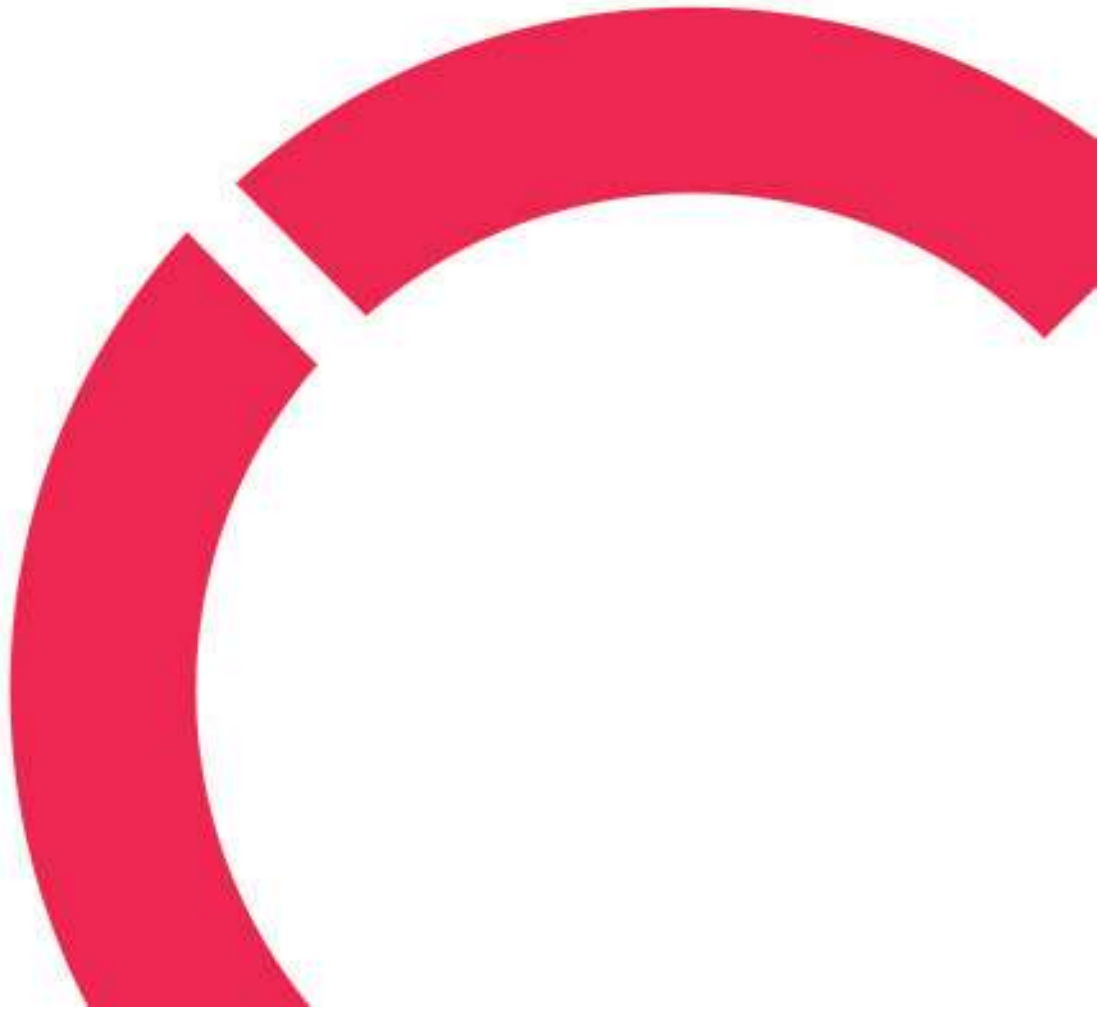


Jarno Markus Korvela

SÄHKÖMOOTTORIN AUTOMAATTINEN KUNNONVALVONTA

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatio koulutus
Toukokuu 2023**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Toukokuu 2023	Tekijä/tekijät Jarno Markus Korvela
Koulutus Sähkö- ja automaatioinsinööri		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi SÄHKÖMOOTTORIN AUTOMAATTINEN KUNNONVALVONTA		
Työn ohjaaja Hannu Ala-Pönttiö		Sivumäärä 39
<p>Tämän opinnäyte työn tarkoituksena oli saada Jukkola Systems Oy:lle arvokasta tietoa automaattisen sähkömoottorin kunnonvalvontajärjestelmistä ja sen mahdollisuuksista yrityksen toiminnassa. Tavoitteena oli myös kunnonvalvontajärjestelmien asiantuntijuuden kasvattaminen myynnin ja huollon avuksi. Työ suoritettiin pilottiprojektina yhteistyössä Siemens Osakeyhtiön ja KIP Servicen kanssa. Siemens tarjosi projektiin tarvittavan kunnonvalvontalaitteiston sekä IoT-palvelun. Kunnonvalvonta laitteet asennettiin KIP Servicen tiloihin Jukkola Systems Oy:n toimittamiin kahteen Siemens-sähkömoottoriin sekä yhteen KSB-merivesipumppuun.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä rakennettiin Siemens CMS1281-kunnonvalvontamoduuliin pohjautuva värähtelyanturimittaus Siemens 700 kW-sähkömoottorille sekä KSB:n RDLO-pumpulle. Toisessa mittauskohteessa oli asennettuna Siemens-sähkömoottoriin saman valmistajan SC400-kunnonvalvontamoduuli. Näin päästiin vertailemaan kahden eri automaattisen kunnonvalvontalaitteiston toimintaa sekä käyttöä. Lisäksi mittausdataa vertailtiin yrityksen käytössä olevaan käsimittauskalustoon. Laitteista saatu mittaustieto vietiin Siemensin MindSphere IoT-palveluun, josta yrityksen sekä asiakkaan on mahdollista seurata reaaliaikaisesti kunnonvalvontatietoja. Siemens CMS1281:lle sekä SC400-laitekokonaisuuksille rakennettiin itsenäiset 4G-pohjaiset verkkoyhteydet. Lisäksi CMS1281-moduulille luotiin etäyhteys VPN-palvelun avulla.</p>		
Asiasanat Kunnossapito, automaatio, värähtelymittaus		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date May 2023	Author Jarno Markus Korvela
Degree programme Electrical and Automation Engineer		
Name of thesis THE AUTOMATIC CONDITION MONITORING OF AN ELECTRIC MOTOR		
Centria supervisor Hannu Ala-Pöntiö		Pages 39
<p>The purpose of this thesis was to provide valuable information on automatic condition monitoring systems for electric motors and their potential benefits for Jukkola Systems Ltd. Additionally, the aim was to increase the expertise in condition monitoring systems to aid in sales and maintenance. The work was performed as a pilot project in collaboration with Siemens Ltd and KIP Service. Siemens provided the necessary condition monitoring equipment and an IoT service for the project. The condition monitoring devices were installed in two Siemens electric motors and one KSB RDLO seawater pump supplied by Jukkola Systems Ltd at KIP Service facilities.</p> <p>In this thesis, a vibration sensor measurement based on the Siemens CMS1281 condition monitoring module was built for the Siemens 700kW electric motor and KSB RDLO pump. In another measurement location, the Siemens SC400 condition monitoring module from the same manufacturer was installed in the electric motor. This allowed for a comparison of the performance and use of two different automatic condition monitoring devices. In addition, the measurement data was compared to the company's portable measurement equipment. The measurement data obtained from the devices was transferred to the Siemens MindSphere IoT service, which allows the company and its customers to monitor real-time condition monitoring data. The devices were equipped with independent 4G-based network connections and the CMS1281 module was equipped with remote access.</p>		
<p>Key words Automation, maintenance, vibration measurement</p>		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

RMS

Root mean square on neliöllinen keskiarvo. Tehollisarvo.

vRMS

Root mean square velocity on nopeuden neliöllinen keskiarvo. Nopeuden tehollisarvo.

aRMS

Root mean square acceleration on kiihtyvyyden neliöllinen keskiarvo. Kiihtyvyyden tehollisarvo.

CMS

Condition monitoring system on kunnonvalvontajärjestelmä mekaanisten komponenttien valvontaan.

DKW

Diagnostic characteristic value on diagnostinen ominaisarvo, joka lasketaan kiihtyvyyden avulla.

a_{eff}

RMS value for vibration acceleration on värähtelykiihtyvyyden neliöllinen keskiarvo.

SC400

SIMOTICS CONNECT 400 on Siemensin valmistama sähkömoottorin käynti- ja kunnonvalvontamoduuli.

DE

Drive end on tavallisesti sähkömoottorin käyttöpää, eli käyttöakselipuoli.

NE

Non drive end on tavallisesti sähkömoottorin käyttöpään vastainen puoli.

FFT

Fast Fourier Transformation on spektrianalyysissä käytetty matemaattinen algoritmi.

PLL

Phase Locked Loop on moottorin kierrosnopeuden laskenta-algoritmi.

