom intervjusamtalene.

3.4 FMECA

Første del av FMECA ble gjennomført før samtaler og omvisning på Thamshavn. I denne delen ble vanlige feilmøder som kan oppstå i en vifte og el-motor notert ned og diskutert. Dette for å ha et grunnlag før samtaler med aktuelle personer på Thamshavn. Det var naturlig å benytte seg av de ansatte som jobbet tettest med sperreluftviftene, for å få kartlagt normale feilårsaker, frekvens og risiko best mulig.

3.5 Kildekritikk

Ved informasjonshenting skal man alltid forholde seg kritisk til informasjon og materiell som brukes, spesielt fra internett. Som hovedregel er det forsøkt å finne informasjon som er fagfellevurdert. Allikevel har det vært nødvendig å hente informasjon fra andre kilder i tillegg, noe som betyr at det er nødvendig å være ekstra kildekritisk.

Ved å benytte kjedesøking er det avgjørende å være trygg på den første kilden, da den til en viss grad legger grunnlaget for de videre kildene. Ved å benytte denne måten kan det også være at man i liten grad får ulike syn og meninger på en sak, da første forfatter kan ha benyttet kilder som underbygger sin sak. Ved systematisk søk vil det være lurt å søke etter det samme i flere

søkemotorer, for å se om de samme kildene kommer opp i flere søk. Bevisst tilfeldig søking bør i hovedsak benyttes i oppstartsfasen, for å se om det er ulike aspekter som bør implementeres i oppgaven utenom det som er tenkt på forhånd.

4 Resultat og funn

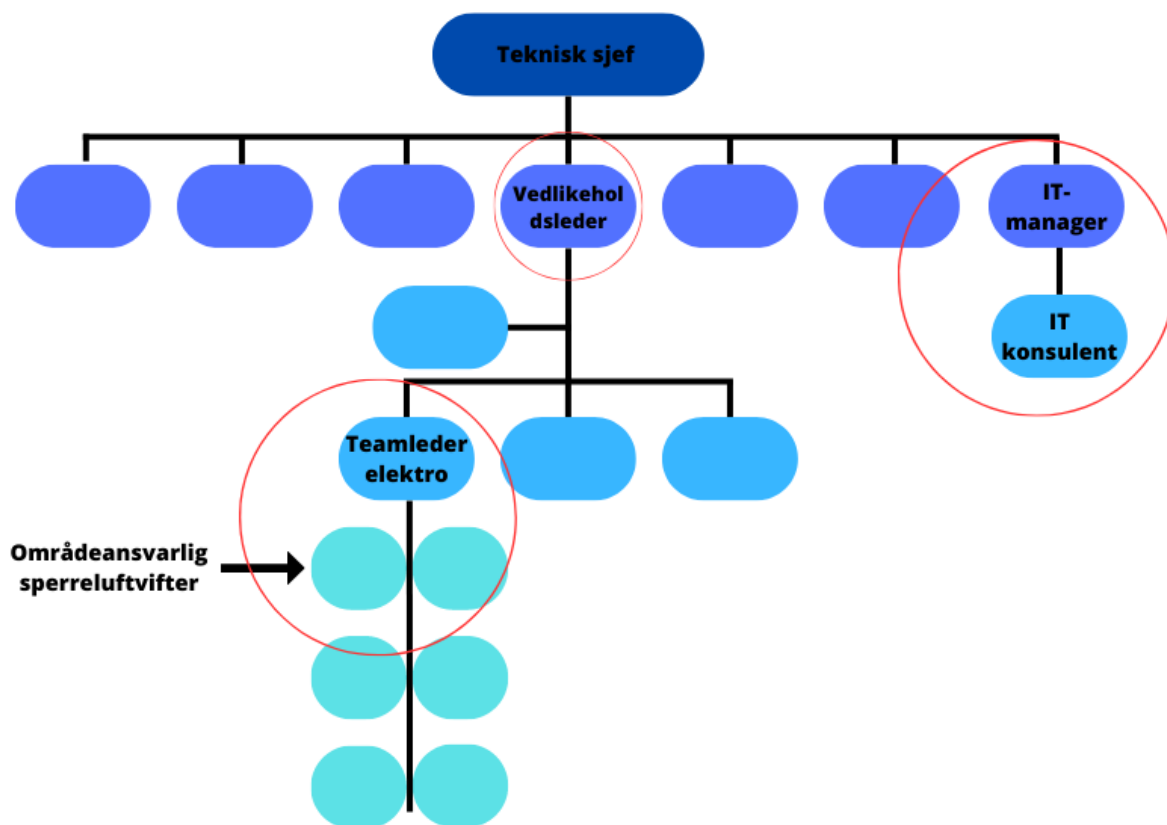
I dette kapittelet blir det presentert hvilke resultater det er kommet fram til og hvilke funn som har blitt gjort.

4.1 Informasjon om drift og funksjon av sperreluftvifter

Dette delkapittelet inneholder informasjon om driften, sperreluftviftene og sensorikk. Som nevnt tidligere ble denne informasjonen innhentet i intervju med flere ansatte ved Thamshavn, samt ved mailkorrespondanse før og etter intervju. Samt hvordan Thamshavn er organisert og hvordan vedlikehold rapporteres. I tillegg en beskrivelse over planlagte- og uplanlagte stanser ved Thamshavn, og kostnadene det innebærer.

4.1.1 Organisering

Thamshavn er organisert i flere ulike avdelinger, hvor vedlikehold er under teknisk avdeling. I denne avdelingen sitter også blant annet IT, prosessutvikling og elektro. I figur 14 er organiseringen i teknisk avdeling skissert. For at alle de ulike ansvarsområdene skal kunne lage gode systemer og rutiner for rapportering, analyser og innføring av forbedrende tiltak, må det ifølge vedlikeholdssløyfa være god ledelse i alle ledd. Dette gjelder helt fra konsernnivå ned til avdelingsnivå for at målene som er satt kan nås.



Figur 14: Skisse av oppbyggingen av teknisk avdeling ved Thamshavn. Aktuelle personer for oppgaven er ringet inn i rødt.

I fjor ble en ekstern aktør innleid for å gjennomgå forbedringspunkter hos Thamshavn ved teknisk avdeling. Ved denne gjennomgangen ble det belyst noen forbedringspunkter, som blant annet hvordan rapportering og dokumentasjon blir håndtert. Ved Thamshavn benyttes i dag Microsoft Excel som et støttesystem til vedlikeholdsprogrammet EAM (Enterprise Asset Management). Dette fordi EAM ikke har alle nødvendige funksjoner for dokumentasjon av vedlikehold nødvendig. Med dette mister man muligheten til å samle dokumentasjon på tvers av avdelinger og verdien av å sette ulik informasjon sammen forsvinner.

Den siste tiden har Thamshavn investert i sensorbaserte overvåkningssystemer på prosessesystemer. Ansvarlig for innkjøp og konfigurering av sensorer er IT-avdelingen, men det er tiltenkt at vedlikeholdsavdelingen og prosessavdelingen skal benytte dataen. For de aktuelle sensorene i denne oppgaven, er det elektroavdelingen som har ansvar for vedlikehold og reparasjoner på sperreluftviftene.

4.1.2 Vedlikehold

Som nevnt ovenfor benytter Thamshavn seg av vedlikeholdsprogrammet EAM. Dette er fortsatt i implementeringsfasen.. Vedlikeholdskodene som blir brukt i programmet er kodene 510 og 530. Koden 510 er for planlagt korrektivt vedlikehold med redundans, og denne koden blir fort misforstått. Her menes det at systemet skal kjøres til havari, da det er veid opp som like lønnsomt/enkelt som prediktivt vedlikehold. Koden 530 er for planlagt bytte av deler, og arbeidet gjøres før komponenter går i stykker.

FV-runder med visuell sjekk gjennomføres for å høre om det er unormale lyder fra systemet eller økende vibrasjoner. Runden har tidligere blitt utført av områdeansvarlig annenhver dag. Andre som er i området rapporterer også om de hører eller ser noe uvanlig, og det blir deretter sjekket av områdeansvarlig. Vifte 1 som står i midten av systemet blir ikke sjekket hver dag, da den er vanskelig å komme til. Denne viften blir kun sjekket én gang i uken da det er feiestans. Etter at vibrasjonssensorene er montert opp, har hyppigheten på disse rundene blitt lavere, ned mot 1-2 ganger hver 14. dag. Områdeansvarlig er ofte i området allikevel, og kan da sjekke dersom det er tegn til noe unormalt.

4.1.3 Sperreluftviftens funksjon

Viften sees på som en enhet bestående av el-motor, impeller og viftehus som vist i figur 15. I tillegg består installasjonen av et rør som fører lufta inni chargerøret.



Figur 15: Sperreluftvifte i drift.

Sperreluftviftenes funksjon i driften er å skape et overtrykk ved å blåse luft ned chargerørene. Dette er for å unngå oppsamling av uforbrent gass av silisiumoksid (SiO) og karbonmonoksid (CO) på overflaten i ovnen, samt opp i chargerørene (figur 16). Ved ovn 1 er det sju chargerør og dermed sju vifter. Ved ovn 2 er det ti chargerør og dermed ti vifter.

Feilfunksjon eller stans på én av viftene vil føre til produksjonsstans. Derfor anses disse viftene som kritiske komponenter for driften. En uplanlagt stans har store økonomiske konsekvenser, og ønskes derfor å unngås.



Figur 16: Innblikk i prosessen. Chargerøret vises i midten av bildet.

4.1.4 Teknisk info

Sperreluftviftene er av typen sentrifugalvifte. El-motoren som driver viftebladet er ved ovn 1 på 1,1kW. El-motor på sperreluftvifter på ovn 2 er på 2,2 kW, altså dobbel størrelse av ovn 1. El-motor ved ovn 2 er av typen Sew-Eurodrive, DRN90L2, 50Hz, 2905rpm, IP 65, IE3. Sett bort ifra størrelse på el-motor er alt annet på komponenten helt likt.

El-motorene var også av samme størrelse før, frem til cirka år 2011, da ble størrelsen på sperreluftvitemotorene økt. Det skjedde da en gassutblåsing på ovn 2 og det ble satt i gang tiltak for å få økt mengde oksygen inn i ovnen for å unngå at det skulle skje igjen. Gassavløpet hvor gassen skal forlate ovnen er på østsiden av ovnen. For å lede gassen dit, ble det besluttet å åpne portene rundt ovnen mer på vestsiden, samt øke effekten på sperreluftviftene for økt trykk der. Dette ville være med å raskere kortslutte gassen på ovnsverflata og frakte den mot gassavløpet. El-motorene ble da økt opp fra 1,1 kW til 2,2 kW. Det er noe uklart om det er større åpning på porten, øking av trykk i sperreluftviftene eller begge tiltakene til sammen som

er nødvendig for å unngå en ny gassutblåsing. Begge tiltakene som ble gjennomført den gangen er fortsatt gjeldende i dag.

4.1.5 Stans

Det er tre ulike planlagte stanser på Thamshavn som kan benyttes til vedlikehold. Dette er feiestans, rutinstans og revisjonsstans. Feiestansen gjennomføres en gang per uke, ulike dager for ovn 1 og ovn 2. er hver uke og utføres på forskjellige dager for ovn 1 og ovn 2. Feiestansen er ukentlig for å feie i kanalene, dette er det prosessavdelingen som styrer. Ved denne stansen kan også annet vedlikehold utføres ved behov, da ovnene uansett stanses. Rutinstansen er cirka hver 5. uke på hver ovn, denne stansen er det teknisk avdeling som står for. Revisjonsstans er to ganger i året og da blir ovnene stoppet samtidig. Det blir utført en grundig sjekk av systemet og vedlikehold gjennomføres. Feiestans, rutinstans og revisjonsstans er planlagte stanser. Målet er å få lagt alt vedlikehold til disse stansene, for å unngå stanser i mellomtiden.

Uplanlagt stans er stopp i produksjonen utenfor de planlagte stansene/tidene. Det er to ulike konsekvenser av uplanlagt stans. Dersom det skjer i ukedager mellom 07.00-15.00, vil feilen kunne oppdages og rettes raskt på grunn av mange ressurser på jobb. Når uplanlagt stans skjer utenfor dette tidsrommet, vil det kreve vaktutkalling, noe som øker kostnadene på grunn av utrykning til arbeidslokasjon, tapt produksjon og deler og tid brukt i vedlikehold.

4.1.6 Sensorikk

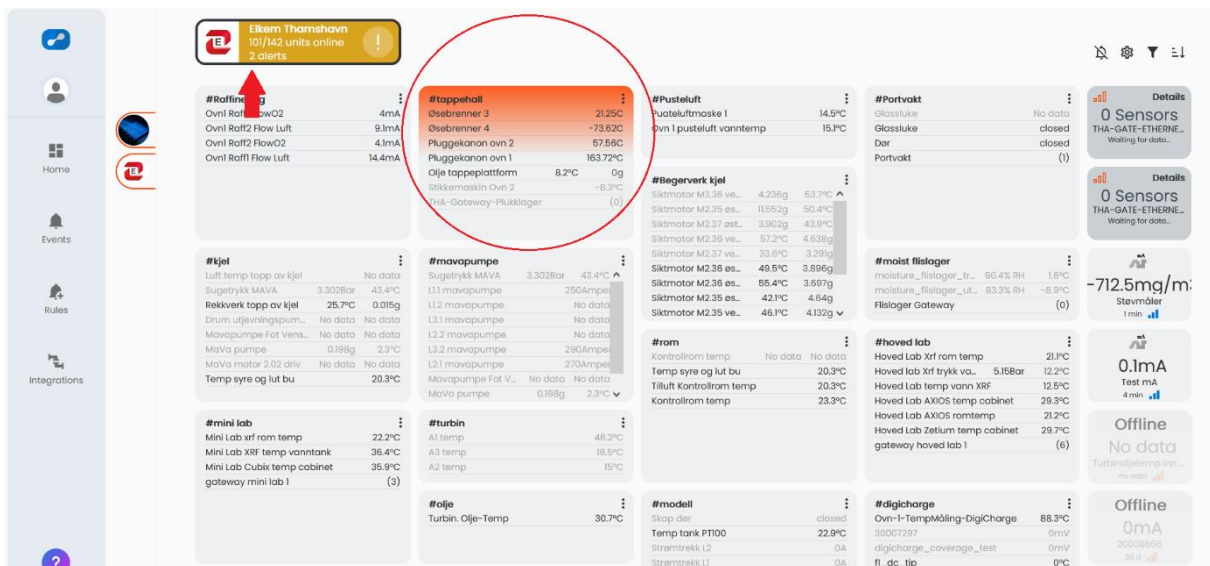
Juni 2022 ble det montert Neuron Vibration sensorer levert av El-Watch på samtlige sperreluftvifter hos Thamshavn. Neuron Vibration er montert ved bruk av innebygd magnet vertikalt på monteringsflens til el-motoren. Plasseringen er av ønske om å detektere mest mulig endring i vibrasjon fra el-motorens lager. Vibrasjonssensoren måler også overflatetemperatur, men siden sensorene i stor grad blir påvirket av ytre påkjenninger er dette ikke vektlagt.

Det ble også montert strømtrekkssensor, Neuron Ampere, november 2022 på el-motoren til alle sperreluftviftene. Etter gjennomgang av dataen fra sensorene samt vedlikeholdsloggen, er det ingen utslag verken i dataen eller loggen etter at sensorene ble montert. Ampere sensorene vil derfor i liten grad vektlegges i videre besvarelse av oppgaven. Dataen fra sensorene er allikevel presentert grafisk i kapittel 5.3, sammen med dataen fra Neuron Vibration.

Begge sensortypene er trådløse og er koblet opp mot en Gateway som er en skybasert løsning som sender dataen til programvaren, neuronsensor.app. I appen kan data fra ønsket tidsrom hentes ut grafisk. Appen har også som funksjon å sende alarmer etter satte alarmgrenser. Alarmgrensene på Neuron Vibration ble satt etter en stund hvor sensorene hadde samlet data. Dette for å se om det var noe mønster i dataen som kom inn. I dette tilfellet med henholdsvis 7 og 10 sensorer plassert på like områder, vil man etter kort tid ha et godt datagrunnlag for å kunne sette alarmgrenser. Dersom alarmgrensen nås sendes det ut varsel på e-post til tre ansatte på Thamshavn:

- Fagleder elektroavdeling
- Områdeansvarlig
- Fagarbeider

Alarmgrensen er satt – på alle 17 vifter – til 2 g. Det er også haket av for at grenseverdien må være passert i over 2 timer sammenhengende før en alarm skal utløses. Dette for å unngå alarmer på tilfeldige vibrasjonstopper for eksempel ved arbeid i nærheten. Tiden kan justeres etter ønske og behov. Ved utløst alarm vil det også markeres i appen som vist i figur 17. Det er også mulig å få varsling på SMS.



Figur 17: Thamshavns system i Neuronappen. Ved alarm varsles det visuelt i appen.

4.2 FMECA

I dette delkapittelet blir det presentert funn fra FMECA som ble gjort i samarbeid med en automatiker og tidligere vedlikeholdsleder ved Thamshavn. Komplette analyse kan ses i vedlegg 1. Konsekvensen i analysen handler om driften til systemet og produksjonen, og ikke om menneskelige forhold. Feilmekanismer med risikoindekser (heretter RPN) under 12 blir ikke beskrevet her, men kan ses i vedlegget. Som nevnt i kapittel 2.3.1 er RPN den samlede verdien av kritikalitetsverdiene multiplisert. Denne avgjørelsen begrunnes med at risikoindeks under 12 i hovedsak vil bestå av lav risiko i sin helhet. Ingen av feilmekanismene med RPN under 12 har svært hyppige-, katastrofale- og svært usannsynlige verdier og er derfor ikke kritiske.