TSL

Transport Sockets Layer on tietoliikennesalaustekniikka.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 KUNNOSSAPITO.....	2
2.1 Kunnossapidon määritelmiä	2
2.2 Kunnossapitolajit	3
2.3 Kuntoon perustuva jatkuva kunnonvalvonta.....	3
3 VÄRÄHTELYMITTAUKSEN TEORIAA	5
3.1 Värähtelymittauksen suureet ja mittayksiköt.....	6
3.2 Värähtelymittaukseen liittyvät parametrit.....	7
3.3 Värähtelyn taajuuspektri.....	8
3.4 Värähtelymittaus suureet taajuustasossa	9
4 VÄRÄHTELYMITTAUSTEN ANALYSOINTI.....	10
4.1 Trendiseuranta	11
4.2 Spektrianalyysi	14
4.3 Verhokäyräanalyysi	15
5 PROJEKTIN KUNNONVALVONTALAITTEET	18
5.1 Tila 1. Siemens CMS sm1281-järjestelmä	18
5.1.1 Siemens S7-1200 PLC	19
5.1.2 Siemens SM1281.....	20
5.1.3 Siemens Step 7 TIA Portal	20
5.1.4 Siemens MindConnect Nano	20
5.1.5 Siemens Scalance m876-4	21
5.1.6 Siemens CM 1242-5 Profibus	21
5.2 Tila 2. Siemens SIDRIVE IQ Fleet järjestelmä.....	21
5.2.1 Siemens SC400-moduuli	22
5.2.2 Siemens Scalance m876-4	22
5.2.3 Siemens Scalance w700	23
5.3 Käsimittauslaitteisto	23
6 LAITTEIDEN ASENNUS JA OHJELMOINTI.....	24
6.1 Tila_1 laitteiden käyttöönotto	24
6.1.1 SM1281-järjestelmän ohjelmointi	25
6.1.2 SM1281-järjestelmän konfigurointi	29
6.1.3 SM1281-järjestelmän web käyttöliittymä.....	31
6.1.4 SM1281-järjestelmän linkitys MindSphere palveluun.	31
6.2 Tila_2 laitteiden käyttöönotto	33
6.2.1 SIDRIVE IQ järjestelmän konfigurointi	33
7 MITTAUSTULOKSIA.....	34
7.1 Tila_1 SM1281-järjestelmän mittaustuloksia.....	34
7.2 Tila_2 SIDRIVE IQ Fleet järjestelmän mittaustuloksia	35
7.3 Pruftechnik VIBXPert 2 mittaustuloksia	36

8 POHDINTA	37
-------------------------	-----------

LÄHTEET	39
LIITTEET	

KUVAT

KUVA 1. Kunnossapitolajit SFS 13306 standardin mukaan.....	3
KUVA 2. Jousi-massasysteemi aikatasossa, pisteen a värähtely.....	5
KUVA 3. Jousi- massasysteemi, pisteen a siirtymä, nopeus ja kiihtyvyys	6
KUVA 4. Värähtelysignaaliin liittyvät yleisimmät parametrit	7
KUVA 5. Yksittäinen siniaalto esitettynä aika ja taajuustasossa.....	8
KUVA 6. Kolmen siniaallon värähtelysignaali esitettynä aika ja taajuustasossa.....	8
KUVA 7. Siirtymän, nopeuden ja kiihtyvyyvärähtelyn merkitykselliset taajuusalueet.....	9
KUVA 8. Tyypillinen mittauksella tai laskennalla saatu trendikäyrä ominaisarvoista	12
KUVA 9. Esimerkkitapaus RMS	13
KUVA 10. Esimerkkitapaus DKW	14
KUVA 11. Värähtelynopeuden spektri 2 Hz - 1 kHz, sekä vikoja niiden ominaistajuuksilla	14
KUVA 12. Värähtelykiihtyvyyden spektri 2 Hz – 10 kHz, sekä vikoja niiden ominaistajuuksilla.....	15
KUVA 13. Verhokäyräanalyysin perusajatus	16
KUVA 14. Viallinen laakeri	17
KUVA 15. Ehjä laakeri.....	17
KUVA 16. Tila_1 Järjestelmäkuva	19
KUVA 17. TIA Portal.....	20
KUVA 18. SIDRIVE IQ Fleet toimintaperiaate	22
KUVA 19. Pruftechnik VIBXPERT 2 mittalaite.....	23
KUVA 20. Tila_1 Kunnonvalvontalaitteisto	25
KUVA 21. TIA Portal Device configuration	26
KUVA 22. LMS 1281 kirjaston lisääminen.....	26
KUVA 23. CMS[FC1] ja SM1281_Module	27
KUVA 24. CMS[FC1] ja SM1281_Channel	28
KUVA 25. Valmet siirto	28
KUVA 26. Main[OB1] ja Valmet siirto kutsu.....	29
KUVA 27. Channel_1 parametointi	30
KUVA 28. SM1281_Module_DB parametointi.....	30
KUVA 29. Siemens SM 1281-Web-käyttöliittymä	31
KUVA 30. MindSphere Insight Hub aloitussivu.....	32
KUVA 31. MindSphere Monitor SM1281-mittausdata, CH1_vRMS.....	32
KUVA 32. Moottorin Nde puolen aRMS-mittausdataa.....	34
KUVA 33. SIDRIVE IQ Fleet, moottorin värähtelytasot sekä kierrosnopeus	35
KUVA 34. Pruftechnik VIBXPERT 2 moottorin De kiihtyvyydendataa	36

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Tärinämittaukseen liittyvät suureet ja yksiköt.....	7
TAULUKKO 2. ISO 10816 Standardin mukainen nopeuden tärinärasitustaulukko.....	10
TAULUKKO 3. Yleisimmät viat, jotka havaitaan diagnostiikan avulla	11

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö suoritettiin Jukkola Systems Oy:n toimeksiantona talven 2022 ja kevään 2023 aikana osana Centria-ammattikorkeakoulun sähkö- ja automaatioinsinöörin tutkintoa. Työn ohjaajana toimi Centria-ammattikorkeakoulun sähkö- ja automaatiotekniikan lehtori Hannu Ala-Pönttiö. Jukkola Systems Oy on erikoistunut sähkömoottoreiden, pumppujen sekä puhaltimien myynti- ja huoltotoimintaan. Yrityksen ajatus on pystyä tuottamaan asiakkaalle kokonaisvaltainen palvelu suunnittelusta, asennuksesta sekä huollosta. Lähtötilanne on, että yrityksen huolto-organisaatio suorittaa asiakkailleen laakereiden kunnonvalvontamittauksia käsilaitteilla, lisäksi asiakkaiden halu automatisoida laakereiden kunnonvalvonta on lisääntynyt merkittävästi. Tässä opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, mitä mahdollisuuksia automaattinen kunnonvalvontajärjestelmä voisi tuoda yrityksen palvelurakenteeseen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli saada työn toimeksiantajalle selkeä kuva Siemens sm1281- automaattisen kunnonvalvontajärjestelmän toiminnasta sähkömoottori- ja pumppu käytössä, sekä sc400-sähkömoottorin kunnonvalvontamoduulista. Lisäksi tarkoitus oli kartoittaa miten näitä laitteita sekä järjestelmiä käyttämällä yritys voisi saada lisäarvoa toimintaansa. Työssä rakennettiin värähtelyantureihin perustuva kunnonvalvonta merivesipumpulle sekä sitä pyörittävälle sähkömoottorille. Toisessa kohteessa tarkasteltiin sähkömoottorissa olevaa kunnonvalvontamoduulia ja tehtiin vertailevaa analyysiä näiden kahden eri järjestelmän toiminnasta. Tämän lisäksi automaattisten kunnonvalvontajärjestelmiendataa vertailtiin yrityksen käytössä oleviin käsimittauslaitteisiin. Kunnonvalvontajärjestelmistä saatudata vietiin Siemens MindSphere-pilvipalveluun, josta toimeksiantajan sekä asiakkaan on mahdollista saada hälytyksiä ja varoituksia. Pilvipalveluun tallennetun datan avulla pystytään lisäksi tekemään tarkempaa analyysiä moottoreiden ja pumpun tilasta.

Työ suoritettiin pilottiprojektina yhteistyössä Siemens Osakeyhtiön, sekä KIP Servicen kanssa. Siemens tarjosi tähän projektiin tarvittavat kunnonvalvontalaitteet ja järjestelmät, sekä pilvipalvelun. Tässä opinnäytetyössä käsitellään kunnossapitoa, laakereiden kunnonvalvonnan teoriaa, syvennytään työssä käytettyjen kunnonvalvontalaitteistojen kokonaisuuteen sekä tehdään laitteiden toiminnasta ja käytettävyydestä yhteenveto toimeksiantajalle.

2 KUNNOSSAPITO

Nykykäsityksen mukaan kunnossapidon ensisijainen tehtävä on pitää laitteet kaiken aikaa käyttö- ja toimintakuntoisena. ”Kunnossapitoon toki edelleenkin kuuluvat rikkoutuneiden laitteiden tai komponenttien korjaukset, mutta korjaustoiminta ei missään nimessä ole kunnossapidon päätarkoitus.” Kunnossapito on hyvin tärkeä tuotannontekijä, jonka avulla voidaan turvata sekä parantaa tuotantolaitoksen kilpailukykyä. Kunnossapito ei nykynäkemyksen mukaan ole kustannus vaan tärkeä tuotannontekijä. (Mikkonen, Miettinen, Leinonen, Jantunen, Kokko, Riutta, Sulo, Komonen, Lumme, Kautto, Heinonen, Lakka, & Mäkeläinen, 2009, 3.)

2.1 Kunnossapidon määritelmiä

Kansainväliset sekä kansalliset standardit määrittelevät kunnossapitoa. Tämän lisäksi määritelmiä löytyy useista alan teoksista. Suomalaiset teollisuuden tarpeisiin luodut standardit PSK 6201 ja PSK 7501 määrittelevät kunnossapidon näin: ”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” (Mikkonen ym. 2009, 26.)

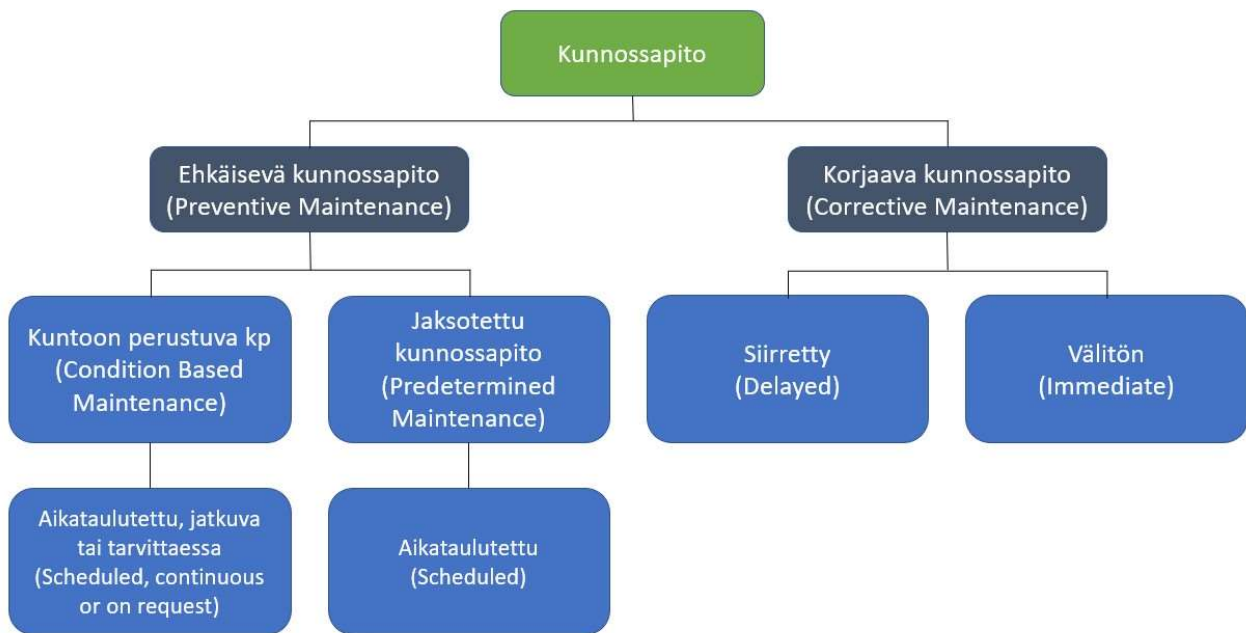
Eurooppalainen standardi SFS-EN 13306 määrittelee kunnossapidon näin ”Kunnossapito koostuu kaikista kohteen eliniän aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon.” Lisäksi alan edelläkävijä John Moubray, joka kehitti ilmailun tarpeisiin 1960 luvulla luotettavuuskeskeisen kunnossapidon määrittelee kunnossapidon näin ”Kunnossapidolla varmistetaan, että laitteet jatkavat sen tekemistä, mitä käyttäjät haluavat niiden tekevän”. (Mikkonen ym. 2009, 26.)

Määritelmät ovat pääasiassa toistensa kaltaisia ja sisältävät seuraavat perusolettamukset

- Kunnossapidolla pyritään siihen, että kohde (=laite) pysyy kunnossa tai se kunnostetaan normaaliin toimintakuntoon.
- Kunnossapitoon kuuluvat varsinaisen tekemisen, eli teknisen suorittamisen lisäksi kaikki näihin toimenpiteisiin liittyvät hallinnolliset ja johtamisen toimenpiteet. (Mikkonen ym. 2009, 26.)

2.2 Kunnossapitolajit

Kunnossapitolajit eroavat hieman eri standardeissa mutta peruslähtökohta on jakaa kunnossapito kahteen päähaaraan: suunniteltuun ehkäisevään kunnossapitoon ja häiriö korjaavaan kunnossapitoon. Kansainvälinen SFS-EN 13306-standardi jakaa toimenpiteet vian havaitsemisen mukaan (KUVA 1).



KUVA 1. Kunnossapitolajit SFS 13306 standardin mukaan. (mukaillen (Mikkonen ym. 2009, 98))

2.3 Kuntoon perustuva jatkuva kunnonvalvonta

Kuntoon perustuva jatkuva kunnonvalvontajärjestelmä (CMS) pohjautuu mekaanisen värähtelyn eli värähtelyn mittaamiseen. Värähtelyä voidaan tunnistaa ja mitata esineiden ja komponenttien, sekä perustuksien pinnalta. Tämä mekaaninen värähtely voi liikkua vain kiinteissä rakenteissa. Mekaanista värähtelyä esiintyy aina massan liikkua, tällainen massa voi olla pyörivä tai koneiden värähtelevä osa. Myös nesteiden ja kaasujen törmäys kiinteään rakenteeseen aiheuttaa värähtelyä. (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions.)

CMS-järjestelmällä mitattu värähtelyinformaatio on hyvin arvokasta laitteen kannalta. Värähtelydatan avulla voidaan saavuttaa useita kunnonvalvonnan kannalta merkittäviä asioita, kuten esimerkiksi havaita koneen kulumisen hyvin varhaisessa vaiheessa. Tämän tiedon avulla voidaan optimoida laitteiden ennakkohuoltovälejä. Huoltovälien optimoinnin avulla voidaan pystyä laskemaan huoltokustan-

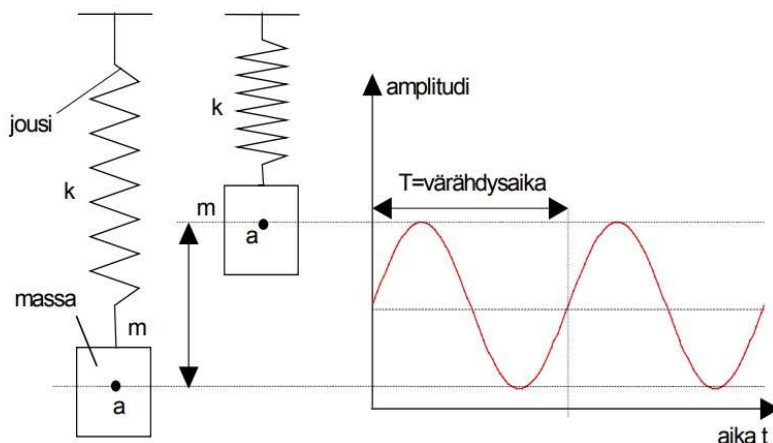
nuksia, lisäksi laitteen käyttöaste kasvaa sekä elinkaari pitenee. CMS-järjestelmän valvonnassa oleva laite on ennustettava ja näin ollen tuotantoprosesseista tulee vakaampia, luotettavampia sekä tuottavampia. CMS-järjestelmän avulla havaitaan koneen tai laitteen kunto ilman että laitetta tarvitsee fyysisesti käydä katsomassa. Tämä tuo lisäarvoa varsinkin miehittämättömiin kohteisiin, missä laitteita sekä prosessia valvotaan etänä. (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions.)

Koneessa tai laitteessa havaittava värähtely voi johtua useista eri syistä. Laakerivaurioiden lisäksi värähtelyä voi syntyä epätasapainosta, voimansiirtojen linjausvirheestä, vaihteistoista, magneettisista sekä hydraulisista voimista. Värähtelyn alkuperä johtuu kuitenkin suurelta osin aina koneen tai laitteen pyöriviin osiin kohdistuvista keskipakovoimista. (ABB TTT-käsikirja 2000–7.)

3 VÄRÄHTELYMITTAUKSEN TEORIAA

Käydessään kaikki pyörivät laitteet värähtelevät. Niitä voimia kutsutaan herätteiksi, jotka saavat rakenteen värähtelemään. Herätteinä toimivat erilaiset dynaamiset voimat. Ne voivat aiheutua laitteen normaalista toiminnasta, asennuksen- tai valmistuksen epätarkkuuksista sekä kulumisesta ja vikaantumisesta. Yleensä herätteen aiheuttaja on liikkeessä oleva koneenosa, kuten roottori tai akseli. ”Mitattavan värähtelyn suuruuteen vaikuttavat herätevoiman suuruus sekä rakenteen dynaaminen liikkuvuus”. (Mikkonen ym. 2009, 224.)

Värähtelyä mitataan yleensä laitteen kiinteästä osasta, esimerkiksi rungosta, koska värähtely kulkeutuu tyypillisesti laakereiden kautta runkoon. ”Paras mittauspiste on mahdollisimman lähellä laakeripesää”. (ABB TTT-käsikirja 2000–7). Kaikki värähtelevät laitteet voidaan periaatteessa kuvata jousi-massasysteemin avulla. ”Koska mikään laite ei ole täysin jäykkä”. (ABB TTT-käsikirja 2000–7.)



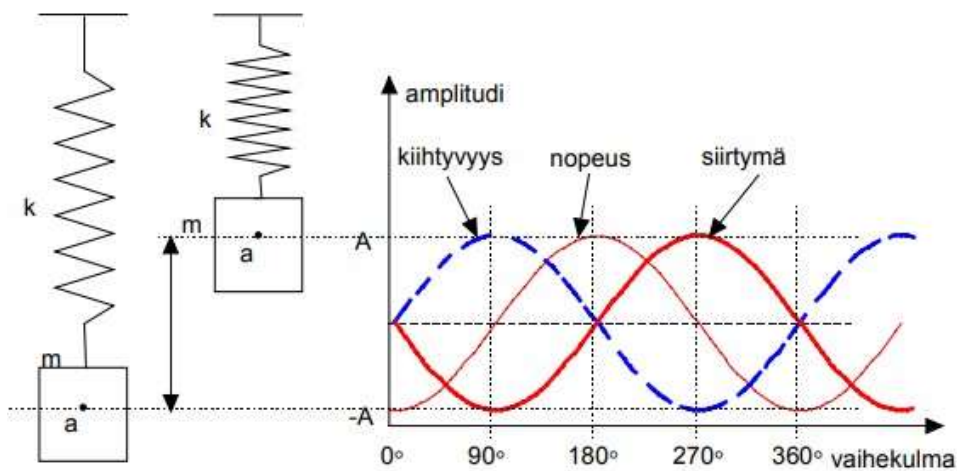
KUVA 2. Jousi-massasysteemi aikatasossa, pisteen a värähtely (ABB TTT-käsikirja 2000–7)

Värähtely voidaan havainnollistaa saattamalla kuvassa 2 oleva massa m liikkeeseen (KUVA 2). Massa alkaa värähdellä tasapainopisteen molemmilla puolilla ja tästä voimme piirtää aikatasokuvaajan. Kuvajaassa vaakatasolla on aika t ja T esittää yhden värähdysliikkeen ajan. Pisteiden a piirtämä aaltomuoto on sini käyrä. Signaalin voimakkuus sekä pisteen a siirtymä voidaan havaita kuvaajan pysty akselilta. Värähdysaikaa T vastaa vaihekulma $\phi = 360^\circ$ astetta eli $\phi = 2\pi$ radiaania. (ABB TTT-käsikirja 2000–7.)