I FMECA ble det funnet 18 mulige feilårsaker med tilhørende feilmekanismer, og åtte av dem har RPN på 12 eller høyere. Den operasjonelle tilstanden til systemet er aktiv, og det ble satt opp to feilmoder: blåser for lite luft og blåser ikke luft. I figur 18 er alle feilårsaker med RPN under 12 strøket ut i grått. Feilårsaker med RPN over 12 presenteres videre her.

Beskrivelse av enheten			Beskrivelse av feil			Risiko			
Ref.nr	Funksjon	Operasjonell tilstand	Feilmode	Feilårsak	Feilmekanisme	Frekvens	Konsekvens	Oppdagbarhet	Risikoindeks (RPN)
1	Blåse luft/lovertyrkk	Aktiv	Blåser for lite luft	mellom motor og viftehus	Varmepåkjenning/korrosjon	1	1	3	3
				mellom motor og viftehus	Skjevmontering	2	1	2	4
				Kontakt mellom viftehjul og viftehus	Slitasje/ødelagt glassfiberpakningstau	2	1	4	8
				Kontakt mellom viftehjul og viftehus	Feil ilved kilspor	2	1	3	6
				Kontakt mellom viftehjul og viftehus	Feilmontering av glassfiberpakningstau	3	1	1	3
				Kontakt mellom viftehjul og viftehus	Feilmontering av bolter	3	1	2	6
				Kontakt mellom viftehjul og viftehus	Støvoppsamling i viftehus	1	1	4	4
				Kast i viftehjul	Feilbalansering av viftehjul	4	1	4	16
				Kast i viftehjul	Slitasje på vifteblad	2	1	1	2
				Kast i viftehjul	Støvoppsamling på vifteblad	4	1	2	8
			Blåser ikke luft	Kast i viftehjul	Ubalanse i statorrotor	1	3	4	30
				Lagerhavari	Feilmontering av motor på viftehus	4	3	1	12
				Lagerhavari	Slitasje på lager	4	3	2	24
				Lagerhavari	Feildimensjonert viftehjul	4	3	3	36
				Motorhavari	Overanstrengelse av motor	5	3	2	30
				Motorhavari	Ubalanse i statorrotor	4	3	1	12
				Motorhavari	Motorvern går	3	3	1	9
				Motorhavari	Feildimensjonert viftehjul	4	3	3	36

Figur 18: Utklipp fra gjennomført FMECA. Feilårsakene som er markert grå, har RPN under 12 og blir ikke videre presentert. Resterende blir videre presentert i oppgaven.

I tabell 5, 6 og 7 kan man se risikoverdiene til frekvens, konsekvens og oppdagbarhet.

Frekvens				
>25 år	10-25 år	5-10 år	1-5 år	<1 år
1	2	3	4	5

Tabell 5: Risikoverdier for frekvens.

Konsekvens – for materiale verdier				
Liten	Middels	Stor	Svært stor	Katastrofal
<50 000kr	50 000- 100 000kr	100 000- 500 000kr	500 000- 2 000 000kr	>2 000 000kr
1	2	3	4	5

Tabell 6: Risikoverdier for konsekvens.

Oppdagbarhet				
Svært sannsynlig	Sannsynlig	Lite sannsynlig	Usannsynlig	Svært usannsynlig
Lett å oppdage	Litt lett å oppdage	Kan oppdages med erfaring	Vanskelig å oppdage	Umulig å oppdage
1	2	3	4	5

Tabell 7: Risikoverdier for oppdagbarhet.

4.2.1 Blåser for lite luft

Feilmoden blåser for lite luft inneholder bare én feilårsak med tilhørende feilmekanisme som har RPN på over 12. Denne feilårsaken er kast i viftehjul med tilhørende feilmekanisme feilbalansering av viftehjul. Viftehjulet blir balansert og testet av en ekstern bedrift i Trondheim. Det blir også gjort en kontroll ved Thamshavn før viftehjulet blir montert sammen med el-motor og viftehuset. Feilmekanismens effekt på andre enheter er at det blir feilgang i el-motor, vifte og lageret som er innebygd i el-motoren. På hovedfunksjonen er effekten av feilmekanismen produksjons- eller vedlikeholdsstans. I tabell 8 presenteres tilstand og kritikaliteten til feilmekanismen.

Beskrivelse		Tilstand
Feilmode		Blåser for lite luft
Feilårsak		Kast i viftehjul
Feilmekanisme		Feilbalansering av viftehjul
Deteksjon		Tilstandskontroll og inspeksjon
Risikoreduserende tiltak		Kvalitetssikring ved installasjon/tilstandsovervåkning
Merknad		Ingen
Kritikalitet		
Frekvens	4	Inntreffer én gang på 1-5 år
Konsekvens	1	50 000 kr
Oppdagbarhet	4	Vanskelig å oppdage
RPN		16

Tabell 8: Presentasjon av feilmekanismen feilbalansering av viftehjul med tilhørende kritikalitetsverdier.

4.2.2 Blåser ikke luft

For feilmoden blåser ikke luft finnes det sju feilårsaker med tilhørende feilmekanismer som har RPN på over 12. Dette er feilårsakene kast i viftehjul, lagerhavari og el-motorhavari.

Kast i viftehjul har tilhørende feilmekanisme ubalanse i stator/rotor og kan detekteres ved hjelp av tilstandsovervåkning og fysisk kontroll. Denne feilmekanismen er ikke av de mest relevante da det inntreffer sjeldent, og grunnen til at det nevnes her er fordi konsekvensen og oppdagbarheten er høy. Feilmekanismens effekt på andre enheter er at det blir feilgang i el-motor, vifte og lageret som er innebygd i el-motoren. På hovedfunksjonen er effekten av feilmekanismen produksjonsstans. I tabell 9 presenteres tilstand og kritikaliteten til feilmekanismen.

Beskrivelse		Tilstand
Feilmode		Blåser ikke luft
Feilårsak		Kast i viftehjul
Feilmekanisme		Ubalanse i stator/rotor
Deteksjon		Tilstandsovervåkning og fysisk kontroll
Risikoreduserende tiltak		Fysisk kontroll
Merknad		Ingen
Kritikalitet		
Frekvens	1	Inntreffer én gang hvert 25. år
Konsekvens	3	100 000 – 500 000 kr
Oppdagbarhet	4	Vanskelig å oppdage
RPN		12

Tabell 9: Presentasjon av feilmekanismen ubalanse i stator/rotor med tilhørende kritikalitetsverdier.

Feilårsaken lagerhavari har tilhørende feilmekanisme feilmontering av el-motor på viftehus, som kan detekteres ved tilstandsovervåkning og inspeksjon. Når det gjøres en feilmontering av el-motor på viftehus så har glassfiberpakningstau blitt lagt ujevnt eller med feil mengde, noe som resulterer i skjevheter mellom el-motor og viftehus. Feilmekanismens effekt på andre enheter er at det forekommer slitasje og/eller stans i systemet. På hovedfunksjonen er effekten av feilmekanismen produksjonsstans. I tabell 10 presenteres tilstand og kritikaliteten til feilmekanismen.

Beskrivelse		Tilstand
Feilmode		Blåser ikke luft
Feilårsak		Lagerhavari
Feilmekanisme		Feilmontering av el-motor på viftehus
Deteksjon		Tilstandsovervåkning og inspeksjon
Risikoreduserende tiltak		Gode prosedyrer for montering
Merknad		Ingen
Kritikalitet		
Frekvens	4	Inntreffer én gang hvert 1-5 år
Konsekvens	3	100 000 – 500 000 kr
Oppdagbarhet	1	Lett å oppdage
RPN		12

Tabell 10: Presentasjon av feilmekanismen feilmontering av el-motor på viftehus med tilhørende kritikalitetsverdier.

Feilårsaken lagerhavari kan ha feilmekanisme slitasje på lager, og kan detekteres ved tilstandskontroll, spesifikt ved hjelp av vibrasjon og temperatur. Feilmekanismens effekt på andre enheter er at det forekommer slitasje og/eller stans i hele systemet. På hovedfunksjonen er effekten av feilmekanismen produksjonsstans. I tabell 11 presenteres tilstand og kritikaliteten til feilmekanismen.

Beskrivelse		Tilstand
Feilmode		Blåser ikke luft
Feilårsak		Lagerhavari
Feilmekanisme		Slitasje på lager
Deteksjon		Tilstandskontroll (vibrasjon og lyd)
Risikoreduserende tiltak		Tilstandsovervåkning (vibrasjon og temperatur)
Merknad		Ingen
Kritikalitet		
Frekvens	4	Inntreffer én gang hvert 1-5 år
Konsekvens	3	100 000 – 500 000 kr
Oppdagbarhet	2	Litt lett å oppdage
RPN		24

Tabell 11: Presentasjon av feilmekanismen slitasje på lager med tilhørende kritikalitetsverdier.

Feilårsaken lagerhavari kan ha feilmekanisme feildimensjonert viftehjul, som kan detekteres gjennom en fysisk inspeksjon før montering. Feilmekanismens effekt på andre enheter er at det forekommer en stans i hele systemet, som medfører produksjonsstans på hovedsystemet ovn. I tabell 12 presenteres tilstand og kritikaliteten til feilmekanismen.

Beskrivelse		Tilstand
Feilmode		Blåser ikke luft
Feilårsak		Lagerhavari
Feilmekanisme		Feildimensjonert viftehjul
Deteksjon		Fysisk inspeksjon før montering
Risikoreduserende tiltak		Teoretisk beregning på effekt og størrelse, samt utføre en effektmåling av viftehjulet
Merknad		Ingen
Kritikalitet		
Frekvens	4	Inntreffer én gang hvert 1-5 år
Konsekvens	3	100 000 – 500 000 kr
Oppdagbarhet	3	Kan oppdages ved erfaring
RPN		36

Tabell 12: Presentasjon av feilmekanismen feildimensjonert viftehjul med tilhørende kritikalitetsverdier.

Feilårsaken motorhavari har tilhørende feilmekanisme overanstrengelse av el-motor, og kan detekteres ved fysisk inspeksjon og tilstandskontroll. Effekten som feilmekanismen har på andre enheter er at det blir stans i hele systemet, og på hovedfunksjonen blir det produksjonsstans. I tabell 13 presenteres tilstand og kritikaliteten til feilmekanismen.

Beskrivelse		Tilstand
Feilmode		Blåser ikke luft
Feilårsak		Motorhavari
Feilmekanisme		Overanstrengelse av el-motor
Deteksjon		Fysisk inspeksjon og tilstandskontroll
Risikoreduserende tiltak		Teoretisk beregning på effekt og størrelse, samt tilstandsovervåking av el-motor
Merknad		Mest aktuelt for ovn 2, per dags dato
Kritikalitet		
Frekvens	5	Inntreffer én gang hvert år
Konsekvens	3	100 000 – 500 000 kr
Oppdagbarhet	2	Litt lett å oppdage
RPN		30

Tabell 13: Presentasjon av feilmekanismen overanstrengelse av el-motor med tilhørende kritikalitetsverdier.

Feilårsaken motorhavari har tilhørende feilmekanisme ubalanse i stator og rotor, som kan detekteres ved tilstandskontroll, spesielt vibrasjonsovervåking. Effekten som feilmekanismen har på andre enheter er at det blir stans i hele systemet, og på hovedfunksjonen blir det produksjonsstans. I tabell 14 presenteres tilstand og kritikaliteten til feilmekanismen.

Beskrivelse		Tilstand
Feilmode		Blåser ikke luft
Feilårsak		Motorhavari
Feilmekanisme		Ubalanse i stator/rotor
Deteksjon		Tilstandskontroll, spesielt vibrasjonsovervåking
Risikoreduserende tiltak		Fysisk kontroll
Merknad		Ingen
Kritikalitet		
Frekvens	4	Inntreffer én gang hvert 1-5 år
Konsekvens	3	100 000 – 500 000 kr
Oppdagbarhet	1	Lett å oppdage
RPN		12

Tabell 14: Presentasjon av feilmekanismen ubalanse i stator/rotor med tilhørende kritikalitetsverdier.

Feilårsaken motorhavari kan ha feilmekanismen feildimensjonert viftehjul, som kan detekteres ved fysisk inspeksjon. Effekten som feilmekanismen har på andre enheter er at det blir stans i hele systemet, og på hovedfunksjonen blir det produksjonsstans. I tabell 15 presenteres tilstand og kritikaliteten til feilmekanismen.

Beskrivelse		Tilstand
Feilmode		Blåser ikke luft
Feilårsak		Motorhavari
Feilmekanisme		Feildimensjonert viftehjul
Deteksjon		Fysisk inspeksjon
Risikoreduserende tiltak		Teoretisk beregning på effekt og størrelse, samt utføre en effektmåling av viftehjulet
Merknad		Ingen
Kritikalitet		
Frekvens	4	Inntreffer én gang hvert 1-5 år
Konsekvens	3	100 000 – 500 000 kr
Oppdagbarhet	3	Kan oppdages med erfaring
RPN		36

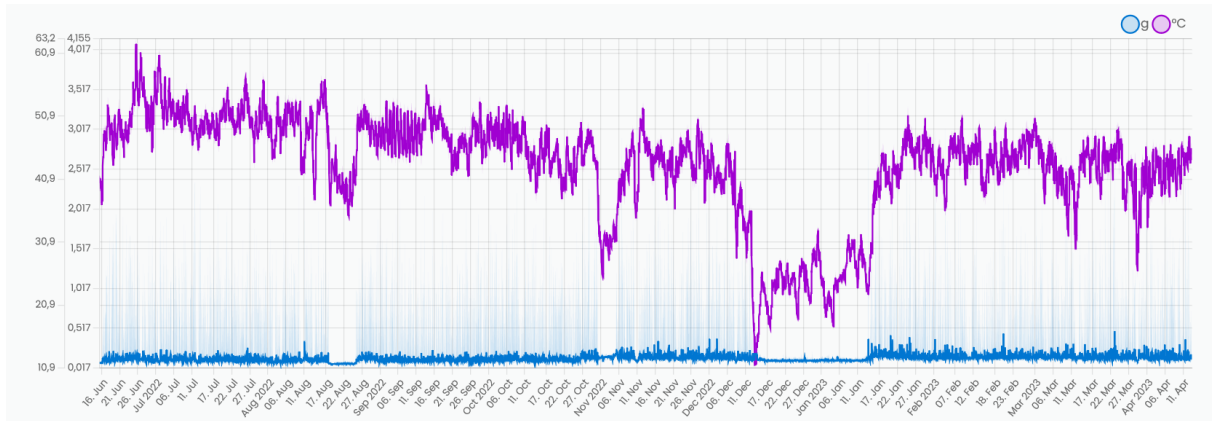
Tabell 15: Presentasjon av feilmekanismen feildimensjonert viftehjul med tilhørende kritikalitetsverdier.

4.3 Data fra Neuronsensors

Det ble 15. juni 2022 montert Neuron Vibration sensorer som samler inn data på vibrasjon og temperatur på el-motorene på alle sperreluftvifter på ovn 1 og ovn 2, henholdsvis sju og ti stykk, 17 til sammen. I november 2022 ble det montert Neuron Ampere på alle viftemotorene, som samler data på strømtrekk på hver enkelt el-motor. Det er (per 11. april 2023) samlet data for ti måneder med Neuron Vibration og fem måneder med Neuron Ampere. Siden det er sju el-motorer på viftene rundt ovn 1, og ti rundt ovn 2, er det et godt grunnlag for å sammenligne data fra de ulike sperreluftviftene. Resultatene vil derfor ta utgangspunkt i tiden mellom 15. juni 2022 til og med 11. april 2023.

Sensorene Neuron Vibration måler overflatetemperatur og vibrasjonsnivå. Etter å ha analysert grafene fra denne sensoren, er det sett at temperaturen som logges i stor grad er påvirket av ekstern temperatur. Den gir derfor i liten grad en indikator på varmegang i lager eller el-motor. I figur 19 ser man at grafen for temperatur er lilla, mens grafen for vibrasjon er blå. Grafen for temperatur er derfor utelatt fra diagrammene i de neste kapitlene da det kan virke forstyrrende for fremstillingen for øvrige grafer, og i liten grad bidrar til å gi nyttig informasjon. Mørke

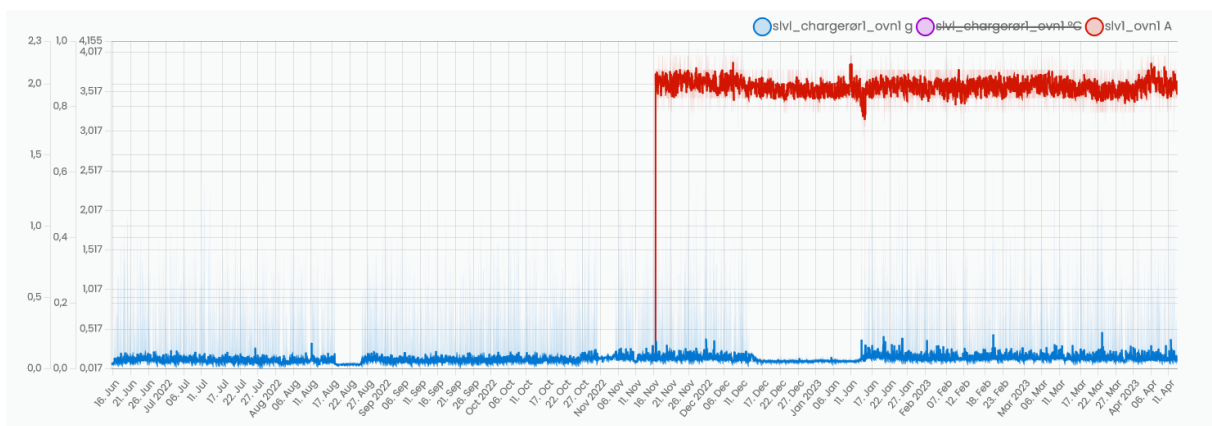
farger på grafen viser trenden som er gjennomsnittsmålingen, mens de lyse fargene viser de ulike enkeltmålingene.