3.1 Värähtelymittauksen suuret ja mittayksiköt

Siirtymän lisäksi kunnonvalvonnassa tarkastellaan yleisesti myös nopeutta ja kiihtyvyyttä. Näistä kolmesta suuresta eniten käytetty on värähtelyn nopeus. Nopeus saadaan matemaattisesti ratkaistua derivoimalla siirtymä kerran ajan suhteen ja kiihtyvyys derivoimalla siirtymä kahteen kertaan ajan suhteen tai nopeus kerran. Tämä yhteys voidaan havainnollistaa niin, että nopeus voidaan ymmärtää siirtymän eli paikan muutosnopeutena ja kiihtyvyys nopeuden muutosnopeutena. (Mikkonen ym. 2009, 227.)

Käytännön mittauksissa useimmiten mitataan värähtelyn kiihtyvyyttä ja muut suuret lasketaan integroinnin avulla, kiihtyvyyssignaali nopeudeksi ja edelleen siirtymäksi. Integroimalla voidaan myös siirtymästä kiihtyvyyteen. Teoriassa integroinnin ja derivoinnin kautta on täysi yhteys siirtymän, nopeuden- ja kiihtyvyyden välillä. Mikä tahansa näistä suureista tiedetään, kaikki loput voidaan laskea. (Mikkonen ym. 2009, 219.)



KUVA 3. Jousi- massasysteemi, pisteen a siirtymä, nopeus ja kiihtyvyys (ABB TTT-käsikirja 2000–7)

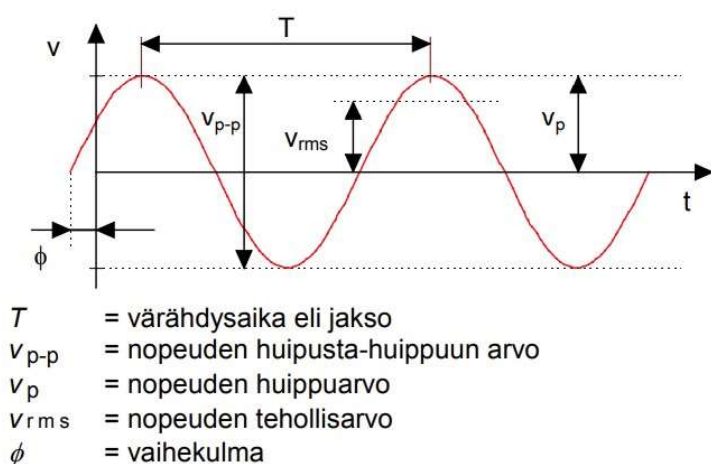
Yllä olevasta kuvasta 3 voidaan tehdä havainto, että kiihtyvyydellä, nopeudella ja siirtymällä on sama aaltomuoto (KUVA 3). Vaihekulma poikkeaa 90 astetta siten, että kiihtyvyys on 90 astetta nopeutta edellä ja nopeus edelleen 90 astetta siirtymää edellä. Yllä olevasta kuvasta voidaan myös nähdä, että jokaisen käyrän amplitudit on piirretty saman korkuisiksi (KUVA 3). On kuitenkin huomioitava, että niiden yksiköt eivät vastaa toisiaan (TAULUKKO 1). (ABB TTT-käsikirja 2000–7.)

TAULUKKO 1. Tärinämittaukseen liittyvät suureet ja yksiköt. (ABB TTT-käsikirja 2000–7)

Mitattava suure	Käytettävä lyhenne	Yksikkö
Siirtymä	s	μm (= 1 / 1000 mm)
Nopeus	v	mm/s
Kiihtyvyys	a	m/s^2 tai $g = 9,81 m/s^2$
Vaihekulma	ϕ	aste (°) tai radiaani ($360^\circ = 2\pi$ rad)

3.2 Värähtelymittaukseen liittyvät parametrit

Jotta mittaustuloksia kykenee tulkitsemaan oikein, on mittaussuureiden lisäksi tunnettava muitakin mittaukseen liittyviä asioita. Alla olevassa kuvassa 4 on esitetty yleisimmät suureisiin liittyvät parametrit nopeussignaalin avulla (KUVA 4). Siirtymälle ja kiihtyvyydelle voidaan käyttää myös samoja parametrejä.



KUVA 4. Värähtelysignaaliin liittyvät yleisimmät parametrit (ABB TTT-käsikirja 2000–7)

Huippuarvo ilmaisee aikatasosignaalin itseisarvoltaan suurimman arvon.

Huipusta- huippuun arvo ilmaisee suurimman ja pienimmän arvon erotuksen ja on yleensä n. kaksinkertainen huippuarvoon verrattuna.

Tehollisarvo kuvaa hyvin tärinän vaarallisuutta. Sillä on yhteys tärinän sisältämään tehoon. Siniaallon tehollisarvo on huippuarvo jaettuna luvulla $\sqrt{2}$ eli 0.707 kertaa huippuarvo. Jos signaalin muoto ei ole sini, ei myöskään suhdeluku ole enää sama.

Vaihekulma ilmaisee jakson kohdan, johon värähtely on edennyt vertailukohdasta.

3.3 Värähtelyn taajuusspektri

Koska mittauspisteeseen tulee useiden eri koneenosien värähtelyä, on hyvin vaikea erottaa yksittäisiä värähtelykomponentteja aikatasosignaalista (KUVA 5). Tästä syystä värähtelyä tutkitaankin tyypillisesti taajuustasossa. Värähtelymittauksissa aikatason käyttö on harvinaista ja analyysit tehdään taajuusspektrien avulla, eli taajuustasossa. Taajuustasossa vaaka-akselina on värähtelytaajuus ja pystyakselina on amplitudi, lisäksi amplitudi esitetään kuvaajassa ainoastaan positiivisella puolella (KUVA 6). Taajuustasoesitys lasketaan yleensä FFT (Fast Fourier Transform) muunnoksen avulla aikatasosignaalista. (Mikkonen ym. 2009, 232.) FFT muunnos on varsin kompleksinen sekä haastava, eikä tässä työssä perehdytä sen teoriaan syvällisemmin.

”Värähtelyn taajuus kertoo, kuinka monta värähdysliikettä sekunnissa tapahtuu.” Jotta voimme määrittää taajuuden aikatasosignaalista, tarvitaan seuraavia yhtälöitä (ABB TTT-käsikirja 2000–7.)

$$f = \frac{1}{T}$$

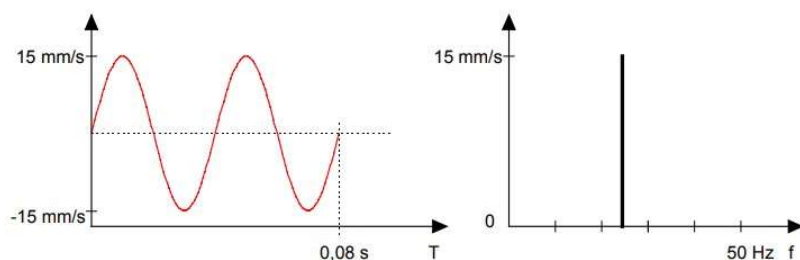
$$f = \frac{n}{t}$$

f = Taajuus Hz (Hertsi) = 1/s

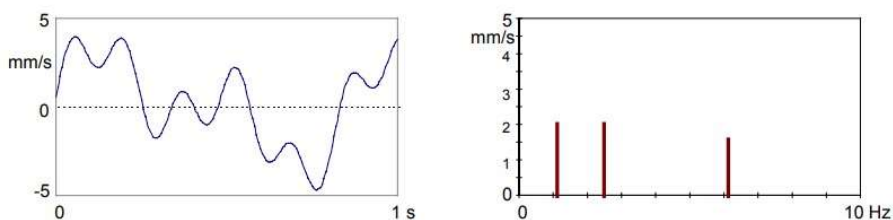
n = Värähdysten lukumäärä

T = Värähdys aika

t = Aika



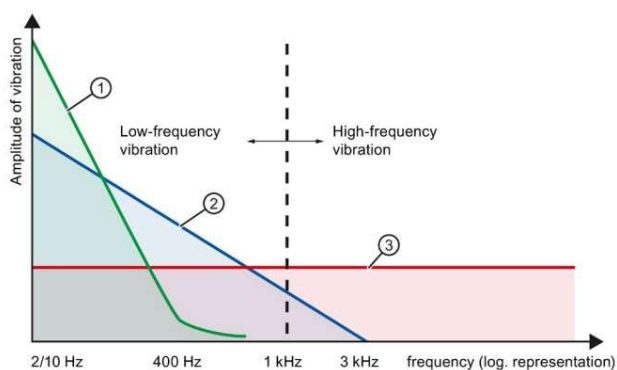
KUVA 5. Yksittäinen siniaalto esitettynä aika- ja taajuustasossa (ABB TTT-käsikirja 2000–7)



KUVA 6. Kolmen siniaallon värähtelysignaali esitettynä aika- ja taajuustasossa (ABB TTT-käsikirja 2000–7)

3.4 Värähtelymittaus suureet taajuustasossa

Alla olevasta kuvasta 7 voidaan tarkastella siirtymän, nopeuden ja kiihtyvyyden amplitudien muutosta taajuuden kasvaessa (KUVA 7). Lisäksi kuvasta voidaan havaita millaisella taajuusalueella nämä kolme värähtelysuuretta voivat antaa merkityksellistä tietoa kunnonvalvontaan, sekä mahdollinen värähtelyn aiheuttaja (KUVA7). (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 20). Tärinän vakaavuutta arvioitaessa nopeutta pidetään yleisesti parhaana mittaussuureena. Kiinnostavista taajuuksista saadaan suurin osa näkymään kohtalaisen hyvin nopeutta tarkastelemalla. Korkeataajuisia värähtelyä aiheuttavat viat voidaan kuitenkin havaita aikaisemmin ja paremmin kiihtyvyyden kuin nopeuden avulla. Matalataajuisen värähtelyä korostaa siirtymää ja soveltuu tähän hyvin (ABB TTT-käsikirja 2000–7.)