Figur 19: Figuren viser graf for vibrasjon og temperatur på el-motor på vifte 1, ovn 1. Temperaturen går naturlig ned når el-motoren ikke er i bruk (som fra 13.12.22-11.01.23).

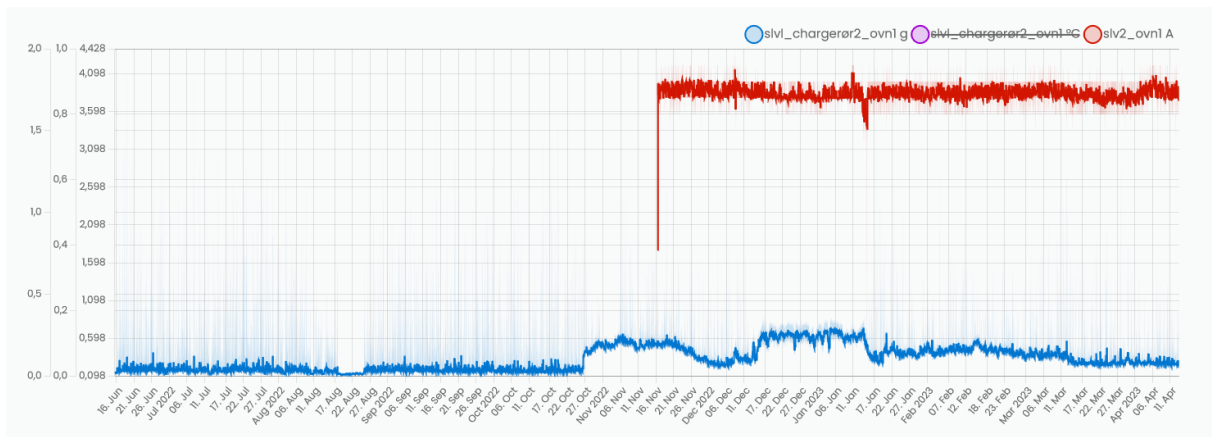
4.3.1 Sensordata ovn 1

Påfølgende graf (figur 20) viser vibrasjonsdata samt strømtrekk fra installasjonstidspunkt frem til midten av april 2023 for el-motor på vifte 1, ovn 1. Diagrammet viser at grafene er jevnt stabile, både når det gjelder vibrasjon og strømtrekk. Strømtrekk ligger mellom 1.8 og 2.2 ampere, mens vibrasjon ligger mellom 0.017 og 1.5 g RMS. Grafene har ligget stabilt for hele perioden, noe som tilsier at det ikke har vært en betydelig endring som det bør handles på.



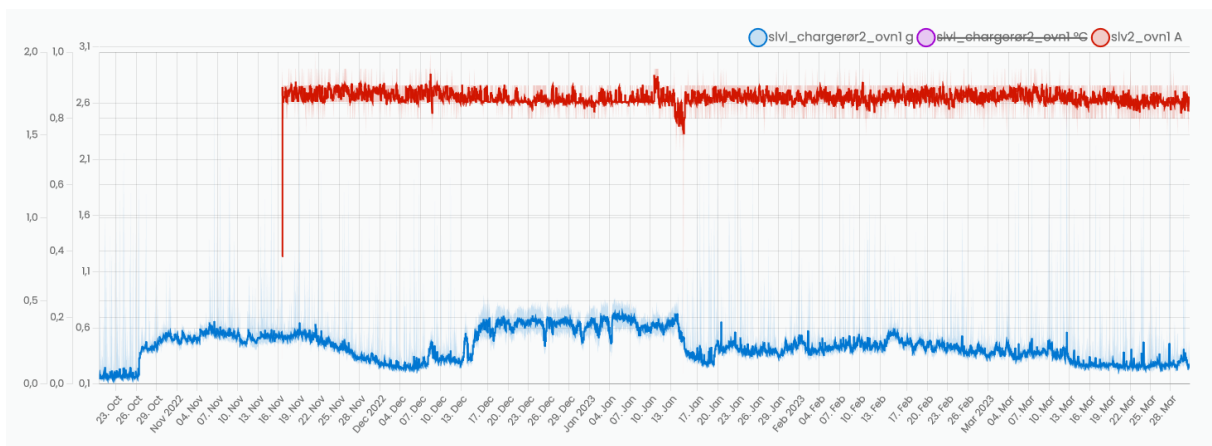
Figur 20: Diagrammet viser grafer fra sensorer montert på el-motor på vifte 1, ovn 1. Blå graf viser vibrasjon mens rød graf viser strømtrekk.

Neste diagram viser data fra vifte 2, ovn 1 (figur 21). Her er det mer utslag i diagrammet på vibrasjon.



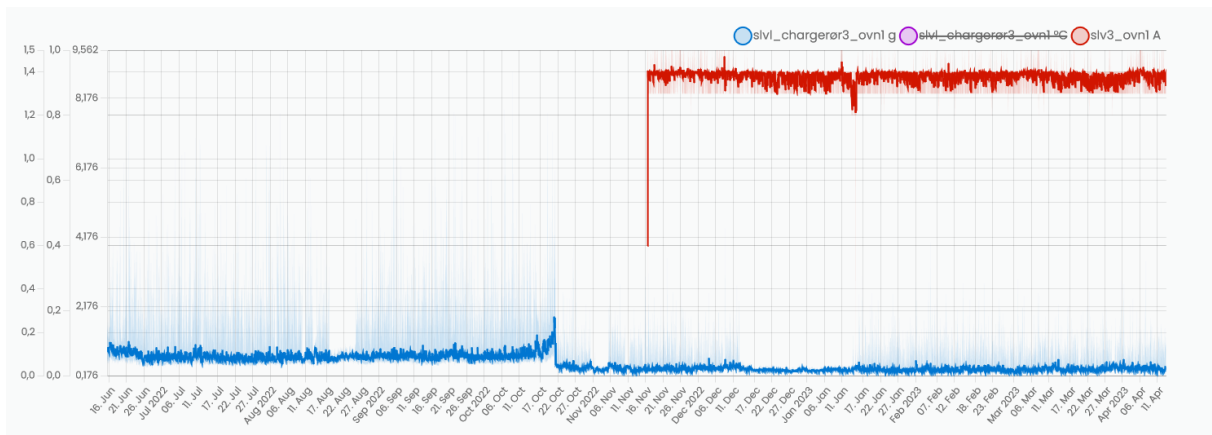
Figur 21: Vifte 2, ovn 1 for hele perioden.

Ved å se nærmere på grafen (figur 22) ser man at verdiene for vibrasjonen fortsatt er under 2.0 g, med et snitt på cirka 1.7 g.



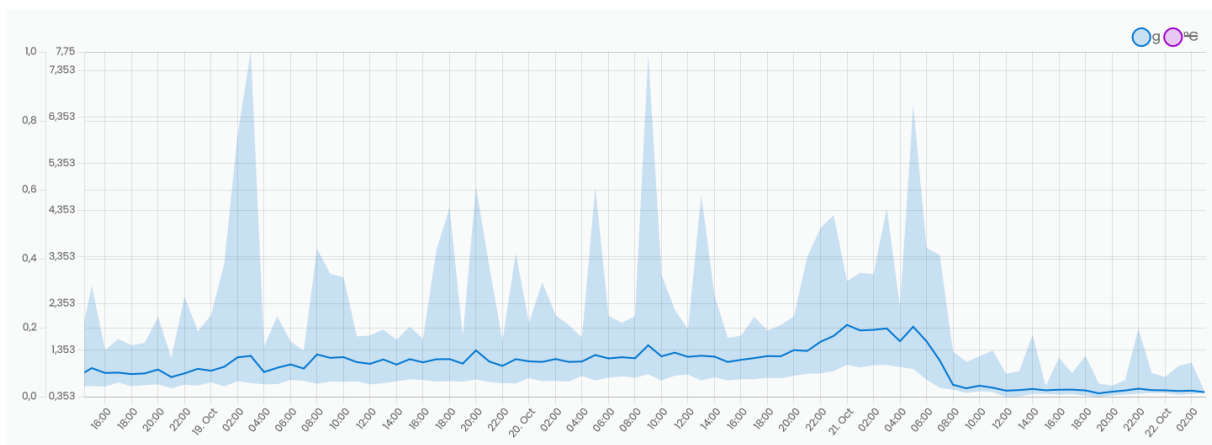
Figur 22: Nærmere inn på grafen. Ser at det fortsatt er lave utslag for vibrasjon.

Vifte 3 har en økning i vibrasjon utover i oktober, med en topp 21. oktober (figur 23). Etter 21. oktober går trenden igjen ned til å ligge rundt 0.6 g. Dataen for strømtrekk er stabil i takt med dataen for vibrasjon.



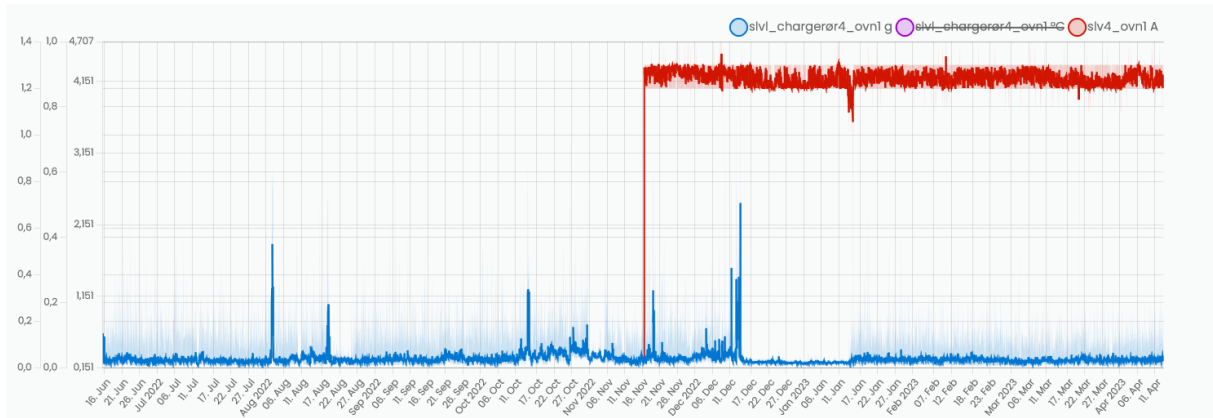
Figur 23: Graf for vifte 3, ovn 1 for hele perioden.

I figur 24 er det over tid flere målinger som ligger godt over 2 g, samt enkeltmålinger som er mellom 4-6 g, som gjør at trenden blir høyere enn normalt.



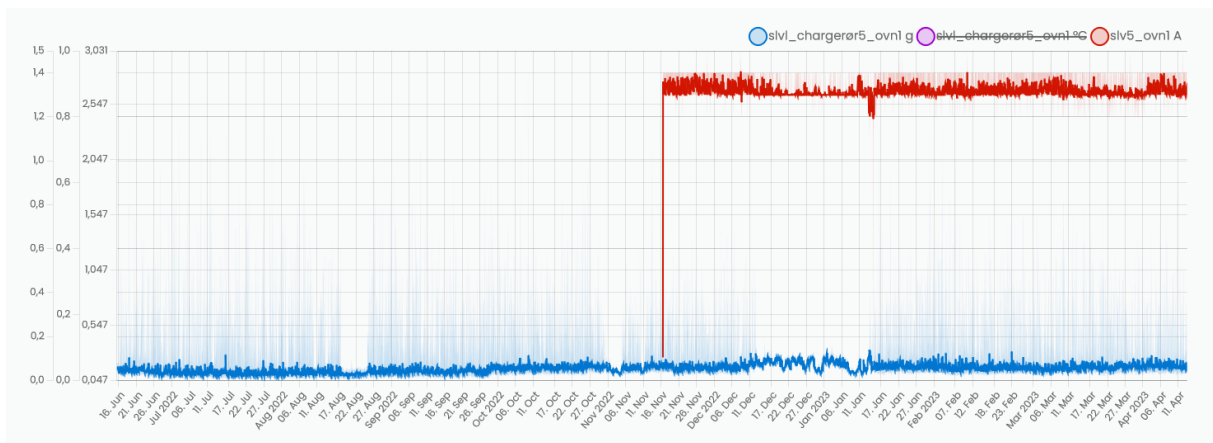
Figur 24: 18.-22. oktober, økende trend frem til 21. oktober, deretter faller trenden ned til 0.6 g igjen.

Vifte 4 på ovn 1 har en noe ujevn trend, med flere topper frem til 13. desember, hvor den flates ut og ligger stabil (figur 25). Toppene er for få og lave til at det utløses alarm. Trenden ligger på 0.3 g, mens toppene er på mellom 1.5 g og 3.0 g. Strømtrekk ligger jevnt mellom 1.2 til 1.3 ampere.



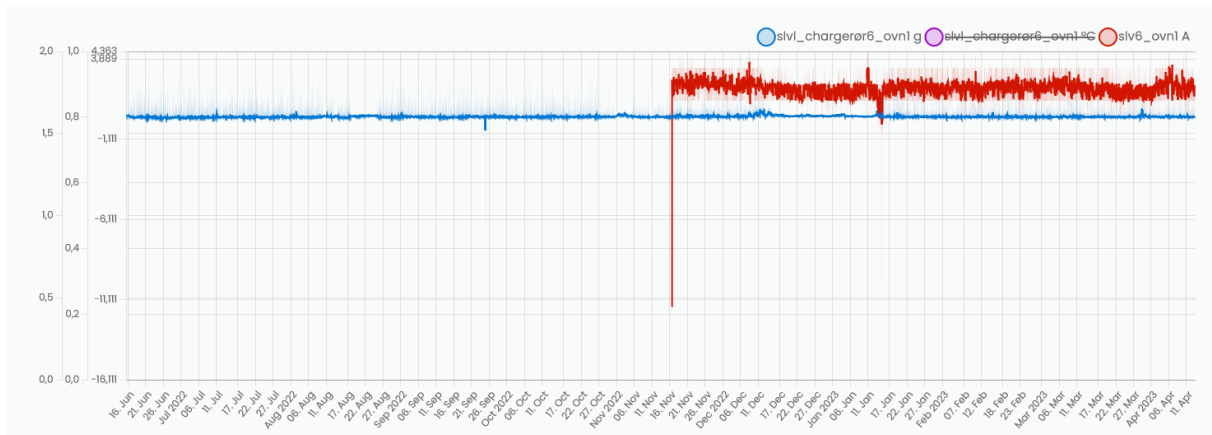
Figur 25: Vifte 4, ovn 1 for hele perioden.

Som figur 26 viser har vifte 5 en stabil trend gjennom hele perioden, og det er ikke utslag verken på vibrasjon eller strømtrekk.



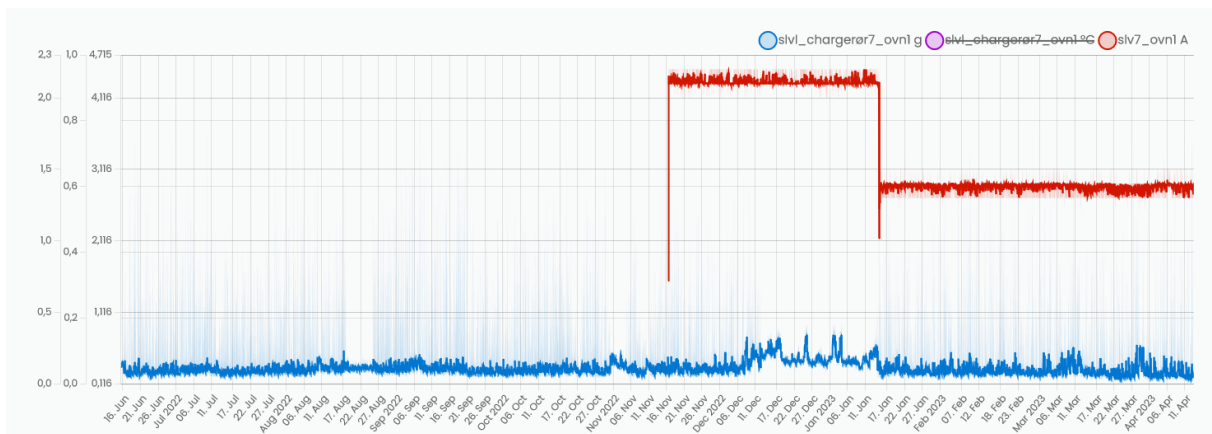
Figur 26: Vifte 5, ovn 1 med stabile trender.

Vifte 6 har i likhet med vifte 5 en stabil trend, både på vibrasjon og strømtrekk, som vist i figur 27.



Figur 27: Vifte 6, ovn 1 med stabile trender gjennom hele perioden.

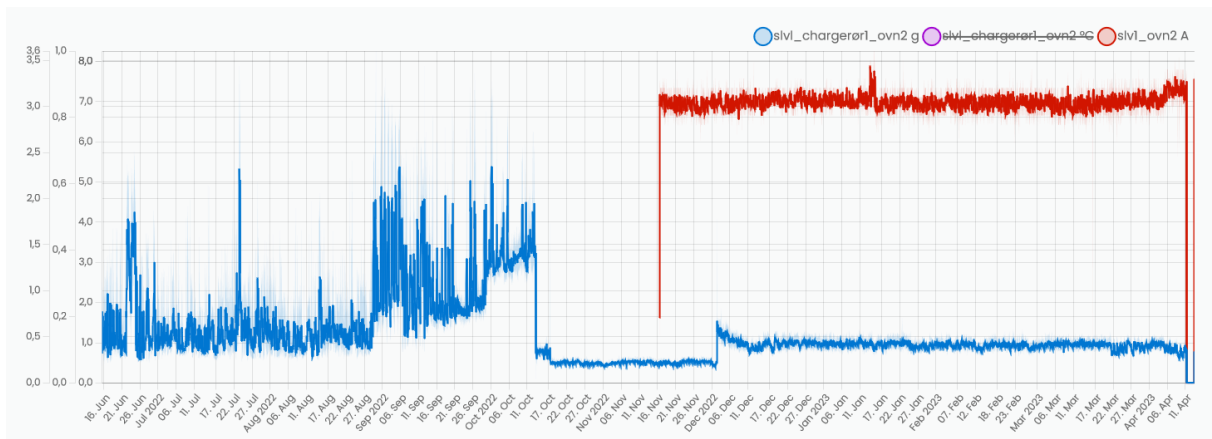
Vifte 7 har noe økende trend fra desember til januar som vist i figur 28. Når vibrasjon jevnes ut, faller også strømtrekket fra den 15. januar. Fra å ligge jevnt på 2.1 – 2.2 til å ligge jevnt mellom 1.3 – 1.4 ampere.



Figur 28: Vifte 7, ovn 1 med noe økende trend fra desember 2022 til januar 2023.

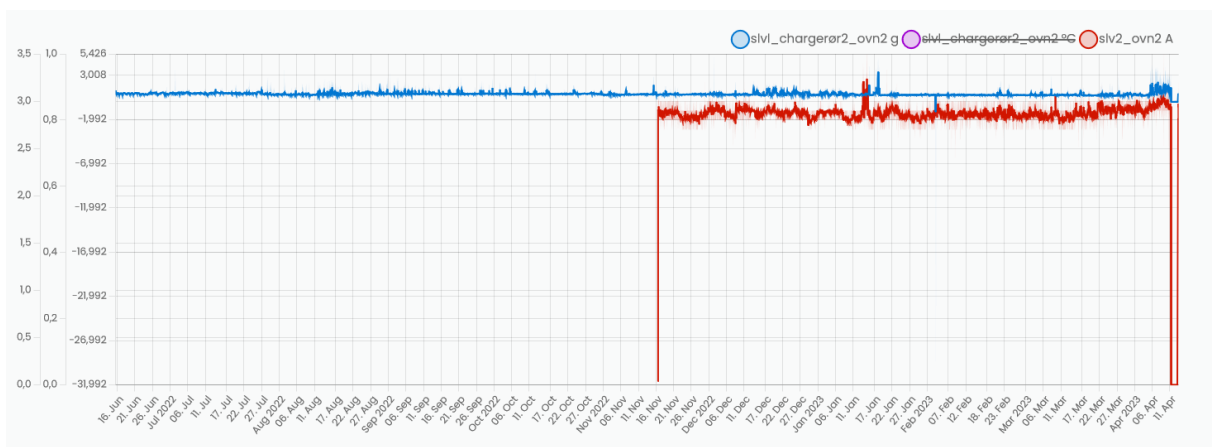
4.3.2 Sensordata ovn 2

På ovn 2 er det ti sperreluftvifter, derav også ti sensorpunkt, med 3 datainnsamlinger på hver. Vifte 1 på ovn 2 har som vist i figur 29 en ustabil og økende trend frem til 12. oktober med verdier på over 2 g i snitt. Trenden faller så til 1.0 g og lavere og blir stabil. Trenden går videre opp i starten av desember, men legger seg igjen stabilt, nå på cirka 1.0 g.



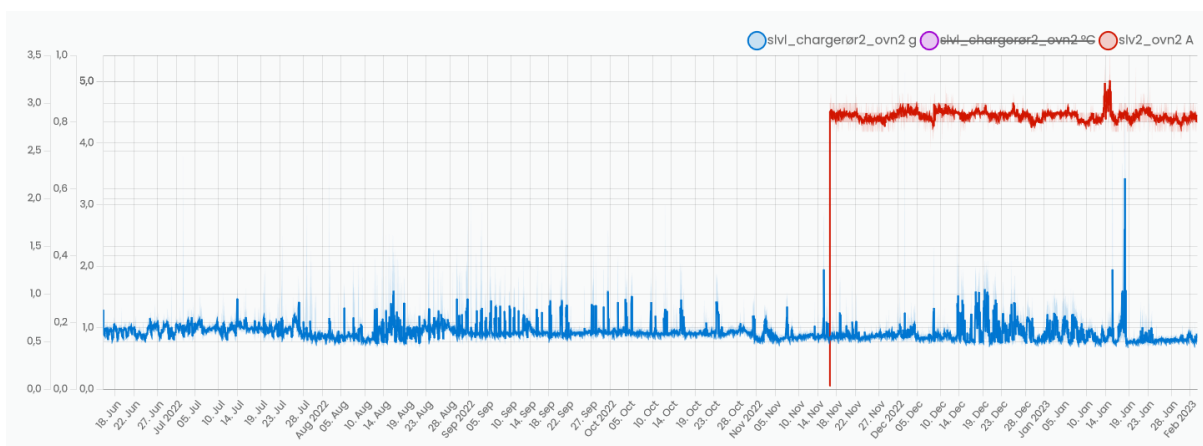
Figur 29: Diagram med graf for vibrasjon og strømtrekk for vifte 1 på ovn 2. Grafen viser en svært ustabil og høy trend frem til 12. oktober.

Vifte 2 har en stabil trend på 0.8-0.9 g, som vist i figur 30. På grunn av en måling som mest sannsynlig er uekte på -31.000 g den 03. februar, er det vanskelig å hente ut data for hele perioden under ett, på grunn av lave verdier på y-aksen. Deler derfor perioden inn i 2 deler, henholdsvis før og etter 03. februar. Med administratortilgang til appen, kan y-aksen i diagrammet låses til ønskede verdier. På den måten vil det være enklere å lese av vibrasjonsdataen i dette diagrammet.



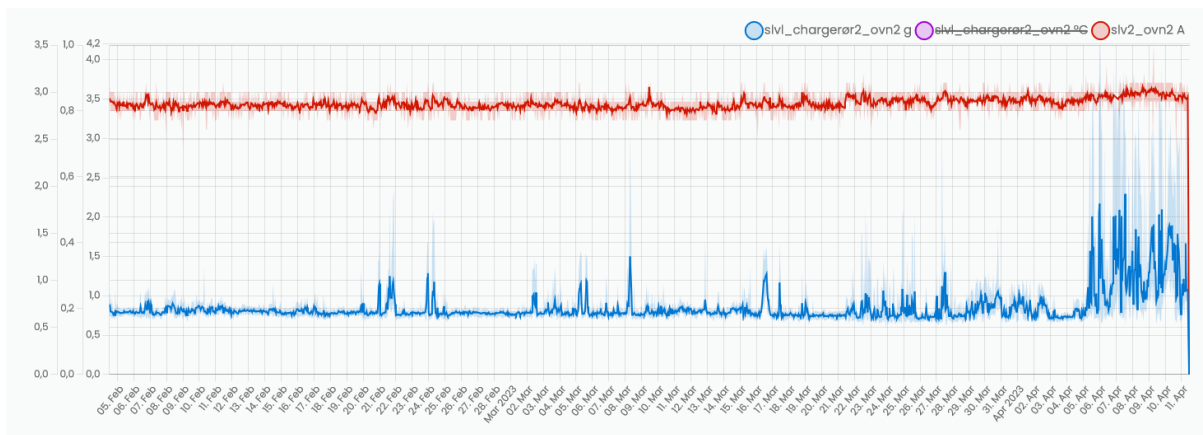
Figur 30: Utfordrende å lese ut data fra dette diagrammet for vifte 2, ovn 2.

Påfølgende figur 31 viser trenden fra oppstart til 03. februar. Det er økning både i vibrasjonstrend og strømtrekk frem mot 18. januar. Det er en betydelig topp 18. januar på trend mellom 3.0 til 4.5 g. Strømtrekken økte i dagene før økningen i vibrasjon. Fra 19. januar faller vibrasjonen og forblir jevnt lavere enn tidligere.



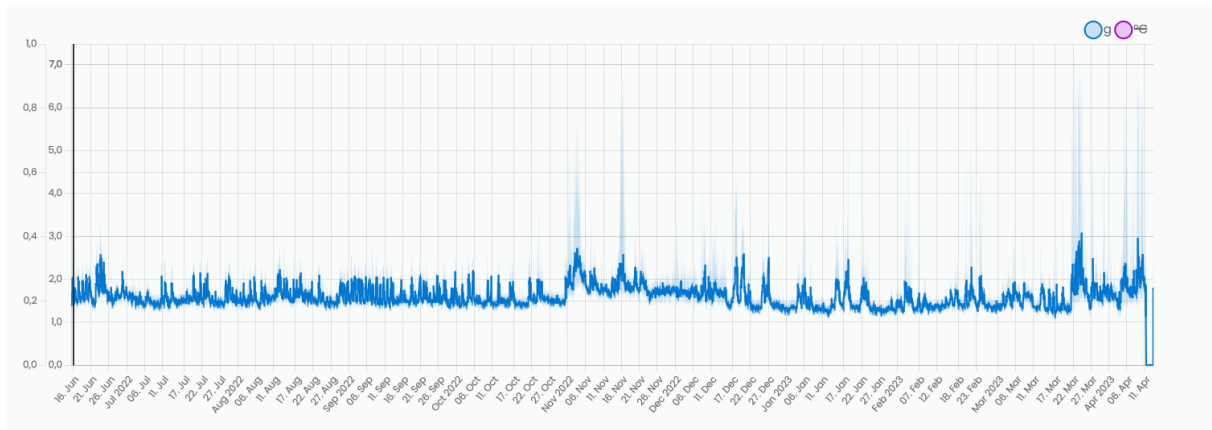
Figur 31: Fra oppstart til og med 03. februar på vifte 2, oven 2.

Grafen fra 04. februar (figur 32) viser stabil trend både på vibrasjon og ampere, frem til 05. april. Trenden går fra å ligge jevnt rundt 0.8 g til å være ustabil og ligge rundt 1.7 til 2.3 g fra 05. april. Det ble startet en omforingsprosess samme dato, og ovnen ble stanset. Det kan derfor være ytre faktorer som gir denne økningen i vibrasjon.



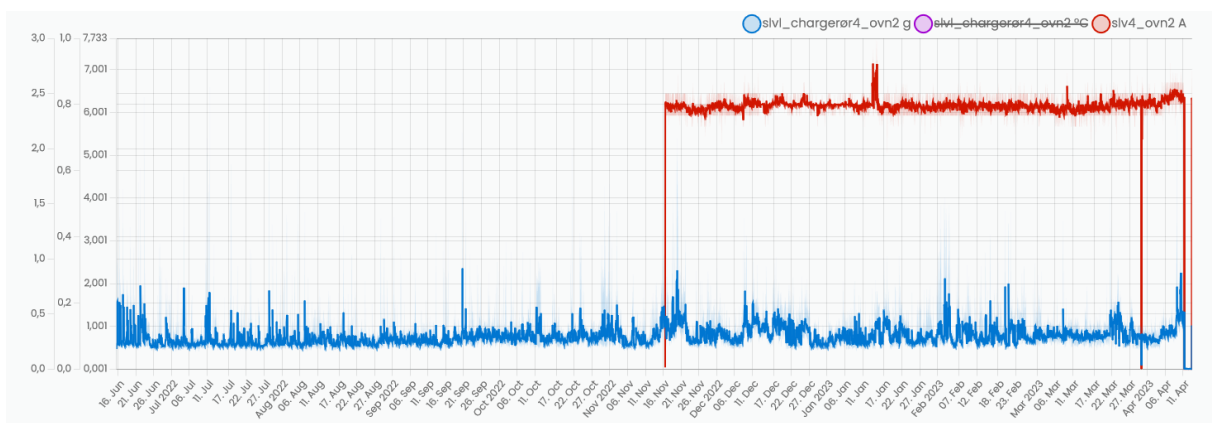
Figur 32: Vifte 2 på oven 2, fra 04. februar til april. Økning fra 05. april, noe som kan ha en sammenheng med stans av ovn for oppstart av omforming.

Som vist i figur 33 har vifte 3 på oven 2 ikke installert sensor som måler strømtrekk, så her er det kun vibrasjonsdata. Trenden på målingene av vibrasjon har vært ustabil, fra 1.3 til 2.1 g. En tydelig oppgang i november før den gradvis ble lavere og igjen med oppgang i slutten av mars.



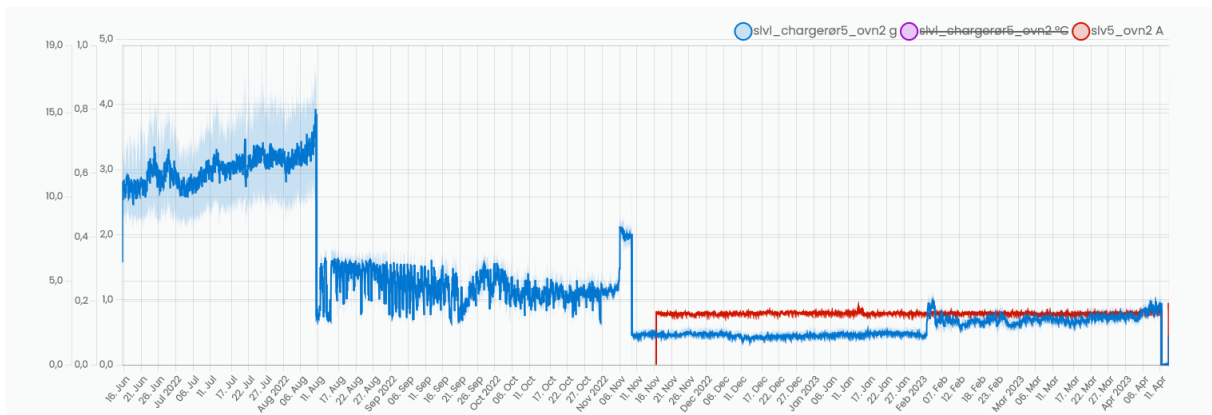
Figur 33: Flat, men ujevn trend på vifte 3, ovn 2. Økning i slutten av perioden, om den vedvarer kan det være tegn på begynnende havari.

Vifte 4 har også en noe ujevn trend med svak stigning, som vist i figur 34. Fra å ligge rundt 0.5 til å bevege seg mot 1.0 g. Selv med stigning er dette lave verdier. Økning i strømtrekk mellom 13.-15. januar opp mot 2.8 ampere, normal trend mellom 2.3 til 2.4 ampere.



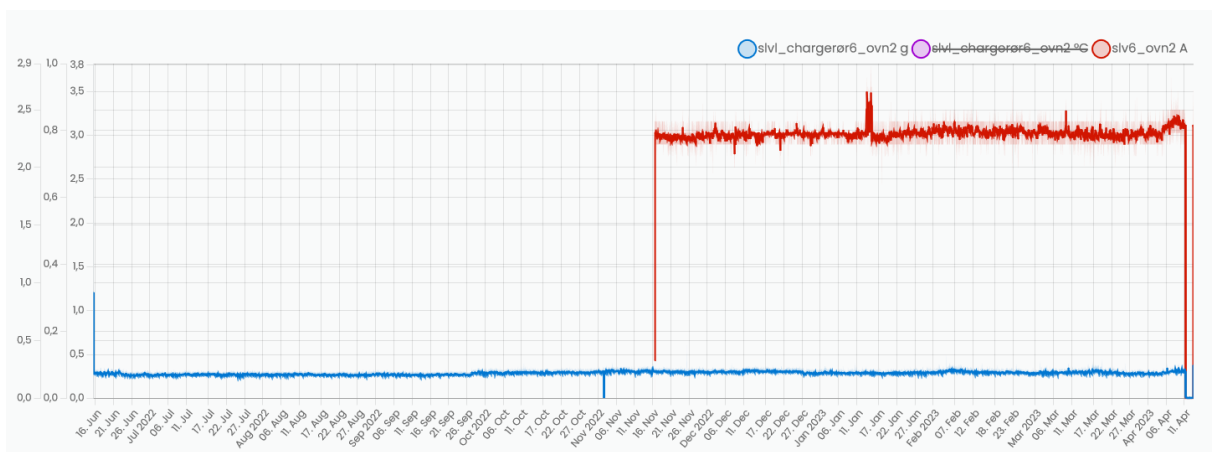
Figur 34: Vifte 4, ovn 2 svak stigning i vibrasjon. Økning i strømtrekk i midten av januar.

Grafen til vifte 5 viser ulike nivåer med vibrasjon. Som vist i figur 35 er det økende vibrasjon fra rett under 3.0 g opp mot 4.0 g. 10. august stagnerer økningen, og trenden blir lavere på mellom 0.8 til 1.5 g, med store svingninger. Økning igjen i starten av november, før den flater ut til en jevn trend på 0.5 g. Strømtrekk ligger jevnt mellom 3.0 til 3.3 ampere.