Item	Vibration variable	Causes of vibration and measurement limits
①	Vibration displacement (μm)	Shaft vibration 1 Hz to 0.4 kHz
②	Vibration velocity (mm/s)	Enclosure vibration 2 Hz / 10 Hz to 1 kHz
③	Vibration acceleration (m/s^2)	Gearbox, structure-borne noise 2 Hz / 10 Hz to 20 kHz

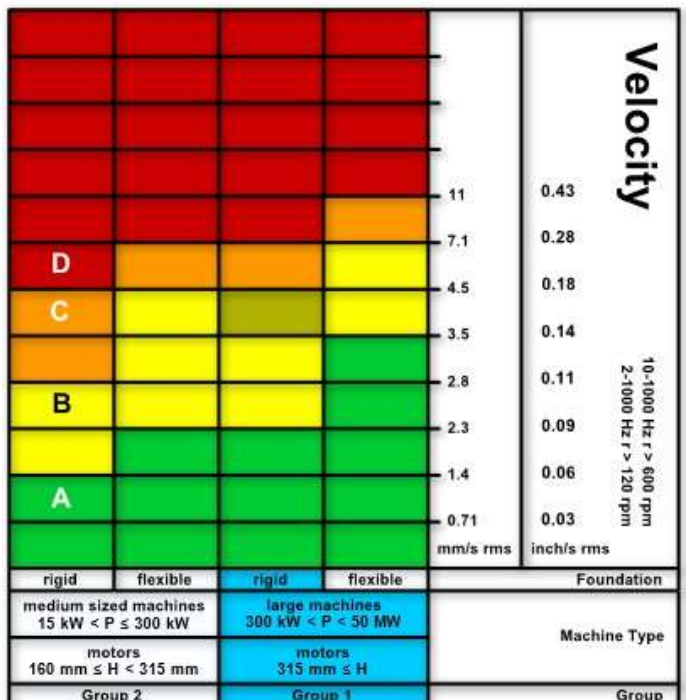
KUVA 7. Siirtymän, nopeuden ja kiihtyvyydenvärähtelyn merkitykselliset taajuusalueet (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 20)

Kunnonvalvonnassa käytetään siirtymän, nopeuden ja kiihtyvyyden lisäksi myös muita menetelmiä värähtelyn mittaukseen. Lasermittaus on periaatteessa siirtymän tai nopeuden mittausta. Lasermittauksella saavutetaan muita mittaustapoja laajempi taajuusalue. Värähtelyä voidaan mitata myös äänen, ultraäänen, akustisen emission, SPM-mittauksen avulla. Nämä mittausmenetelmät luokitellaan korkeataajuisiin. Korkeataajuisissa värähtelymittauksissa tyypillinen taajuusalue on 20kHz—1GHz. Äänen ja ultraäänen mittauksessa värähtelevät koneen osat lähettävät ilmanpaineen muutosta. Muut menetelmät perustuvat koneen rakenteita pitkin kulkeviin värähtelyihin. Mittaustapa ja anturityyppi vaikuttavat siihen millainen taajuusalue on mahdollista saavuttaa. Nopeuden ja kiihtyvyyden värähtelymittaukseen käytetään yleensä kiihtyvyyssantureita. (ABB TTT-käsikirja 2000–7 ; Mikkonen ym. 2009, 247.)

4 VÄRÄHTELYMITTAUSTEN ANALYSOINTI

Koneen kuntoa mittaavien suureiden analysoinnin yleisimmät menetelmät ovat valittujen tunnuslukujen kehittymisen eli trendin seuranta sekä taajuus eli spektrianalyysi. Näillä menetelmillä ei kuitenkaan saada usein riittävän luotettavaa ja varhaista indikaatiota kehittyvistä laakerivaurioista. Alkavat laakerivauriot ovat värähtelyvoimakkuudeltaan yleensä niin heikkoja, että ne peittyvät muiden vallitsevien värähtelyjen alle. Verhokäyräanalyysin avulla voidaan havaita alkavat laakerivauriot riittävän aikaisessa vaiheessa (KUVA 9). (ABB TTT-käsikirja 2000–7.)

Värähtelytasojen hälytysrajoina ja lähtökohtana voidaan pitää eri standardeista löytyviä ohjearvoja. Kansainvälisistä standardeista EN 60034-14, ISO 20816-1, ISO 10816-3 ja esim. kotimaisesta PSK 5704 löytyy mekaaniselle värähtelylle yleiset ohjeistukset sekä värähtelytasot ja äänitasot (TAULUKKO 2). (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 24 ; ABB TTT-käsikirja 2000–7). On kuitenkin muistettava, että laitteiden ja koneiden värähtelytasot ovat yksilöllisiä ja on tärkeämpää seurata värähtelytasojen muutosta kuin yksittäisiä absoluuttisia arvoja. (ABB TTT-käsikirja 2000–7.)



A New machine condition
B Unlimited long-term operation allowable
C Short-term operation allowable
D Vibration causes damage

© Mobius 2018 www.mobiusinstitute.com

UNIT

TAULUKKO 2. ISO 10816 Standardin mukainen nopeuden värähtelytasetaulukko. (Mobius institute)

Fault type	Vibration measurement in the time range (characteristic value procedure)	Frequency analysis spectrum		
		Vibration velocity	Vibration acceleration	Envelope curve
Unbalance	RMS	Single rotation frequency f_n	-	-
Misalignment, coupling defect	RMS	Single rotation frequency f_n Double rotation frequency f_n	-	-
Mounting defect	RMS	Single rotation frequency f_n Double rotation frequency f_n Triple rotation frequency f_n	-	-
Blade passing frequency	RMS	$f_{sp} \leq 1 \text{ kHz}$	$f_{sp} > 1 \text{ kHz}$	-
Meshing defect	-	$f_z \leq 1 \text{ kHz}$	$f_z > 1 \text{ kHz}$	-
Belt defect	RMS	$f_R \leq 1 \text{ kHz}$	$f_R > 1 \text{ kHz}$	-
Resonance	RMS	Resonance frequency = rotation frequency f_n	-	-
Bearing wear	DKW	-	$3 \text{ kHz} \leq f_{LE} \leq 10 \text{ kHz}$	
Bearing damage frequency	DKW	-	-	Geometry-dependent for: Outer ring, inner ring, cage and rolling element
Electrical stator faults	RMS	Double line frequency f_{line}	-	-
Electrical rotor faults	RMS	$f_{bar} \leq 1 \text{ kHz}$	$f_{bar} > 1 \text{ kHz}$	-
Rotor bar break	RMS	Double line frequency f_{line} Modulation with slip frequency f_{slip}	--	-

TAULUKKO 3. Yleisimmät viat, jotka havaitaan diagnostiikan avulla (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 22)

4.1 Trendiseuranta

Trendiseurannassa tarkkaillaan tavallisimmin suureen tehollis- tai huippuarvoa värinäkihihtyvyydelle, nopeudelle tai siirtymälle. Tavallisimmin käytetään nopeuden tehollisarvoa v_{RMS} taajuusalueella 10...1kHz. Tehollis- ja huippuarvon mittauksista käytetään nimitystä kokonaistason mittaus standardin PSK 5701 mukaan. (ABB TTT-käsikirja 2000–7). Näiden suureiden ominaisarvojen avulla voidaan arvioida koneen yleinen värinätila. Nämä trendit osoittavat, onko laitteen tila pahentumassa, eli onko kyseessä alkava vaurio. (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 21)

Alla olevasta kuvan 10 trendistä voi hyvin havaita alkavan vian merkit jo kauan ennen rikkoontumista, kuvaaja kertoo värähtelyn eli värinän kasvamisen (TAULUKKO 3). (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 25)

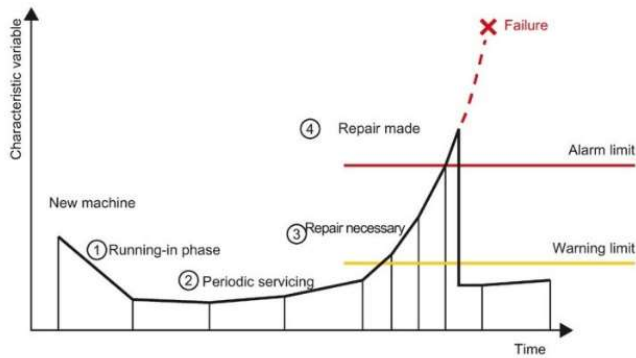


Figure 3-1 Characteristic value trend

①	The characteristic values are initially somewhat higher during the start-up phase of a new machine. The characteristics variables then decline to the values that represent the fault-free condition of the machine.
②	The maintenance strategy may be periodic servicing, for example. By regular condition monitoring, developing damage can be detected as it occurs.
③	The characteristic value has exceeded a warning limit. Repair is necessary. However, the machine can still be used. Further measurements show a steep increase in the characteristic values. It is possible to extrapolate from the trend when major damage resulting in failure would occur.
④	The defined alarm limit is exceeded. The machine is now repaired. Measurements of the characteristic values again indicate the fault-free condition of the machine.

KUVA 8. Tyypillinen mittauksella tai laskennalla saatu trendikäyrä ominaisarvoista (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 25)

Signaalin tehollisarvo eli RMS arvo voidaan laskea mistä signaalista tahansa, mutta yleisimmin käytetään värähtelyn nopeutta, tällöin siitä käytetään nimitystä värähtelyä (PSK 5701). Nopeuden tehollisarvo eli v_{RMS} kuvaa hyvin värähtelevän koneen yleiskuntoa. Yleistärinän valvonnan lisäksi käytössä on myös kiihtyvyyden tehollisarvo a_{RMS} , jonka avulla voidaan korkeataajuisista jopa 23kHz värähtelyä havaita nopeutta paremmin. a_{RMS} soveltuu hyvin laakereiden ja esimerkiksi vaihteistojen mittaamiseen. Tehollisarvon matemaattinen laskenta suoritetaan alla olevalla kaavalla (Mikkonen ym. 2009, 209–210 ; SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 26.)