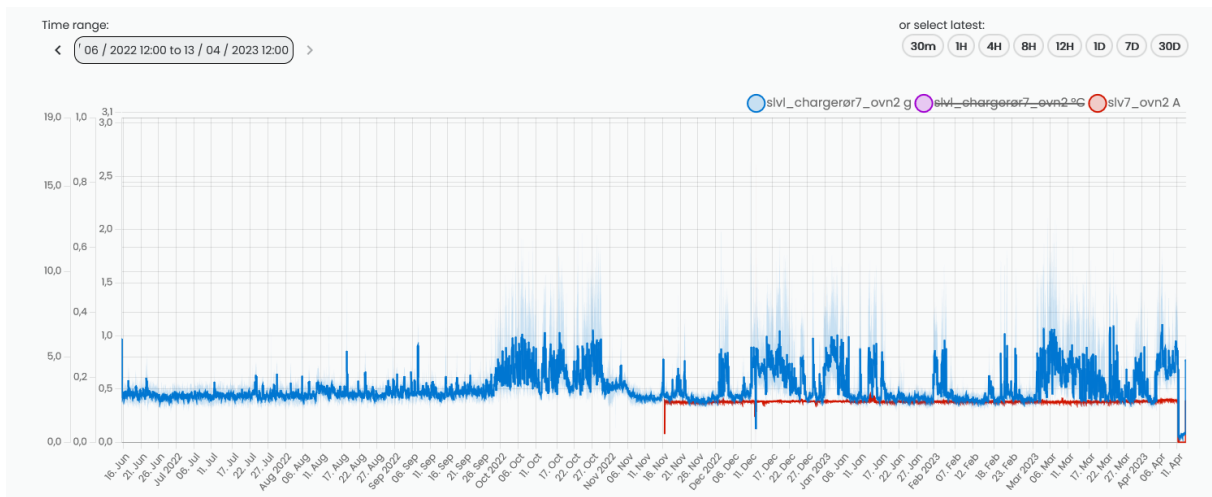
Figur 35: Graf med tydelige perioder for hele perioden. Ujevn trend etter fall i vibrasjon 10. august. Jevn trend etter økning og fall fra og med 09. november.

Vifte 6 har en jevn trend som ligger lavt på 0.3 g. Økning i strømtrekk mellom 11.-13. januar, ellers jevnt strømtrekk. Dette vises i figur 36.



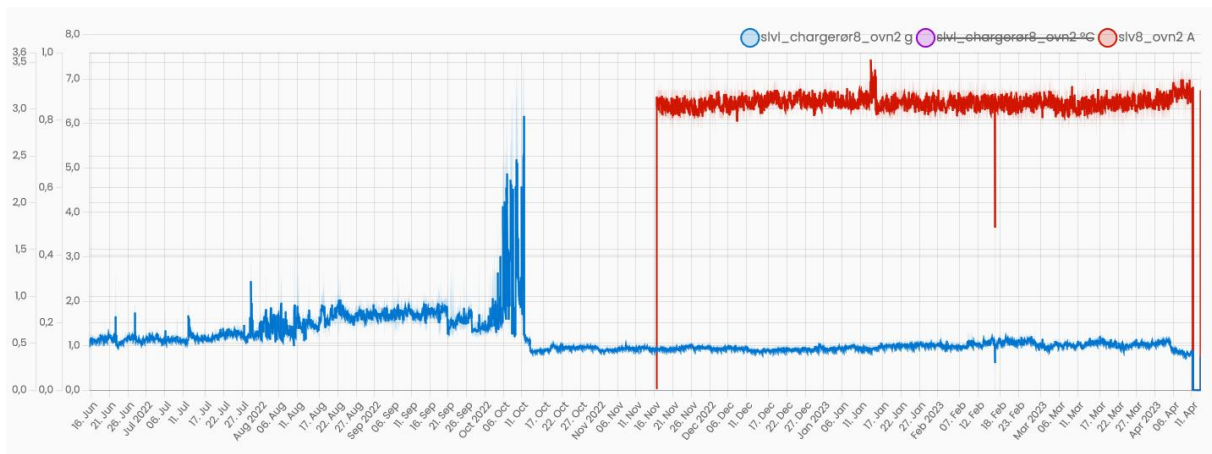
Figur 36: Jevn trend med lav vibrasjon på vifte 6, ovn 2.

Som vist i figur 37 har vifte 7 en noe ujevn trend mellom 0.45 til 1.0 g. Selv med ujevnhet er dette lav grad av vibrasjon (sammenlignet med andre målinger). Strømtrekk ligger jevnt mellom 2.3 til 2.5 ampere.



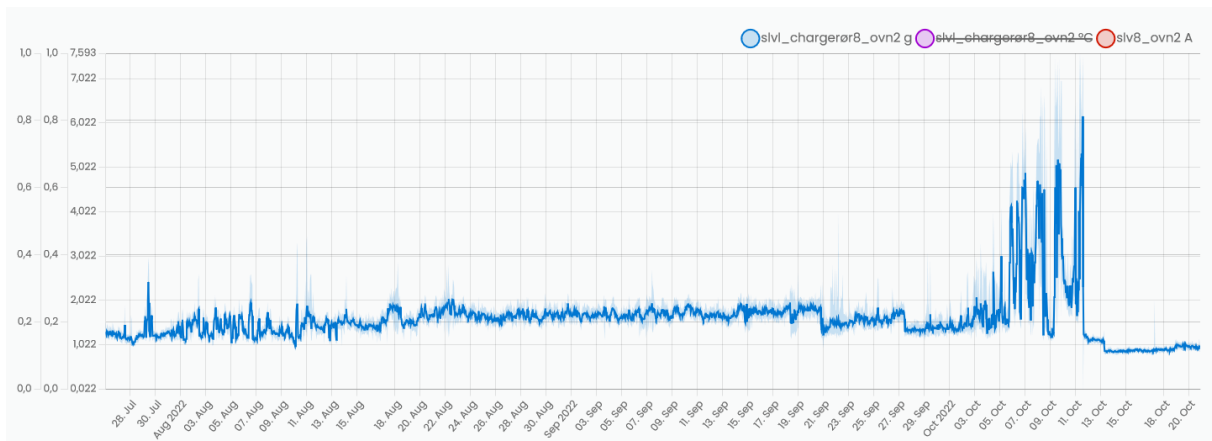
Figur 37: Graf for vibrasjon og strømtrekk for vifte 7, ovn 2.

Vifte 8 (figur 38) har en gradvis økning fra slutten av juli til starten av oktober, før det blir en betydelig økning. 11. oktober flater grafen ut og trenden blir jevn på rundt 1.0 g. Strømtrekk er jevnt på 2.9 til 3.1 ampere.



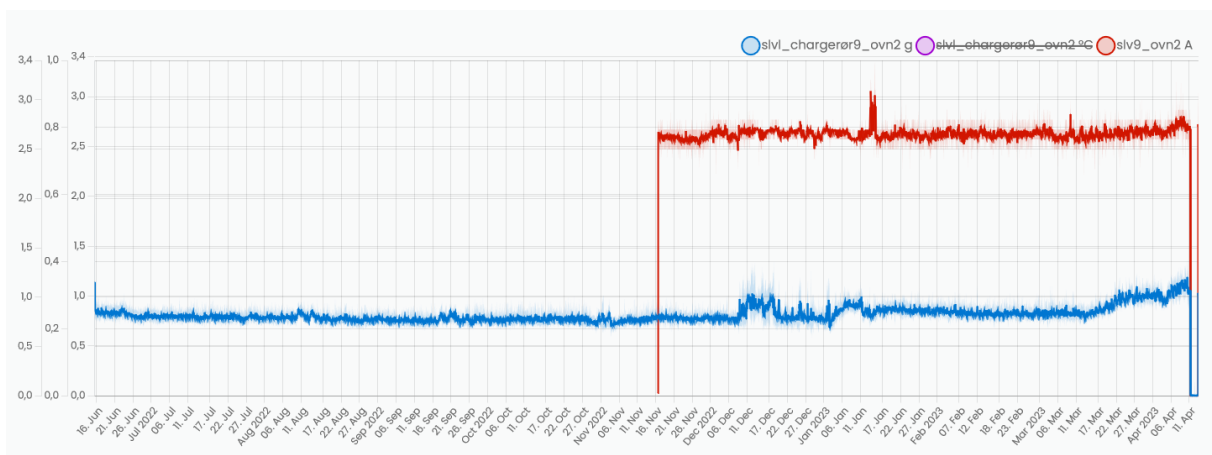
Figur 38: Gradvis økning før det blir rask økning i vibrasjon i oktober. Jevnt strømtrekk.

Grafen i diagrammet i figur 39 viser den tydelige økningen i vibrasjon over cirka 10 dager.



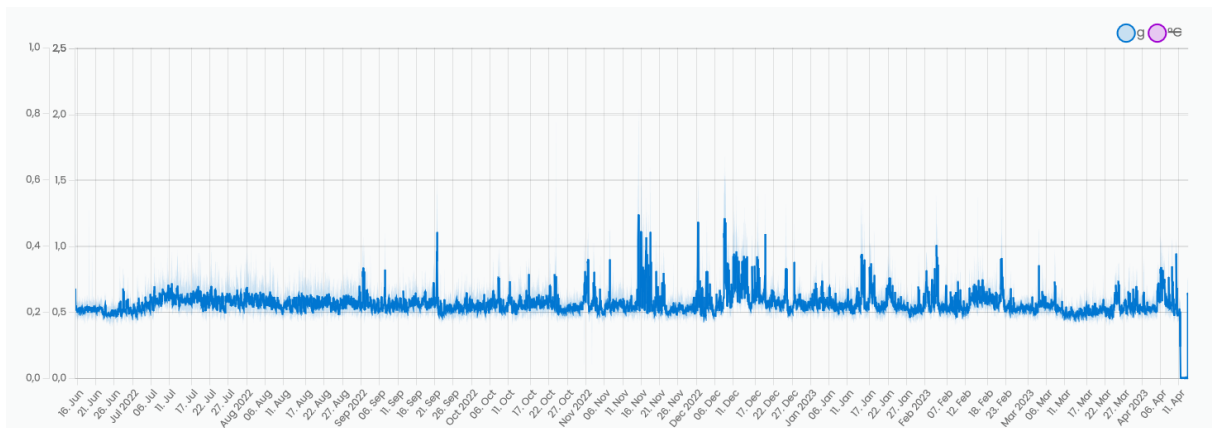
Figur 39: Perioden med økende vibrasjon i oktober 2022 for vifte 8, ovn 2.

Vifte 9 har en jevn trend over en lengre periode, med noe økning mot 1.0 g og over fra mars, som vist i figur 40. Fortsatt lave verdier. Strømtrekk jevnt mellom 2.6 til 2.8 ampere, men med økning mellom 11.-13. januar.



Figur 40: Vifte 9, ovn 2. Noe økende trend fra mars og ut.

Vifte 10 (figur 41) har en noe ujevn graf, men selv med store svingninger er det lave verdier fra 0.5 til 1.2 g. Her er det ikke montert sensor som måler ampere.



Figur 41: Graf for vifte 10, ovn 2. Ujevn graf, men med lave verdier.

4.4 Vedlikeholdslogg og vedlikeholdsintervall

Thamshavn benytter EAM til loggføring og oversikt over arbeidsordre (AO) og oppgaver innen forebyggende vedlikehold (FV). Ved bruk av filtrert søk med ordet «charge» i beskrivelse og «sperreluft» i utstyrsbeskrivelse kom det opp elleve arbeidsordrer fra november 2020 til og med april 2023 (vedlegg 2).

Totalt i de elleve arbeidsordrene er det oppgitt 13 bytter av vifte, en med kast, samt en hvor det ikke er oppgitt nøyaktig hva som ble gjort. Ti av arbeidsordrene omhandler sperreluftviftene på ovn 2, mens en omhandler én vifte på ovn 1. To arbeidsordrer omhandler bytte av chargerørvifter på grunn av alder. En arbeidsordre handler om bytte på grunn av kast i viftehjul, en handler om bytte på grunn av at viften er brent og en som må sjekkes på grunn av sikringer. Resterende omhandler bytte av vifte.

Av arbeidsordrene i EAM er det fire stykk (tabell 16) som omhandler bytte etter at Neuron Vibration sensorene ble montert opp i juni 2022. Det er ingen nye arbeidsordrer etter at Neuron Ampere sensorene ble montert opp (16. november 2022). Alle gjeldene arbeidsordre er avsluttet. Av de fire arbeidsordrene har en fått prioritet medium, en har fått prioritet høy og to har fått prioritet veldig høy. Alle fire har kritikalitet 9. Alle er samme AO-type; 530 – tilstandsbasert forebyggende vedlikehold.

Dato	Beskrivelse	AO type	Prioritet
16. august 2022	Bytte av chargerørsvifte rør 5 ovn 2	530 - Tilstandsbasert forebyggende vedlikehold	Medium
13. oktober 2022	Bytte chargerørsvifte 8 ovn 2	530 - Tilstandsbasert forebyggende vedlikehold	Veldig høy
13. oktober 2022	Bytte chargerørsvifte 1 ovn 2	530 - Tilstandsbasert forebyggende vedlikehold	Veldig høy
15. november 2022	Bytte og rep av chargerørs vifte 5 ovn 2	530 - Tilstandsbasert forebyggende vedlikehold	Høy

Tabell 16: Fire arbeidsordrer i EAM som er utført etter sensorer ble montert i juni 2022.

5 Diskusjon

I dette kapitlet er det sett på problemstillingen: *Hvordan kan sensorer og IoT forhindre uplanlagt stans og øke påliteligheten til sperreluftviftene?* Problemstillingen er diskutert ved å svare ut oppgavens fire resultatmål. Videre blir oppgavens validitet diskutert.

5.1 Resultatmål 1 - FMECA av sperreluftviftene

Det ble i starten av prosessen gjennomført en FMECA for å se på aktuelle feilmoder ved sperreluftviftene. FMECA ble foreslått som analyse av veileder, samt at den gir oversikt over feilmoder og risiko. Analysen ble i hovedsak utført på sperreluftviftene på ovn 2, da det er flere uønskede produksjonsstanser der enn på ovn 1. Samtidig som de samme feilmodene vil gjelde for viftene både på ovn 1 og ovn 2. FMECA ble gjennomført i samarbeid med en ansatt hos Thamshavn, da de som jobber med utstyret til daglig sitter på best kunnskap om faktiske forhold ved drift av systemet. FMECA ga et godt utgangspunkt for å videre forstå kritikaliteten av sperreluftviftene, samt komponentens oppbygging.

Som nevnt tidligere i kapittel 4.2 ble det funnet 18 mulige feilårsaker med tilhørende feilmekanismer. Av disse 18 ble det funnet åtte som hadde RPN på 12 eller høyere. Grunnen til at det ble valgt å se på disse åtte var for å fokusere på de feilårsakene som var mest kritiske. Selv om noen av de åtte har høy RPN, så er de ikke nødvendigvis kritiske, men de har eksempelvis en høy risikoverdi. De høye risikoverdiene er på grunn av klassifiseringen de har i frekvens, konsekvens og oppdagbarhet. Konsekvensen for feilmoden «blåser for lite luft» vil være liten i alle feilårsakene på grunn av at kostnadene er små. Det er også verdt å nevne at flere av feilårsakene i analysen er teoretiske, fordi man per i dag ikke vet eksakt hvor mye luft som kreves i rørene. Delene som sperreluftsystemet er satt sammen av er tilgjengelige deler og dette gjør at det noen ganger blir kjørt til havari. Systemet er heller ikke satt opp på en kompleks måte, noe som gjør at det ikke er behov for veldig kostbare sensorer som overvåker systemet.

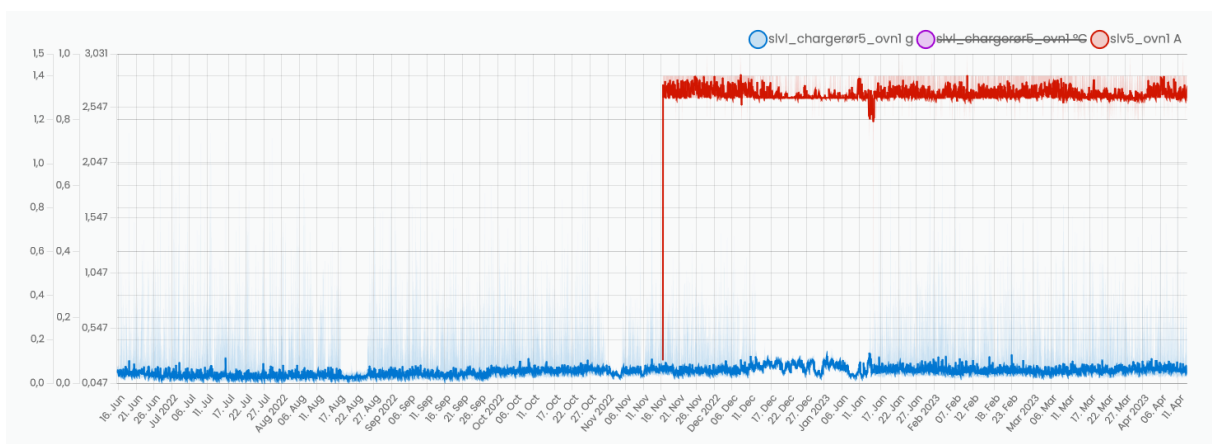
Feildimensjonert viftehjul er mest sannsynlig en av hovedårsakene til at det blir produksjonsstans. Bakgrunnen for dette er at viftehjulet er dimensjonert for motorstørrelsen som er på ovn 1, noe som mest sannsynlig er årsaken til at den har færre produksjonsstanser sammenlignet med ovn 2. Dette kan ses i sensordataen for ovnene og det er ikke funnet dokumentasjon på at viftehjulet passer til motorstørrelsen på ovn 2. Det kom frem i FMECA at frekvensen for feildimensjonert viftehjul er høy da det inntreffer i snitt en gang i en tidsperiode

på 1-5 år. Denne feilmekanismen kan oppdages med erfaring, men ved å benytte sensorer på el-motoren, så kan risikoverdien til oppdagbarheten reduseres fra tre til en.

Basert på den informasjonen som har kommet fra ansatte på Thamshavn, samt resultatet fra FMECA, er det fornuftig å ta kostnaden for å montere sensorer på sperreluftviftene. Utstyret er kritisk for å unngå uplanlagt stans, samtidig som sensorene som kan benyttes er billige i innkjøp og drift. En negativ konsekvens av IoT og sensorbruk kan være at de ansatte får mindre kjennskap til utstyret, fordi det kreves færre FV-runder mindre tid oppe ved utstyret for de ansatte.

5.2 Resultatmål 2 - Vurdere hvilken verdi Neuronsensors system gir Elkem Thamshavn

Neuronsensor systemet er et forholdsvis nytt verktøy for Thamshavn. Så langt er ikke sensordataen avgjørende for valg av vedlikeholdsstrategi, men kun veiledende for det kalenderbasert vedlikeholdet som utføres den dag i dag. Basert på resultatene i denne oppgaven kan det med stor sikkerhet sies at sensorsystemet vil kunne gjøre at Thamshavn videre kan velge prediktivt vedlikehold på sperreluftviftene istedenfor kalenderbasert. Siden oppstart har systemet med økende vibrasjonsdata varslet forløpet til fire mulige produksjonsstanser. Ved grafen for vifte 5 ovn 1 (figur 42) ses det tydelig at det ikke er noe behov for vedlikehold. Ved at Thamshavn sjekker dataen før de gjennomfører planlagt kalenderbasertvedlikehold, vil sensorsystemet ha stor verdi ved at unødvendig vedlikehold gjennomføres.



Figur 42: Vifte 5, ovn 1.

Varsling ved mulig havari, endringer eller andre feil kommer via alarmer satt etter manuell inntasting av alarmgrenser. Alarmgrensen på Neuron Vibration er i dag satt til vibrasjon på 2 g over en tidsperiode på 2 timer. Disse alarmgrensene ble satt noe tid etter montering for å samle data og kartlegge normal drift av sperreluftviftene. Basert på grafene til viftene som har blitt byttet siden installasjon, ser denne alarmgrensen ut til å være god. Grafene viser at verdien kan ligge på 2 g over en periode før det må foretas et bytte. Det vil si at det er mulig å planlegge vedlikeholdet til neste feiestans etter at alarmen er gitt med denne alarmgrensen. Dersom alarmgrensen settes høyere, kan tiden man har fra man mottar alarm til byttet må skje være betydelig kortere.

Siden det er montert sensorer på alle sperreluftviftene hos Thamshavn er dette med på å øke kvaliteten av dataen, siden sammenligningsgrunnlaget er stort. Ved montering av kun én vil normalnivået ikke kunne kontrolleres i samme grad. Sensor på hver vifte åpner også muligheten for at alarmene kan bli tilpasset hver enkelt vifte siden de er plassert i noe ulikt miljø. Ut ifra dataen så langt tyder det på at dette ikke har betydelig påvirkning under daglig drift. Det er derimot noen forskjeller i dataen (grafene) ved stans eller unormal drift som kan kunne forklares med viftenes plassering, basert på ulik eksponering for ytre påkjenninger; som temperaturendringer, vibrasjoner fra andre maskiner og/eller fysiske påkjenninger.

Når det gjelder Neuron Ampere, har det som tidligere nevnt ikke vært situasjoner på viftene etter at sensorene ble montert. Det er av den grunn heller ikke satt alarmgrenser. Dataen fra Neuron Vibration har vært lett å tolke og gitt gode indikasjoner på unormal drift, og har så langt vært pålitelig. Det er vanskelig å vurdere verdien av Neuron Ampere før det blir endring i mønster i appen, og et eventuelt mønster på endring kan avdekkes. Samtidig kan det ut ifra de dataene som allerede foreligger, se ut til at det kanskje ikke er nødvendig å benytte denne sensoren i tillegg til Neuron Vibration, da det har vært tydelig utslag på vibrasjon før hvert viftebytte.

Antall sensorer og mengden data er også et punkt som er hensiktsmessig å diskutere. Jo flere sensorer, dess mer data. Å bruke sensorer som ikke gir nødvendig data kan føre til mer forvirring enn støtte. Ut ifra Demings sirkelen (figur 4 s.7) gjenstår de to siste punktene, altså vurder og iverksett. Det er derfor nødvendig å vurdere om behovet for Neuron Ampere er der og om det er nødvendig med justeringer på Neuron Vibration. For eksempel ved neste viftebytte, da kan endring i grafen diskuteres. Eventuelle endringer må iverksettes.

Brukervennligheten til Neuronsensorsystem er svært god på grunn av den enkle monteringen og en forståelig presentasjon av dataen i programvaren. Sensoren er trådløs, hvor vibrasjonssensorene festes med innebygd magnet, og strømtrekksensoren festes med klips på eksisterende strømkabel. Programvaren, Neuronsensor, er dog noe uoversiktlig, noe som svekker brukervennligheten. Hjemskjerm bilde, kalt systembildet i appen - som vist i figur 17 (s. 25) - kan oppleves som noe vanskelig å navigere i da mye informasjon vises samtidig. For å få systemet til å fungere godt vil det være avgjørende å gi forståelige og presise navn til de ulike komponentene og eventuelt lage flere systemer inndelt i område, prosess eller lignende. Spesielt vil det være viktig for en aktør som Thamshavn som har mange ulike prosesser, med mange sensorer.

Klikker man seg videre inn på den delen av prosessen man ønsker data om oppleves programmet som mer oversiktlig. Det er enkelt å finne data fra det tidsrommet som ønskes, samt at grafene er enkle å tolke. Sammenlignet med andre aktører i samme bransje som El-Watch, som for eksempel SKF - hvor undertegnede i denne oppgaven har skrevet prosjektoppgave tidligere, er El-Watch sitt Neuronsensorsystem mer brukervennlig i form av montering, uthenting av data og tolking av denne. I motsetning vil SKF sitt sensorsystem, @plitude, gi en mer presis graf, et større spekter og flere nyanser innenfor vibrasjonsanalyse. Som nevnt gir Neuron Vibration bare data i RMS, som er gjennomsnittet av vibrasjon i x-, y- og z-retning. For sperreluftviftene virker det hensiktsmessig å ikke benytte dyrere sensorer eller mer krevende programvare for å detektere begynnende svikt, da dette gir en god indikasjon. For større komponenter med færre omdreininger kan det være at El-Watch sine sensorer ikke klarer å fange opp de små nyansene som gir utslag der på samme måte.

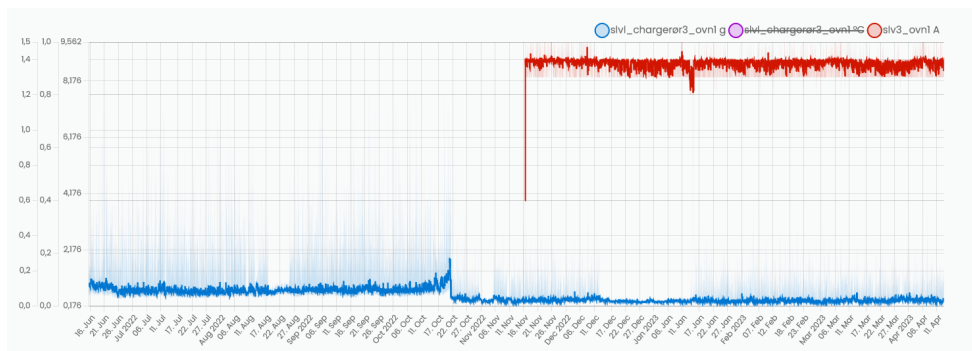
El-Watch sitt system er også svært konkurransedyktig når det kommer til pris, basert på opplysninger innhentet fra SKF og El-Watch. Neuronsensorsystemet som Thamshavn har montert på sine sperreluftvifter på ovn 2 har en innkjøpspris på cirka 30 000,- og en månedlig avgift på 11,- for hver sensor og 59,- for gatewayen. Innkjøpsprisen dekker 10 stykk sensorer for cirka 2500,- per stykk, samt en gateway for cirka 5000,- stk.

Brukervennligheten til El-Watch sitt system gjør at Thamshavn selv kan bygge opp og sette innstillinger i systemet til sitt bruk, innlemme det inn i andre systemer, og dermed ikke er avhengig av spesifikk kompetanse eller tilganger fra El-Watch etter kjøp og montering. Dette kan føre til at systemet bedre blir implementert i vedlikeholdet og vedlikeholdsplanleggingen. Det kreves at Thamshavn utvikler prosedyrer for håndtering av alarmer og loggføring av disse

i etterkant (eksempelvis som oppretting og lukking av AO i EAM), samt revidering av alarmgrenser ved behov og andre vurderinger med utgangspunkt i dataen regelmessig.

For at verdien av den investeringen som allerede er tatt med innkjøp av sensorsystem skal lønne seg, og med det mål om å hindre uplanlagt produksjonsstans på grunn av sperreluftvifter i fremtiden, vil det fortsatt kreve informasjon, opplæring og tid for de det er aktuelt å benytte dataene av. Opplæring av programmet til både vedlikeholdsplanlegger, men kanskje viktigst av alt vil være å gi opplæring til de som har det daglige ansvaret for sperreluftviftene. De som har best kjennskap til produksjonsprosessen, og som vil være den utførende av vedlikehold, samt de som skal loggføre vedlikeholdet.

Ut ifra graf for vifte 3 (figur 43) kan vi se ett fall ned til ett nytt normalnivå etter en periode med økning i oktober. Grunnen til dette er usikkert, men at det her er foretatt vedlikehold uten at det kommer frem i vedlikeholdsloggen er tenkelig.



Figur 43: Vifte 3, ovn 1.

5.3 Resultatmål 3 - Evaluere driftsmønster av dagens tilstand til sperreluftviftene og foreslå tiltak for å øke påliteligheten

Sperreluftviftene er en kritisk komponent som sørger for overtrykk i chargerørene. Siden viftene er kritisk utstyr og består av flere masseproduserte handelsdeler, er det i utgangspunktet en komponent det skal være mulig å ha kontinuerlig kontroll på, og raskt bytte av ved vedlikehold.

Frem til det ble installert sensorer på sperreluftviftene i 2022, har det vært gjennomført korrektivt, preventivt og tilstandsbasert vedlikehold. Korrektivt når viftene har gått til havari før bytte, preventivt da det ligger inne bytter etter angitt tidsperiode og tilstandsbasert da det

tidligere har vært visuell inspeksjon hver andre dag. På denne måten har noe blitt avdekket, samt at viftene ofte har gått til havari og ført til uplanlagt stans.

I dag brukes det flere programmer for å holde oversikt over vedlikehold og stanser. Målet er å implementere det meste av vedlikeholdsdata i EAM, for å kunne benytte programmet til alle deler av vedlikeholdet. Per i dag planlegges stanser i Microsoft Excel og Microsoft Project, mens arbeidsordre og forebyggende vedlikehold legges inn i EAM. På grunn av at noe utstyr ikke har blitt vedlikeholdt siden EAM ble tatt i bruk, er det fortsatt arbeidsoppgaver som ikke ligger inne i programmet, men som vil føres inn når neste vedlikehold gjennomføres. Både det å få all informasjon inn i EAM, samt å få flere detaljer inn i programmet, vil gjøre hver arbeidsordre og fremtidig vedlikeholdsoppgaver enklere.

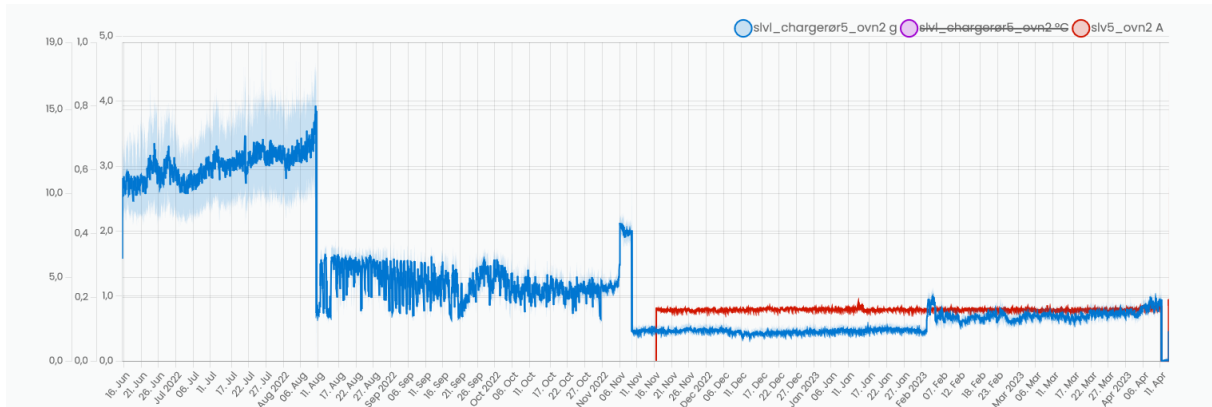
5.3.1 Sammenstilling mellom sensordata og vedlikeholdslogg

Viftene det er gjort vedlikehold på i perioden for denne oppgaven er vifte 1, vifte 5 og vifte 8 – alle på ovn 2. Alle er samme AO-type i EAM: tilstandsbasert forebyggende vedlikehold (vedlegg 2). Prioriteten er noe forskjellig, fra medium til veldig høy. Dette avhenger av hvor raskt et bytte bør skje.

Første vedlikehold skjedde 16. august 2022. Da ble chargerørsvifte 5 byttet. Dette bytte var forebyggende vedlikehold, og ble gjort etter gjennomføring av fast visuell kontroll, hvor det ble oppdaget vibrasjon, samt intervallet siden siste skifte. Etter installasjon av sensorene var det i de nærmeste ukene ferietid og i tillegg satt av noen uker hvor sensorene kunne logge data før den ble analysert for å sette alarmgrenser. Det var derfor ikke satt alarmgrenser for den økende vibrasjonen når dette skiftet skjedde 16. august. Når analysen av dataen skjedde i ettertid, var det enkelt å se at noe hadde foregått på vifte 5. Ved å sammenfalle analysen av data med vedlikeholdsloggen, kom svaret på at det her var gjort et bytte av vifte.

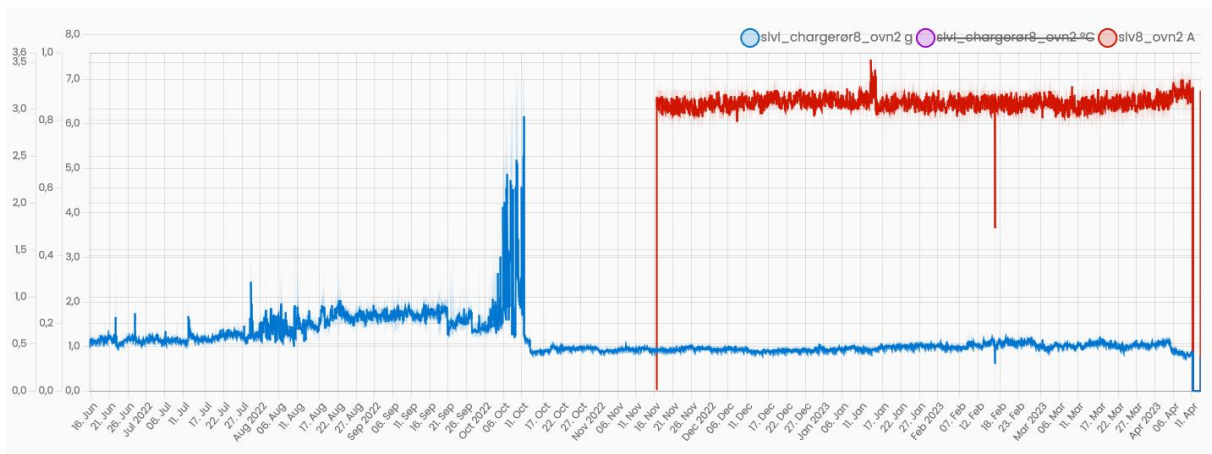
Det var et betydelig fall på grafen, med vibrasjon fra opp mot 4 g til ned mot 1.6 g. Dette var derfor første indikator på at sensorene her var i stand til å gi data på vibrasjon som ga tydelige utslag på endring. Selv etter byttet av vifte 5, var det en noe ujevn vibrasjon på vifta, med store variasjoner i trend. Sammenlignet med andre vifter, så man at det også der var store variasjoner i enkeltmålinger, men en betydelig jevnere trend. Det var derfor en indikasjon på at noe ikke var helt som det skulle.

I starten av november ble det igjen en betydelig økning i vibrasjon på vifte 5 (figur 44). Viften ble igjen byttet. Etter dette bytte viser grafen at trenden ligger betydelig jevnere, og lavere.



Figur 44: Graf for vibrasjon på vifte 5 fra installasjon til midten av april. Her har det vært to bytter av vifte, noe som også vises godt på grafen.

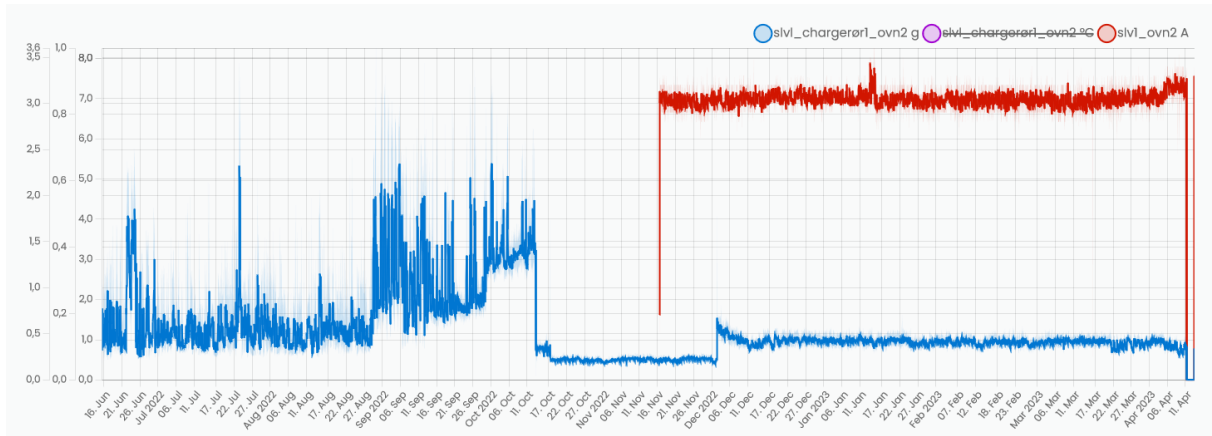
I vedlikeholdsloggen fra 13. oktober 2022 står det at chargerørsvifte 8 ble byttet. Prioritet «veldig høy». Dette skiftet skjedde etter å ha sett på grafene, og sett at utviklingen på denne grafen var negativ. Gradvis økende vibrasjon over tid, samt betydelig økning i vibrasjon ved månedsskiftet september/oktober. Chargerørsviften ble byttet, og trenden for vibrasjon falt til et lavt, jevnt nivå, som har vært likt siden. På grunn av grafene i appen var det her lett å se at det var unormal vibrasjon på vifta. I tillegg til den faktiske økningen i vibrasjon i g, ser man også at trenden er mer ustabil i tiden før. Dette er illustrert i figur 45.