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) d\tau}, \quad a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) d\tau},$$

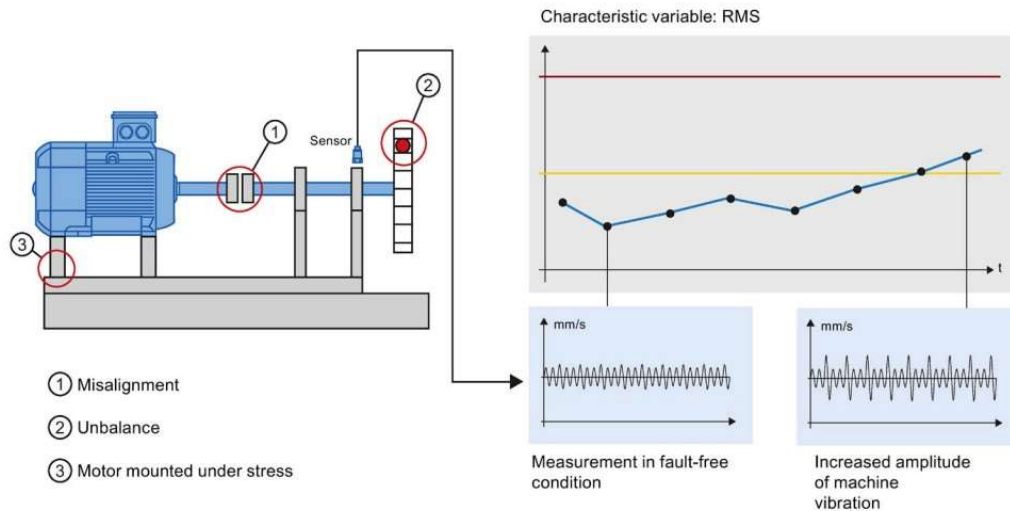
T = värähtelyn jaksonaika

t = aika

v = nopeus

a = kiihtyvyys

Koneen värähtely johtuu usein akselin linjaus virheestä, epätasapainosta, moottorin asennuspedistä tai muista asennuksesta johtuvista seikoista. Alla olevassa kuvassa on esitetty sovellus esimerkki, miten kunnossa olevan laitteen värähtelytasot eroavat vikaantuneesta ja kuinka RMS-arvo kasvaa trendissä laitteen vikaantuttua (KUVA 9). (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 27)



KUVA 9. Esimerkkitapaus RMS (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 27)

Siemens kunnonvalvontajärjestelmä SM1281-hyödyntää vRMS ja aRMS mittausten lisäksi diagnostista ominaisarvoa DKW, joka mahdollistaa laakereiden kokonaistilan laadullisen diagnoosin. DKW antaa korkean korrelaation laakereiden tilasta ja on siksi erittäin tärkeä kunnonvalvonnan kannalta. DKW ei kykene kuitenkaan määrittämään vahingon syytä tarkasti ja tähän käytetään muita analyysimenetelmiä kuten verhoikäanalyysiä. DKW-arvo saadaan, kun värähtelykiihtyvyyden aRMS ja huippuarvojen alkutilannetta verrataan nykytilanteeseen. DKW:n matemaattinen laskenta suoritetaan alla olevalla kaavalla. (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 27)

$$DKW(t) = \frac{aMAX(t) \cdot aRMS(t)}{aMAX(0) \cdot aRMS(0)}$$

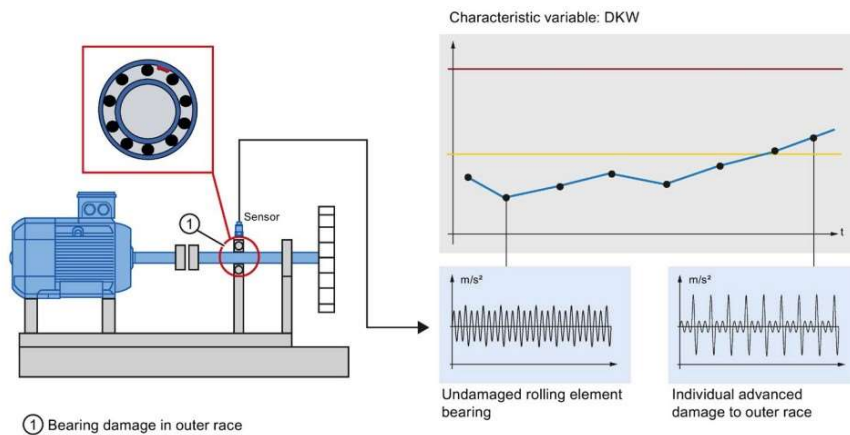
aMAX(t) = Kiihtyvyyden nykyinen huippuarvo

aRMS(t) = Kiihtyvyyden nykyinen tehollishuippuarvo

aMAX(0) = Kiihtyvyyden alkuhuippuarvo

aRMS(0) = Kiihtyvyyden tehollisalkuarvo

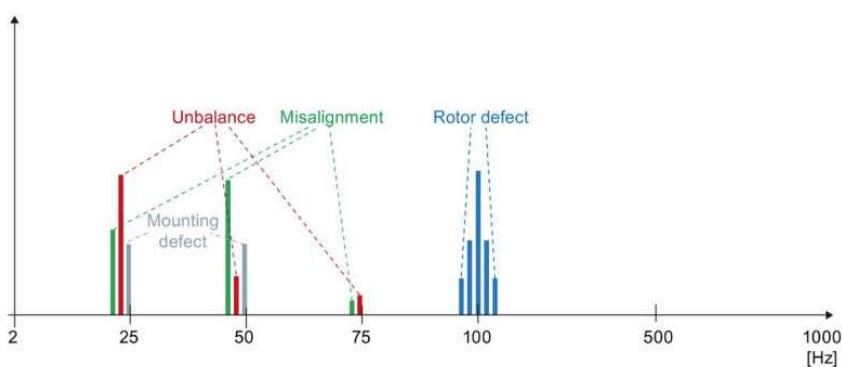
Alla olevassa kuvassa 10 on DKW sovellus esimerkki, miten laakerin ulkokehävaurio näkyy RMS-arvon nousuna verrattuna ehjään laakeriin (KUVA 10). Lisäksi DKW-arvo kasvaa trendissä.



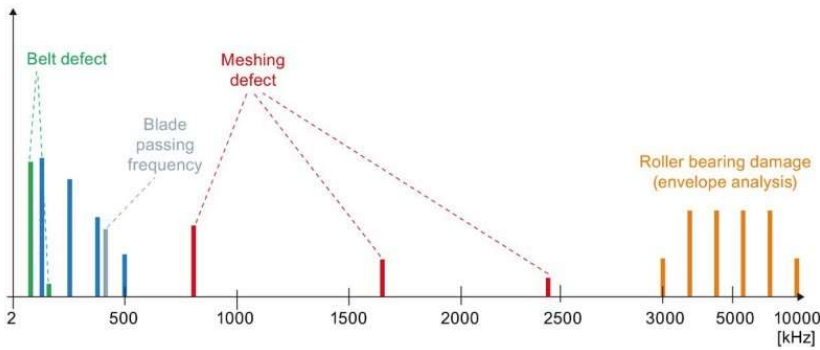
KUVA 10. Esimerkkitapaus DKW (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 29)

4.2 Spektrianalyysi

Spektrianalyysi on eniten käytetty vianmääritys menetelmä. Spektrianalyysiä käytetään värähtelyn yksityiskohtaisempaan tutkimiseen, kun trendiseurannalla saavutettu kokonaistason mittaus ei ole riittävä vaurioiden syiden selvittämiseen tai paikallistamiseen. (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 30). Vaikka laite olisi hyväkuntoinen, siinä esiintyy pyörimistäajuinen värähtelykomponentti. Tämä pyörimistäajuudella esiintyvä värähtely voi johtua esim. valmistusepä tarkkuuksista tai normaalista toiminnasta. Taajuusspektrissä laitteen vikaantumisen näkyy vikatyypistä riippuen eri taajuuksilla esiintyvänä spektrikomponenttien voimistumisina (KUVA 11). (ABB TTT-käsikirja 2000–7.)



KUVA 11. Värähtelynopeuden spektri 2 Hz - 1 kHz, sekä vikoja niiden ominaistaajuuksilla. (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 31)



KUVA 12. Värähtelykiihtyvyyden spektri 2 Hz – 10 kHz, sekä vikoja niiden ominaistajuuksilla. (SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 33)

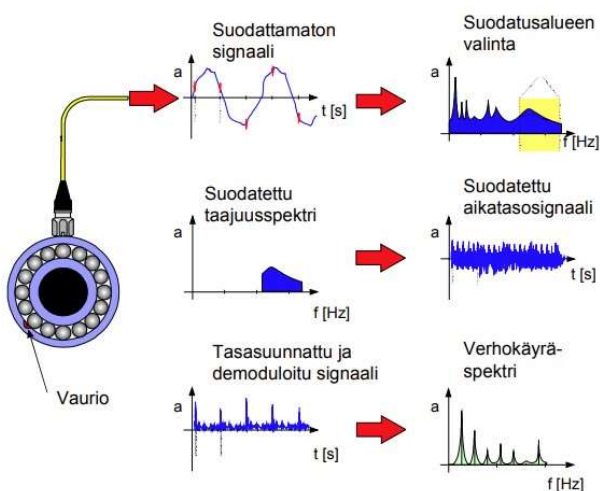
Joidenkin vikojen kohdalla pyörimistaajuudella esiintyvä komponentti ei vikaantumisen edetessä voimistu ja muutos ei näy juurikaan tehollisarvossa. Spektrin avulla voidaan vika havaita selvästi aiemmin kuin tehollisarvosta. Matalatkin spektrihuiput ovat joillain taajuuksilla melko vaarallisia. Tästä syystä on spektrien tarkastelu tehtävä hyvin huolellisesti, ettei mitään olennaista jäisi huomaamatta (KUVA 12). Tähän voidaan käyttää apuna kaista tai spektri valvontaa. Kaistavalvonnassa asetetaan rajat tietyille taajuuskaistoille. Spektri valvonnassa hälytysraja asetetaan mitatun spektrin ympärille. Mikä tahansa taajuus ylittää spektrikomponentille asetetut rajat, laukeaa hälytys. Monet viat voidaan havaita spektrissä käyntinopeudella tai sen kerrannaisilla, tästä syystä voi tarkempi vian selvittäminen edellyttää vaihe kulman mittaamista. Vaihekulmaa käytetään erityisesti linjausvirheen, epätasapainon ja resonanssin erottamiseen toisistaan. (ABB TTT-käsikirja 2000–7 ; Mikkonen ym. 2009, 285.)