Figur 45: Graf for chargerørsvifte 8.

13. oktober 2022 ble det også foretatt et bytte av vifte 1. I appen kunne man se at grafen hadde hatt en betydelig ujevn trend, samt vært høy og stigende gjennom hele september (figur 46).

Etter bytte 13. oktober falt trenden ned til et lavere nivå, men med jevne målinger. Det kom også en endring i trend i starten av desember, men verdiene lå fortsatt godt under alarmgrensen på 2 g, samt at trenden ligger jevnt. Prioritet for denne arbeidsordren var veldig høy.



Figur 46: Graf for chargerørvifte 1. Tydelig økning i vibrasjon frem til 13. oktober 2022.

5.3.2 Redundans, symptomløsning og lagerbeholdning

Thamshavn har i dag ikke redundans på sperreluftviftene. Det har vært diskutert, men på grunn av manglende plass der viftene står, er det i dag ikke aktuelt med redundans. Dersom det i tillegg er mulig å få varsel fra sensorer når det er nødvendig med bytte, er det ikke nødvendig å bygge om/bruke store ressurser på redundans for å løse problemet. Samtidig kan det være noe å ha i mente dersom det en dag skal skje en ombygging.

Å montere opp sensorer på utstyr som går i stykker er som å behandle symptomet på et problem. Sensorene vil ikke løse det faktiske problemet med at viftene går i stykker (enten av feil bruk eller normal slitasje), men vil gi et hint om når det er på vei til å skje, så vedlikehold kan forberedes og legges til en planlagt stans.

For å løse rota i problemet på ovn 2, bør det ses på beregningene som er gjort på størrelsen på el-motor sett i sammenheng med størrelsen på viften. Ovn 2 som har dobbelt så stor el-motor som ovn 1, men samme viftestørrelse og betydelig hyppigere stanser per vifte. Det kan være små endringer på viftestørrelse som kan påvirke levetiden til hver komponent, eventuelt andre endringer en ny beregning kan avdekke. Det er også litt uklart hvor mye luft som minimum må blåses i rørene på ovn 2, noe som også kan være hensiktsmessig å få dokumentert. Å eventuelt ha ulike viftedeler for ovn 1 og ovn 2 vil ikke utgjøre noen forskjell på lager, da lagerbeholdningen allerede er todelt.

Det er i dag stor lagerbeholdning av denne komponenten for begge ovner. For viftene på ovn 1 er det to ferdigmonterte komponenter (uten viftehus) klar på lager. Basert på grafene på neuronappen, vedlikeholdshistorikken og at antall komponenter i bruk er sju stykk, er 28% lagerbeholdning muligens i meste laget. For ovn 2 er det to ferdigmonterte komponenter (uten viftehus), samt løse deler som en ekstra el-motor, flens og impeller. Også her kan lagerbeholdningen reduseres. El-motoren som brukes både på ovn 1 og ovn 2 er hylleware, og kan skaffes til veie på kort varsel. Ved bruk av sensorikk og bedre styring i EAM vil man kunne kutte ned på mengden varer på lager, spesielt deler som er lett tilgjengelig å skaffe på kort varsel.

5.3.3 Skjønn og systematisering

Ved å installere sensorer for å varsle om unormal drift, vil man få konkrete tilstandsdata å forholde seg til før utførelse av vedlikehold. Dette i stedet for synsing og personavhengige avgjørelser. Det kan være noe forskjell på normalverdi ut ifra plassering av viftene over ovnen. Allikevel vil jevn trend uten de store endringene i verdier gi en god indikator på hva normalverdien til hver enkelt vifte er.

Det har vært noe utfordrende å finne dokumentasjon, logger og nødvendig informasjon skrevet ned hos Thamshavn. En del informasjon har gått fra munn til munn uten å bli dokumentert. Dette kan ha en sammenheng med at flere av de ansatte hos Elkem har jobbet der i mange år, og derfor ikke har «hatt behov» for å dokumentere, da det har vært stabilt hvem som har utført oppgaver over en lengre periode. Det har også vært flere ulike steder for dokumentlagring, noe som har ført til at dokumenter ligger spredt i flere ulike programmer og mappestrukturer. Det er bevissthet rundt dette på Thamshavn, og det jobbes konkret med for tiden.

Alle arbeidsordrer skrives nå i EAM. Her ble det nevnt at det var noe usikkerhet rundt bruken av AO-type, hvilken kode som var riktig for aktuell oppgave og misforståelse av noen koder, eksempelvis koden 510 - planlagt korrektivt vedlikehold. At korrektivt vedlikehold er planlagt forklares med at det er utstyr med redundans, og at det derfor skal kjøres i stykker da det er mest hensiktsmessig fremfor overvåking og tilstandsbasert vedlikehold. Som nevnt er det også uttrykt behov for mer opplæring i EAM, noe som vil være nødvendig om man skal få utnyttet kompleksiteten i programmet.

Ved å benytte tilstandsdata samt et mer sammensatt system for utførelse, tidsbruk, kostnad og lignende, vil den totale oversikten over hvert enkelt vedlikehold og hver runde med visuell

sjekk kunne gi et bilde på kostnad. Det er viktig å påpeke at alt ikke skal handle om billigst mulige løsninger, men om optimalisering av menneskelige ressurser og drift. Sensorer kan gjøre jobben hvor man får konkrete verdier ut, mens menneskelig ressurser kan brukes mer effektivt til oppgaver sensorer eller andre maskiner ikke kan løse, og heller handle når sensorer gir beskjed om avvik.

Ved å systematisere i et program vil det bli lettere å ha en riktig lagerbeholdning, mer koordinering mellom bruk og lager, nødvendig dokumentasjon og informasjon innen rekkevidde.

Etter hvert som prosessen her har gått, har det blitt innhentet informasjon fra flere ulike hold på Thamshavn. Det har vært nødvendig å snakke med ulike personer i flere ulike avdelinger. Grunnen til dette kan være manglende dokumentasjon, da det var nødvendig å få informasjon fra «riktig person» om spesifikke hendelser og avgjørelser. IT-avdelingen har stått i bresjen for innføringen av IoT-sensorer. For å komme i gang med IoT og digitalisering i en bedrift, er man avhengig av at noen er motivert, tar ansvar og setter av tid til innkjøp, opplæring og montering i første omgang. Hvorvidt informasjonen om det skal spres utover til alle, eller bare til de spesifikke som skal jobbe direkte opp mot produktene vil variere. Samtidig kan det være en styrke at alle er kjent med mulighetene som ligger der. For at de faglærte skal kunne se behovet og mulighetene med IoT og digitalisering, er det viktig at man er kjent med løsningene og mulighetene som finnes. Det er avgjørende at nøkkelpersonene bak innføringen gir nødvendig kunnskap og opplæring til aktuelle personer, for å optimalisere bruken.

5.3.4 Tiltak for å øke påliteligheten

Thamshavn er i gang med tilstandsbasert vedlikehold på flere områder på verket og har i tillegg startet jobben med å systematisere for å få utnyttet ressurser og systemer bedre. Samtidig kan det virke som at rota til problemet på ovn 2 per dags dato ikke er løst, bare symptomene. Å vurdere om det skal gjøres nye beregninger samt endringer på vifte på ovn 2, kan være besparende over tid, selv om det kan kreve at alle viftene på ovn 2 byttes ut.

For å øke påliteligheten vil det være nødvendig at de riktige personene får varsel om avvik i tilstandsdataen for å kunne starte forberedelsene til vedlikehold under planlagt stans. At teamleder på elektro samt to ansatte får varsel virker å være en god løsning. Overgangen fra å ha manuelle FV-runder til å skulle stole på teknologi kan være utfordrende, men basert på den dataen som ligger til grunn i denne oppgaven fra vedlikeholdslogg og appen for sensordata, ser

det ut til at det er tydelige indikatorer når noe er på vei mot havari. Dette kan bety at antallet FV-runder kan bli færre. Det vil samtidig fortsatt være utstyr som trenger visuell kontroll, som gjør at noen runder i området uansett gjennomføres.

Dersom flere sensorer skal installeres, vil det (som tidligere nevnt) kunne bli nødvendig å enten dele opp i flere systemer i neuronappen eller integrere dataen inn i et felles analyseprogram for vedlikehold. Å ha fokus på dette allerede i oppstarten av montering av ekstern sensorikk vil være viktig for å få en godt gjennomtenkt løsning på analysing og oppdeling av data. Å rydde opp i slikt er ofte mer krevende enn å sette av tid og gjøre gode forberedelser i oppstarten. Å blande tilstandsdata for vedlikehold med sensordata for prosess er ikke nødvendig, og av datasikkerhetsmessige årsaker kan det være en fordel å unngå at tilstandsdata for vedlikehold fra flere ulike bedrifter integreres i prosessstyringssystemer.

Det må fortsatt jobbes med implementering av EAM for å få utnyttet potensialet bedre. Desto mer informasjon som kan spille på hverandre i programmet, jo bedre utnyttelse oppnås og mer av økonomi, lagerbeholdning, vedlikehold og tidsbruk kan fylles ut automatisk.

5.4 Resultatmål 4 - Redusere og forbedre forbruk ved bruk av teknologi

Unødvendige bytter av komponenter kan unngås ved hjelp av driftsmønsteret som blir innhentet av sensordataen. Dette gjør at det vil bli færre uventede hendelser siden sensordataen med høy sikkerhet kan si hvordan forløpet til mulig havari ser ut. Dette gjør at veien videre fra et kalenderbasert vedlikehold til prediktivt vedlikehold blir enklere og tryggere. Teoretisk sett vil forbruket på deler basert på sensorer bli redusert, men det betyr ikke at færre bytter skjer. Dette på bakgrunn av at det ikke finnes nok informasjon om driftsmønsteret til systemet per dags dato, og vi kan dermed ikke vite om forbruket blir redusert.

Som nevnt tidligere så er FV-runder et daglig gjøremål for områdeansvarlig, og en del av runden er å undersøke om det kommer ulyder fra systemet. Om forbruket av deler blir mindre eller ikke kan man ikke si før sensorene har vært i bruk en stund og at informasjonen av driftsmønsteret blir synlig, og eventuelle kalenderbaserte vedlikehold blir utsatt/tatt bort på bakgrunn av sensordata. Det er også en forskjell på forbruket for ovn 1 og ovn 2, og ut ifra vedlikeholdsloggen er det sjeldnere bytter på ovn 1 enn ovn 2, noe som gjør forbruket mindre.

Ved å benytte sensorer kan man unngå kalenderbaserte bytter, og heller kun bytte på varsel om begynnende havari. Dette er med på å gjøre driften mer bærekraftig ved å redusere avfall av

materiell. Dette svarer godt til bærekraftmål 12; sikre bærekraftig forbruks- og produksjonsmønstre. Spesielt vil dette hjelpe oss å nå delmål 12.5 som omhandler blant annet reduksjon av avfallsmengde.

Som nevnt tidligere så har uplanlagt stans store konsekvenser i tap av produksjon og kostnader. Det er sagt at en uplanlagt stans kan koste opp mot en halv million kroner. Dette på grunn av nedetid på produksjonen, tiden det tar å komme seg til arbeidsstedet samt de faktiske reparasjonskostnader. Det får størst konsekvens utenfor arbeidstid og i helger. Dette fordi det krever vaktutkalling. Sensorene på ovn 2 har allerede avverget én uplanlagt stans, samt gitt tydelig indikasjon på det samme som er avdekt ved manuell inspeksjon. Det kan fortsatt forekomme hendelser som sensorer ikke vil detektere, for eksempel på grunn av ytre påvirkninger. Ved å redusere uønskede stanser så vil man ikke bare spare inn på kostnader, men man vil også redusere forbruket av materiell og avfall. Dette vil gjøre at bedriften blir mer miljøvennlig.

5.5 Validiteten til oppgaven

Validiteten til oppgaven preges av ulike faktorer i både positiv- og negativ forstand. De faktorene som har spilt en rolle for validiteten for denne oppgaven er:

- Innhentet data fra ulike personer. Personer innad i Thamshavn, og produktleverandører.
- Innhentet data fra intervju/samtale og e-post korrespondanse.
- Informasjon innhentet har ikke vært nedskrevet formell dokumentasjon.
- Kunnskapen og erfaring til oppgaveskrivere.
- Benyttet fagartikler, oppslagsverk, bøker og andre ulike nettsider.
- Mottatt mye viktig tilleggsinformasjon underveis fra Thamshavn.
- Thamshavn mangler/har ikke oversikt over noe dokumentasjon. På grunn av at mye informasjon ikke er nedskrevet, eller ikke systematisk lagret.

På grunn av disse faktorene er det mulig at noe informasjon ikke er kommet fram eller ikke har blitt fanget opp ved muntlig kommunikasjon. For å øke gyldigheten til oppgaven er det blitt skrevet notater underveis, og møtereferater som er lagret i egen mappe. På grunn av at informasjon har kommet til underveis har resultater blitt revidert, noe som kunne ha ført til feil og mangler som svekker gyldigheten til oppgaven.

6 Konklusjon og videre arbeid

Dette kapitlet omhandler den endelige konklusjonen for besvarelse av problemstillingen ved hjelp av de fire resultatmålene, samt eventuelt videre arbeid. Problemstillingen for oppgaven er som følger: *Hvordan kan sensorer og IoT forhindre uplanlagt stans og øke påliteligheten til sperreluftviftene?*

6.1 Resultatmål 1 - FMECA av sperreluftviftene

Sperreluftviftene er kritisk utstyr, og ut ifra FMECA som ble gjennomført kan man se hvilke feilmøder som er de mest kritiske. Feildimensjonert viftehjul er den feilmekanismen som er mest kritisk, samtidig som det er en feilmekanisme som enkelt kan forhindres. Ved å gjøre nye beregninger av viftehjulet, kan man finne ut hvor store endringer som kreves for at viftehjulet i større grad skal være tilpasset el-motoren som driver det. Bruk av sensorer kan være en løsning på symptomet og forhindre uplanlagt stans, men vil ikke løse det faktiske problemet. Oppdagbarheten på feilmekanismen kan derfor reduseres fra tre til en ved bruk av sensorer. Samtidig kan en negativ konsekvens med innføringen av IoT være at de ansatte i mindre grad må inspisere utstyret og dermed får mindre kjennskap til helheten av prosessen.

6.2 Resultatmål 2 - Vurdere hvilken verdi Neuronsensors system gir Elkem Thamshavn

Neuronsensors system har vært i bruk på Thamshavn over en lengre periode, men vibrasjonssensorene på sperreluftviftene ble montert opp første gang i juni 2022. Alarmgrensen på vibrasjonssensorene er satt til 2 g. Ut ifra dataen som er analysert, er 2 g en hensiktsmessig alarmgrense. Denne alarmgrensen gir tid nok til å forberede vedlikehold før havari inntreffer.

Om det er nødvendig med bruk av Ampere sensorer på sperreluftviftene må det tas en beslutning på ved neste alarm/observasjon av endret mønster. Basert på grafene som er hentet ut så langt, kan det se ut til at det er nok å benytte bare vibrasjonssensoren. Å benytte færre sensorer vil kunne bidra til mindre datamengde og bedre oversikt.

Neuronsensors.app er enkelt å bruke, og krever ingen bistand fra El-Watch. Fordeler med det er at systemet kan benyttes av så mange brukere som ønskelig, og at alle som har administratortilgang kan sette alarmgrenser på «sitt» utstyr. Ulempen med mange sensorer i

ulike prosesser/områder samlet i et system, er at det blir uoversiktlig og rotete, samt at ingen har overordnet kontroll og oversikt. En mulig løsning på dette er å dele det inn i flere, mindre systemer med én ansvarlig person for hvert.

At Neuron Vibration kun gir vibrasjon i RMS kan være en fordel for å forenkle analysering og setting av alarmgrenser. Dataen fra sensorene vil være noe utydelig ved bruk på større komponenter med lavere omdreinings hastighet, og hvor man ønsker mer spesifikk informasjon om hvor skaden er.

6.3 Resultatmål 3 - Evaluere driftsmønster av dagens tilstand til sperreluftviftene og foreslå tiltak for å øke påliteligheten

Neuron Vibration fungerer godt på sperreluftviftene. Dataen viser at det er tydelig utslag på vibrasjon detektert av sensorene, samtidig som områdeansvarlig oppdager endring manuelt. Dette gjelder alle de fire hendelsene på henholdsvis vifte 1, 5 og 8 som har skjedd siden sensorene ble montert. Begynnende svikt på vifte 5 i november 2022 ble kun avdekket ved å benytte sensordata.

Det kan sies at å montere sensorer på sperreluftviftene på ovn 2 er å behandle symptomet og ikke problemet. Dette fordi viftene mest sannsynlig er feildimensjonert. Nye beregninger vil derfor kunne være en løsning for å minke hyppigheten av vedlikehold på ovn 2. Lagerbeholdningen av deler til denne komponenten er stor. Ved å rydde opp i lagerbeholdning og loggføring, kan antall deler reduseres.