4.3 Verhokäyräanalyysi

Verhokäyräanalyysin avulla voidaan havaita alkavat laakeriviat trendiseurantaa ja spektrianalyysia aikaisemmin. Verhokäyräanalyysin avulla saadaan tietoa laakereiden ulko- ja sisäkehän, sekä laakeri häkin ja pyörivien elementtien kunnosta. Verhokäyräanalyysin etuna tavalliseen nopeus- ja kiihtyvyyssignaalista tapahtuvaan taajuusanalyysiin on mahdollisuus suodattaa signaalista pois esimerkiksi linjauksesta tai epätasapainosta johtuvat tärinät. Näillä tärinöillä on yleensä tapa peittää allensa alkavat laakeriviat. (ABB TTT-käsikirja 2000–7 ; Mikkonen ym. 2009, 286.)

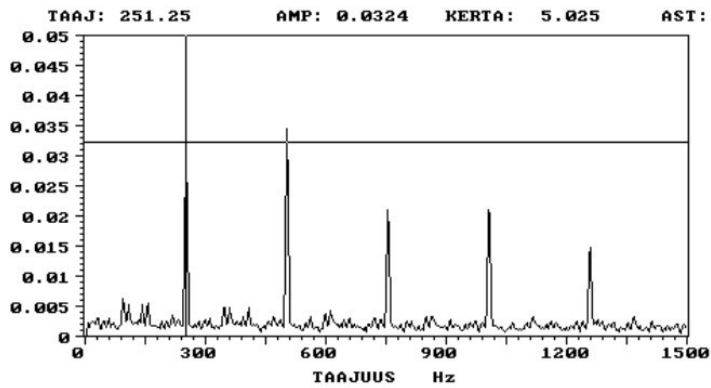
Verhokäyräanalyysi pohjautuu amplitudimodulaatioon. Tässä menetelmässä signaali kerrotaan toisella signaalilla, jota kutsutaan kantaalloksi. Kun kaksi signaalia sumautuu, syntyy uusia taajuuskomponentteja. Nämä sivunauhat muodostuvat kantaallon taajuuden molemmille puolille. Näiden amplitudimoduloituneiden signaalien avulla voidaan havaita laakeri- ja hammasvauriot usein varsin aikaisessa vaiheessa. Kun amplitudimoduloituneita signaaleja erotetaan kantaallosta, kutsutaan sitä demodulaatioksi. Amplitudi- demodulaatio on silloin merkityksellinen, kun analysoidaan sellaisia signaaleja, jotka sisältävät jaksollisia suuritaajuisia sarjoja iskuimpulsseja. Vikadiagnostiikan kannalta mielenkiintoisin tieto on nimenomaan impulssien toistumistaajuudella, eikä impulssien taajuussisältö ole niin olennainen. Taajuussisältö koostuu yleensä kaikista heränneistä resonanssitaajuuksista. (ABB TTT-käsikirja 2000–7 ; SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 35.)

Alla olevassa kuvassa 15 on käyty läpi verhokäyrätekniiikan perusajatus (KUVA 13). Laakerin ulkokehällä oleva vaurio saa aikaan iskumaisia lyhyitä impulsseja, jotka toistuvat ajan T välein. Nämä impulssit kykenevät heikkoinakin herättämään laakerin ominaistajuuudet. Tämän voi havaita tavallisessa taajuusspektrissä laajakaistaisena resonanssikohtana suuremmilla taajuuksilla. Laakerivaurion synnyttämät impulssit mitataan asettamalla kaistanpäästösuodatin resonanssikohtaan ympärille. Suodattimen tarkoitus on vahvistaa vaurion aiheuttamia impulsseja. Jotta pystymme erottamaan impulssien toistumis- eli vikataajuuudet kantaallosta, signaali täytyy tasasuunnata sekä demoduloida. Näin saavutetaan signaali, joka sisältää vain vaurion aiheuttamat impulssit. Kun tälle signaalille suoritetaan lopuksi FFT-analyysi, niin saamme laakerin vikataajuuskomponentit selvästi näkymään verhokäyräspektrissä. (ABB TTT-käsikirja 2000–7 ; SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 35.)

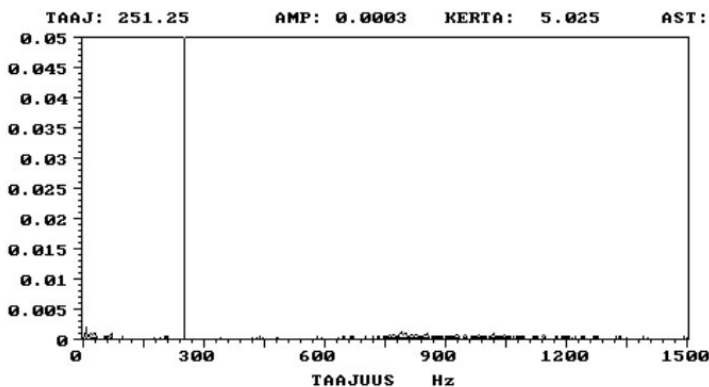


KUVA 13. Verhokäyräanalyysin perusajatus. (ABB TTT-käsikirja 2000–7.)

Jos verhokäyräspektrissä nähdään piikkejä, kertoo se viallisesta laakerista, ulkokehävaurion taajuus kerrannaisineen näkyy silloin selvästi (KUVA 14). Mikäli laakeri on ehjä, verhokäyräspektri on tasainen, eikä siinä ole havaittavissa vikataajuuskomponentteja (KUVA 15). Verhokäyräanalyysi on tehokas keino vikojen ilmaisussa, vierintälaakereiden lisäksi se sopii kaikille jaksollisia impulsseja synnyttävälle vikamekanismeille. (ABB TTT-käsikirja 2000–7.)



KUVA 14. Viallinen laakeri. (ABB TTT-käsikirja 2000–7)



KUVA 15. Ehjä laakeri. (ABB TTT-käsikirja 2000–7)

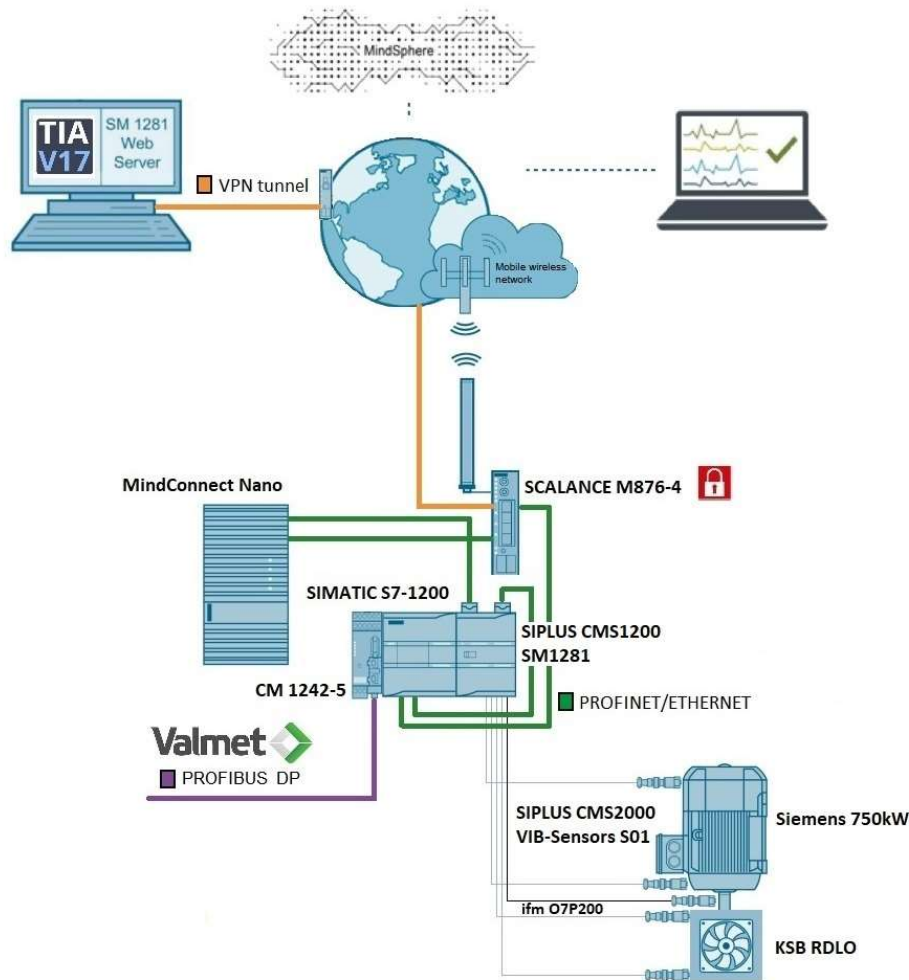
5 PROJEKTIN KUNNONVALVONTALAITTEET

Tässä projektissa asiakkaalle toimitettiin kaksi eri kunnonvalvontajärjestelmää, nämä laitekoko-
naisuudet sijaitsivat samalla teollisuus alueella mutta ovat fyysisesti eri tiloissa. Asiakkaan tilaan 1. asennet-
tiin Siemens SM1281-värähtelyantureihin perustuva kunnonvalvontajärjestelmä (KUVA 16). Tilassa
2. otettiin käyttöön Siemens SC400-kunnonvalvontamoduuliin pohjautuva SIDRIVE IQ Fleet järjes-
telmä (KUVA 18). Seuraavissa luvuissa käydään läpi projektilaitteistot yleisesti, sekä esitellään tässä
työssä rakennetut laite ja palvelukokonaisuudet.