Å benytte sensorer istedenfor visuell kontroll vil gi konkrete tilstandsdata å forholde seg til. Det vil også gi større rom for annet arbeid, i stedet for å bruke tid og ressurser på FV-runder. En opprydding og systematisering av dokumentasjon vil være nødvendig for å optimalisere vedlikeholdet på Thamshavn. Det er fortsatt noe usikkerhet rundt bruken av EAM blant ansatte - dette bør tas tak i. Ved å nyttiggjøre seg av funksjonene i EAM, vil etter hvert en større del av vedlikeholdsarbeidet automatiseres.

At IT-avdelingen har stått i front for å innføre systemet har vært positivt, fordi det har da vært kun én avdeling med hovedansvar og kjennskap til alle sensorer på Thamshavn. Dette er uavhengig om sensorikken brukes til vedlikehold eller i prosess. Samtidig er det viktig at informasjon og opplæring går ut til alle aktuelle personer som skal benytte seg av det, for å unngå misforståelser og for økt nyttegrad. Det kan være hensiktsmessig å tydeliggjøre ansvar,

for å få et best mulig utbytte av sensordataen og systemet. At alarmer fra sperreluftviftene går ut til riktige personer er viktig for å få en sømløs prosesstart og færrest mulig mellomledd - slik det er løst i dag.

6.4 Resultatmål 4 - Redusere og forbedre forbruk ved bruk av teknologi

Ved å installere sensorer som gir alarmer når et faktisk bytte må skje, kan man forhindre at unødvendig bytter skjer for tidlig, eller at det blir havari og uplanlagt stans. Unødvendige bytter koster økonomisk både i tid, ressurser og forbruk av deler med gjenstående levetid. Bærekraftmål 12.5 omhandler nettopp det; å redusere avfallsmengde.

En uplanlagt stans er økonomisk kostbart og bør unngås. Om antall uplanlagte stans- og forbruk kan reduseres ved bruk av disse sensorene, vil man spare økonomisk og samtidig bidra til økt bærekraft. En kostnadsbesparing på omtrentlig 500 000 kr har allerede blitt gjort med sensorene ved å forhindre stans på vifte 5.

6.5 Videre arbeid

Denne oppgave konkluderer med at sensorer og IoT kan bidra til å hindre uplanlagt stans og øke påliteligheten til sperreluftviftene, og at Thamshavn er godt i gang med arbeidet.

Videre bør det fokuseres på systematisering, dokumentering og fordeling av ansvarsområder. På denne måten kan det dras flere fordeler ut av sensorer og programvare som i dag allerede er tilgjengelig. Det er tydelig at dataen som kommer fra Neuron Vibration i dag gjør det som er hensikten; gir alarmer, bidrar til prediktivt vedlikehold og hindrer uplanlagt stans. Videre studie på dette området kan være å beregne hvor stor el-motoren bør være og hvor mye luft som trengs for å skape det nødvendige overtrykket. Dette mangler det dokumentasjon på, og vil gi en indikasjon på om rota i problemet bør fikses ved å endre på deler i komponenten.

Kildehenvisning

Bye, P. I. (2009). *Vedlikehold og driftssikkerhet*. Trondheim.

Collin, J., Hiekkanen, K., Korhonen, J.J., Halen, M., Itala, T., & Helenius, M. (2015). *IT Leadership in Transition – the impact of digitalization on Finnish Organizations* (D. o. C. S. School of Science, Trans. Vol. 7 / 2015): Aalto University.

Danielsen, A. V. (2015) Digitalisering og utfordringer for ledere i den maritime klyngen, Idunn, s. 206-229. doi: <https://doi.org/10.18261/9788215053349-2021-11>

Ddv.org (2022) *Kritikalitetsanalyse*. Hentet 05.05.23 fra https://www.ddv.org/posthandler/document/kritikaliltets_matrice.pdf

El-Watch a). *Neuron Vibration*. Hentet 19.01.23 fra <https://el-watch.com/wp-content/uploads/2021/04/Produktark-Neuron-Vibration.pdf>

El-Watch b). *Neuron Ampere*. Hentet 14.04.23 fra https://el-watch.com/wp-content/uploads/2023/01/Productsheet_Neuron_Ampere_2-1.pdf

El-Watch c). *Neuron Cellular Gateway*. Hentet 14.04.23 fra https://el-watch.com/wp-content/uploads/2023/01/Productsheet_Neuron_CellularGateway_2-1.pdf

FN-sambandet (2023) *Ansvarlig forbruk og produksjon*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon> (Hentet: 18.04.2023).

Goo m. fl. (2019) Design of reliability critical system using axiomatic design with FMECA, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, volum (11), s. 12-13. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2017.11.004> (Hentet: 19.03.23)

Grøn, Ø. (2021) Vibrasjoner, *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/vibrasjoner> (Hentet: 05.05.23).

Holm, A. O. (2016) Elkems oppkjøp av Fesil er nå godkjent av Konkurransetilsynet. Det nye selskapet skal hete Elkem Rana AS. High North News. Tilgjengelig fra: <https://www.highnorthnews.com/nb/godkjenner-oppkjopet-av-fesil-rana-metall> (Hentet 14.03.23)

Høye, A. S. (2019) Sentrifugalvifte, *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/sentrifugalvifte> (Hentet: 14.04.2023)

Kofstad, P.K. og Pedersen, B. (2022) *Silisium*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/silisium> (Hentet: 14.04.23)

Norconsult (2020) *Elkem Thamshavn*. Tilgjengelig fra: <https://www.norconsult.no/prosjekter/elkem-thamshavn/> (Hentet: 12.04.23)

Oljedirektoratet (1998) *Basisstudie vedlikeholdsstyring*. Tilgjengelig fra: <https://www.ptil.no/contentassets/9fdd4648b19747aca09c0abd82830c8b/basisvedlikehold.pdf> (Hentet: 28.03.23)

Pedersen, V.B. (2021) *Elektriske motorer. Mast2003*. Tilgjengelig fra: https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_27633_1/cl/outline (Hentet 20.03.23)

Pedersen, V. B. (2022) *Vibrasjon 1. Mast2012*. Tilgjengelig fra: <https://tinyurl.com/473ac5kc> (Hentet 19.02.23)

Rienecker, L., Jørgensen, P. S. (2013) *Den gode oppgaven – håndbok i oppgaveskriving på universitet og høyskole*. 2. utgave. Fagbokforlaget.

Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 11(5), pp. 77–90. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072> (Hentet: 23.05.23)

Rolstadås, A., Johansen, A., Olsson, N. og Langlo, J. A. (2020). *Praktisk prosjektledelse – fra idé til gevinst*. 2. utgave. Fagbokforlaget.

Rolstadås, A. (2022) Kvalitetsledelse (produksjonsteknikk), *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/kvalitetsledelse_-_produksjonsteknikk (Hentet: 05.05.23)

Ryland, K. (2018). Elektriske motorer. *Nasjonal digital læringsarena*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/article/9960> (Hentet 20.4.23)

Standard Norge (2017). *NS-EN 13306 Vedlikehold – vedlikeholdsterminologi*. Tilgjengelig fra <file:///C:/Users/Kjersti/Downloads/267710220001nsen1330620171no01-1.pdf> (Hentet 16.02.23)

Schei, A., Tuset, J. K. og Tveit, H. (1998) *Production of high silicon alloys*. Trondheim: Tapir akademiske forlag

Tjernshaugen, A. (2022) Bærekraft, *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/b%C3%A6rekraft> (Hentet: 18.04.23)

Øverby, H. (2021) Tingenes internett, *Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/tingenes_internett (Hentet: 22.01.23)

7 Vedlegg

Vedlegg 1 – FMECA av sperreluftvifter

System/utstyr: sperreluftvifte			Dato: 26.01.23		Utført av: Kjersti Drugli, Marthe Solvåg og Ingrid Hynne										
Beskrivelse av enheten			Beskrivelse av feil				Effekt av feil		Risiko						
Ref.nr	Funksjon	Operasjonell tilstand	Feilmode	Feilårsak	Feilmekanisme	Deteksjon av feil	På andre enheter	På hovedfunksjon	Frekvens	Konsekvens	Oppdagbarhet	Risikoindeks (RPN)	Risikoreduserende tiltak	Merknad	
1	Blåse luftlovertykk	Aktiv	Blåser for lite luft	Ødelagt flat flens mellom motor og viftehus	Varmepåkjenning/korrosjon	Visuell inspeksjon	Feilgang i motor/viftelager	Produksjons-/vedlikeholdsstans	1	1	3	3	Riktig innklima/ventilasjon	Ulike varmpåkjenning ut i fra plassering	
				Ødelagt flat flens mellom motor og viftehus	Skjevmontering	Visuell inspeksjon	Feilgang i motor/viftelager	Produksjons-/vedlikeholdsstans	2	1	2	4	Korrektivt vedlikehold	Oppdagbarhet - størrelse avgjør oppdagbarhet	
				Kontakt mellom viftehjul og viftehus	Slitasje/ødelagt glassfiberpakningstau	Visuell inspeksjon/fysisk test for luftstrøm	Feilgang i motor/viftelager	Produksjons-/vedlikeholdsstans	2	1	4	8	Korrektivt vedlikehold		
				Kontakt mellom viftehjul og viftehus	Feil ilved kilspor	Tilstandskontroll	Feilgang i motor/viftelager	Produksjons-/vedlikeholdsstans	2	1	3	6	Kvalitetssikring ved montering		
				Kontakt mellom viftehjul og viftehus	Feilmontering av glassfiberpakningstau	Visuell inspeksjon/fysisk test for luftstrøm	Feilgang i motor/viftelager	Produksjons-/vedlikeholdsstans	3	1	1	3	Gode prosedyrer for montering		
				Kontakt mellom viftehjul og viftehus	Feilmontering av bolter	Visuell inspeksjon og tilstandskontroll	Feilgang i motor/viftelager	Produksjons-/vedlikeholdsstans	3	1	2	6	Gode prosedyrer for montering		
				Kontakt mellom viftehjul og viftehus	Støvoppsamling i viftehus	Tilstandskontroll	Feilgang i motor/viftelager	Produksjons-/vedlikeholdsstans	1	1	4	4	Forebyggende vedlikehold		
				Kast i viftehjul	Feilbalansering av viftehjul	Tilstandskontroll og inspeksjon	Feilgang i motor/viftelager	Produksjons-/vedlikeholdsstans	4	1	4	16	kvalitetssikring ved montering/tilstandsovervåking		
				Kast i viftehjul	Slitasje på vifteblad	Visuell inspeksjon	Feilgang i motor/viftelager	Produksjons-/vedlikeholdsstans	2	1	1	2	Visuell kontroll		
				Kast i viftehjul	Støvoppsamling på vifteblad	Visuell inspeksjon	Feilgang i motor/viftelager	Produksjons-/vedlikeholdsstans	4	1	2	8	Forebyggende vedlikehold		
				Blåser ikke luft	Kast i viftehjul	Ubalanse i statorrotor	Tilstandsovervåking/fysisk kontroll	Feilgang i motor/viftelager	Produksjonsstans	1	3	4	30	Fysisk kontroll	
				Lagerhavari	Feilmontering av motor på viftehus	Tilstandsovervåking og inspeksjon	Slitasje/stans i hele systemet	Produksjonsstans	4	3	1	12	Gode prosedyrer for montering		
				Lagerhavari	Slitasje på lager	Tilstandskontroll (vibrasjon og temperatur)	Slitasje/stans i hele systemet	Produksjonsstans	4	3	2	24	Tilstandsovervåking		
				Lagerhavari	Feildimensionert viftehjul	Fysisk inspeksjon	Stans i hele systemet	Produksjonsstans	4	3	3	36	Teoretisk beregning på effekt og størrelse, samt effektmåling		
Motorhavari	Overanstrengelse av motor	Fysisk inspeksjon/tilstandskontroll	Stans i hele systemet	Produksjonsstans	5	3	2	30	Teoretisk beregning av effekt og størrelse, tilstandsovervåking	Mest aktuelt for ovn 2 pr. dags dato.					
Motorhavari	Ubalanse i statorrotor	Tilstandskontroll (vibrasjon)	Stans i hele systemet	Produksjonsstans	4	3	1	12	Fysisk kontroll						
Motorhavari	Motorvern går	Inspeksjon/faseovervåking	Stans i hele systemet	Produksjonsstans	3	3	1	9	Inspeksjon og tilstandsovervåking						
Motorhavari	Feildimensionert viftehjul	Fysisk inspeksjon	Stans i hele systemet	Produksjonsstans	4	3	3	36	Teoretisk beregning på effekt og størrelse, samt effektmåling						

FREKVENS				
> 25 år	10 -25 år	5 - 10 år	1 - 5 år	< 1 år
1	2	3	4	5

KONSEKVENS - For materiale verdier				
Liten	Middels	Stor	Svært stor	Katastrofalt
< 50 000kr	50 000-100 000kr	100 000-500 000kr	500 000-2 000 000kr	> 2 000 000kr
1	2	3	4	5

OPPDAGBARHET				
Svært sannsynlig	Sannsynlig	Lite sannsynlig	Usannsynlig	Svært usannsynlig
Lett å oppdage	Litt lett å oppdage	Kan oppdages med erfaring	Vanskelig å oppdage	Umulig å oppdage
1	2	3	4	5

Vedlegg 2 - Vedlikeholdslogg

Arbeidsordre	Beskrivelse	Statusikon	AO Type	Prioritetsikon	Kritikalite	Utstyr	Utstyrsbeskrivelse	Avdeling	Rapportert dato	Planl. startdato	Planl. slutt dato	Avsluttet dato
[R] ▼	[R] ▼ charge	[R] ▼	[R] ▼	[R] ▼	[R] ▼	[R] ▼	[R] ▼ sperreluft	[R] ▼	= ▼	= ▼	= ▼	= ▼
452180	Bytte og rep av chargerørsvifte 5 ovn 2	10. Avsluttet	530 - Tilstandsbasert Forebyggende Vedlikehold	2. Høy	9	320000405	Sperreluftsvifte 5 (Ovn 2)	ELOVN2	15-NOV-2022 12:39	09-NOV-2022	16-NOV-2022	14-DES-2022 07:54
448966	Ta en sjekk på chargerørsvifte 7. Bytta sikring to ganger i helga	10. Avsluttet	520 - Uforutsett Korrektivt Vedlikehold	3. Medium	9	310004070	Sperreluftsvifte 7 (Ovn1)	ELOVN1	06-NOV-2022 18:03	07-NOV-2022	07-NOV-2022	11-NOV-2022 13:21
438596	Bytte chargerørsvifte 1 ovn 2	10. Avsluttet	530 - Tilstandsbasert Forebyggende Vedlikehold	1. Veldig høy	9	320000401	Sperreluftsvifte 1 (Ovn 2)	ELOVN2	13-OKT-2022 10:18	13-OKT-2022	20-OKT-2022	21-OKT-2022 09:07
438593	Bytte Chargerørsvifte 8 ovn 2	10. Avsluttet	530 - Tilstandsbasert Forebyggende Vedlikehold	1. Veldig høy	9	320000408	Sperreluftsvifte 8 (Ovn 2)	ELOVN2	13-OKT-2022 10:13	11-OKT-2022	18-OKT-2022	21-OKT-2022 09:06
411582	Bytte av chargerørsvifte rør 5 ovn 2	10. Avsluttet	530 - Tilstandsbasert Forebyggende Vedlikehold	3. Medium	9	320000405	Sperreluftsvifte 5 (Ovn 2)	ELOVN2	16-AUG-2022 12:58	16-AUG-2022	16-AUG-2022	23-SEP-2022 14:16
282453	Bytte chargerørsvifte Nr. 2, 5 og 8. P.g.a. Alder.	10. Avsluttet	530 - Tilstandsbasert Forebyggende Vedlikehold	3. Medium	9	320000400	Sperreluftsvifter Ovn2	ELOVN2	02-DES-2021 09:13	02-DES-2021	02-DES-2021	06-OKT-2022 12:20
128967	Chargerørsvifte 4 ovn 2 er brent.	10. Avsluttet	520 - Uforutsett Korrektivt Vedlikehold	1. Veldig høy	9	320000404	Sperreluftsvifte 4 (Ovn 2)	ELOVN2	30-APR-2021 13:11	30-APR-2021	30-APR-2021	02-SEP-2021 07:04
112795	Bytte og lage ny chargerørsvifte 7 ovn 2	10. Avsluttet	530 - Tilstandsbasert Forebyggende Vedlikehold	3. Medium	9	320000407	Sperreluftsvifte 7 (Ovn 2)	ELOVN2	23-MAR-2021 09:18	23-MAR-2021	23-MAR-2021	02-SEP-2021 07:00
93591	Bytte av chargerørsvifte 10 ovn 2	10. Avsluttet	530 - Tilstandsbasert Forebyggende Vedlikehold	3. Medium	9	320000410	Sperreluftsvifte 10 (Ovn 2)	ELOVN2	18-FEB-2021 07:02	18-FEB-2021	18-FEB-2021	02-SEP-2021 06:58
89412	Kast i viftehjul chargerørsvifter ovn 2	10. Avsluttet	510 - Planlagt Korrektivt Vedlikehold	3. Medium	9	320000400	Sperreluftsvifter Ovn2	ELOVN2	10-FEB-2021 14:08	10-FEB-2021	10-FEB-2021	06-OKT-2022 11:55
52957	Bytte chargerørsvifte 1, 7 og 10 pga. alder	10. Avsluttet	530 - Tilstandsbasert Forebyggende Vedlikehold	3. Medium		320000400	Sperreluftsvifter Ovn2	ELOVN2	17-NOV-2020 07:29	17-NOV-2020	17-NOV-2020	02-SEP-2021 06:20