5.1 Tila 1. Siemens CMS sm1281-järjestelmä

Asiakkaalle toimitettu järjestelmän runko koostui S7-1200 PLC logiikasta, joka oli tyypiltään CPU
1215C DC/DC/DC sekä siihen liitetyistä lisämoduuleista. S7-1200 logiikka laajennettiin kunnonval-
vontamoduulilla SM1281 ja siihen kytkettiin 4 kpl Siemens SIPLUS CMS2000 VIB värähtelyanturia
taajuusvasteeltaan 0.5Hz – 15kHz. Laitteiston kaksi värähtelyanturia liitettiin pystyyn asennettuun
Siemensin 8 napaisen 750kW moottorin DE ja NE laakereille. Sekä toiset kaksi anturia KSB:n RDLO
merivesi pumpun DE ja NE laakereille. Lisäksi SM1281-moduuliin kytkettiin Ifm O7P200-optinen
anturi mittaamaan kierrosnopeutta moottorin akselilta. Kierrosnopeuden mittausta toteutettiin optisen
anturin avulla koska moottorin kierrosnopeutta säätävässä taajuusmuuttajassa ei ollut vapaita IO paik-
koja. SM1281-moduuli pitää lisäksi sisällään PLL-algoritmin, jonka avulla voidaan kierrosnopeus saa-
da ilman erillisiä antureita.

Järjestelmään asennettiin Profibus DP slave CM 1242-5-tiedonsiirtomoduuli, jonka avulla laitekoko-
naisuus liitettiin asiakkaan Profibus väylään, tämän kautta siirretään tärkeimpiä mittaustietoja asiak-
kaalla käytössä olevaan Valmet DNA automaatiojärjestelmään. Kunnonvalvontalaitteille rakennettiin
itsenäinen internet-yhteys Siemens Scalance m876-4, 4G-mobiili verkkoreitittimen avulla. Siemens
SINEMA Remote Connect VPN-tunnel mahdollisti etäyhteyden logiikalle sekä SM1281-moduulille.
MindConnect Nanon avulla kunnonvalvontalaitteiston data siirrettiin Siemens MindSphere IoT-
pilvipalveluun.



KUVA 16. Tila_1 Järjestelmäkuva (Markus Korvela)

5.1.1 Siemens S7-1200 PLC

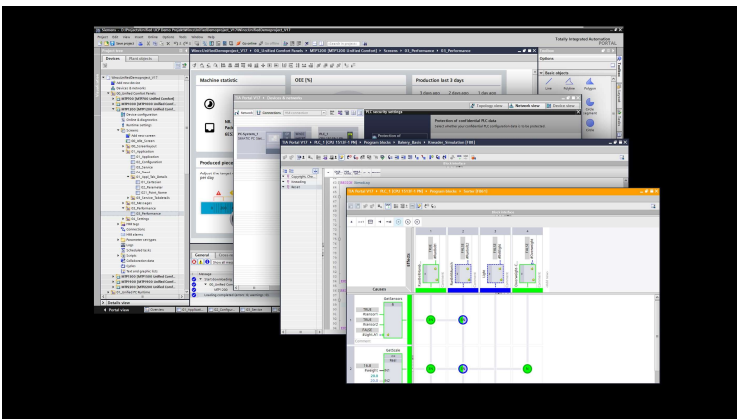
Modulaarinen S7-1200 PLC on kompakti runko monipuolisten automaatio sovellusten tarpeisiin. S7-1200 PLC-mallit on varustettu Profinet-tiedonsiirtoliitännällä sekä integroiduilla IO-liitännöillä. IO-liitännöiden määrä vaihtelee logiikan mallisarjasta riippuen ja IO-paikkoja voidaan kasvattaa erillisten moduulien avulla. S7-1200 PLC on laajennettavissa erikoismoduulien avulla esimerkiksi kunnonvalvontaan, integroituun punnitukseen ja tulossignaalin simulointiin. Tämän lisäksi tiedonsiirtokykyä voidaan laajentaa viestintämoduulien avulla, jotka tukevat Profibus-, IO-Link, AS-interface ja useita mobiilistandardeja. S7-1200 on mallista riippuen laajennettavissa enintään 8kpl ulkoisella signaalimoduulilla. Laitteet ovat myös saatavilla integroiduilla turvatoiminnoilla. Fail-Safe toiminnalla varustetut laitteet ovat yhteensopivia Siemens SINAMICS taajuusmuuttajien ja servo-ohjaimien kanssa hyödyntäen PROFIsafe-protokollaa. S7-1200 logiikka ohjelmoidaan Siemens Step 7 TIA-Portal ohjelmiston avulla. (S7-1200 PLC)

5.1.2 Siemens SM1281

Siemens SM1281-kunnonvalvontajärjestelmä koostuu ohjelmoitavasta Siemens S7-1200 PLC-logiikasta sekä siihen liitettävästä SM1281-kunnonvalvontamoduulista, näitä moduuleja voidaan kytkeä jopa 7 yhteen logiikkaan. Yhteen moduuliin voidaan kytkeä 1–4 värähtelyanturia ja yksi nopeusanturi. Näin samaan järjestelmään voidaan saada jopa 28 mittauspistettä. SM1281- moduuli pitää sisällään myös web-serverin, jonka avulla voidaan värähtelyantureiden dataa tarkastella reaaliajassa. Web-serverin avulla voidaan määrittellä moduulin asetuksia kuten värähtelytasojen varoitus- ja hälytys rajoja. (SIPLUS CMS)

5.1.3 Siemens Step 7 TIA Portal

TIA-Portal ohjelmisto on Siemens yhtiön kehittämä automaatio projektien suunnittelu sekä ohjelmointityökalu. Siemens on yhdistänyt heidän perinteiset ohjelmistonsa yhden TIA-Portal sovelluksen alle ja tämä mahdollistaa lähes kaiken automaatioprojektihallintaan liittyvien tehtävien hoitamisen yhden ohjelmiston avulla. TIA-Portal pitää sisällään WinCC-käyttöliittymä ja visualisointi työkalun, STEP 7 logiikka- ja I/O ohjelmointi työkalun, SCOUT liikkeen ohjaus työkalun sekä Startdrive-taajuusmuuttajien ohjelmointi työkalun (KUVA 17). Ohjelmistossa on lisäksi integroidut turvallisuus ja turva toiminnot, diagnostiikka sekä energiatehokkuuden hallintaan tarvittavat ominaisuudet. (TIA Portal)



KUVA 17. TIA-Portal. (TIA Portal)

5.1.4 Siemens MindConnect Nano

MindConnect Nano on esi- konfiguroitu IoT-laite, joka sallii yhteyden MindSphere palveluun. MindConnect Nano toimii reunalaitteena, joka kerää tietoa teollisuuslaitteista ja antureista. Se mahdollistaa

salatun ja turvallisen datasiirron edelleen MindSphere palveluun. MindConnect Nano on suunniteltu kompaktiksi, joten se voidaan helposti yhdistää osaksi automaatiojärjestelmää. Siemens MindConnect Nano on ratkaisu, jonka avulla teollisuuslaitokset voivat hyödyntää IoT-teknologiaa ja näin parantaa laitteidensa tehokkuutta ja toiminta varmuutta. (Overview of MindConnect Nano)

5.1.5 Siemens Scalance m876-4

Siemens Scalance m876-4, 4G-mobiili verkkoreititin on erityisesti suunniteltu tuotanto ja prosessiautomaatiosovelluksiin. Laitteessa on 4-kytkin porttia ja 2-SMA antennipaikkaa 4G-yhteyden luomiseen. Konfigurointi voidaan suorittaa web-pohjaisesti tai komentorivityökalun avulla. Laite tarjoaa turvallisen SINEMA Remote Connect etäyhteys mahdollisuuden VPN-tunnelin avulla. (SCALANCE M876)

5.1.6 Siemens CM 1242-5 Profibus

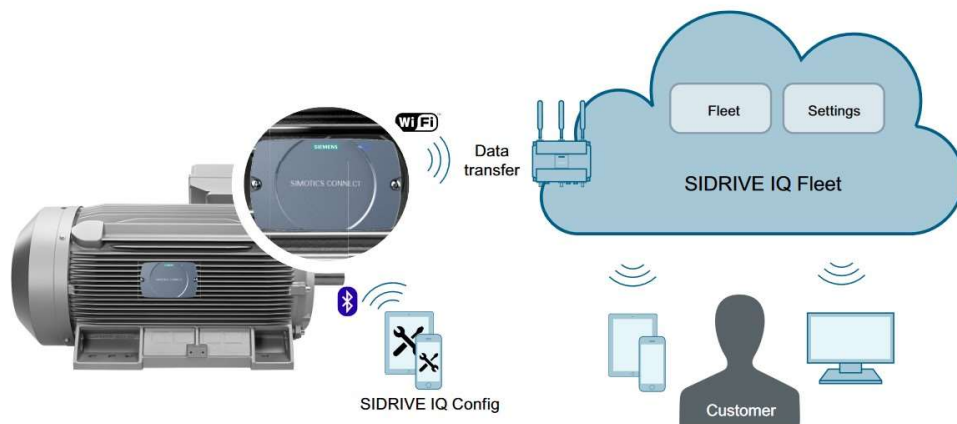
Siemens CM 1242-5 Profibus slave liitäntämoduuli on suunniteltu käytettävän S7-1200-logiikkaperheen kanssa. Moduulin avulla on mahdollista liittää eri laitteita, kuten antureita, ohjaimia sekä moottoreita Profibus-verkkoon. Laitteessa on tuki useille eri Profibus-protokolla tyypeille ja mahdollisuus käyttää jopa 125-laitetta samassa verkkoympäristössä. Moduulin avulla laitteiden ohjaus ja valvonta on tehokasta ja turvallista, näin laitteiden toimintavarmuus paranee. (S7-1200 PROFIBUS)

5.2 Tila 2. Siemens SIDRIVE IQ Fleet järjestelmä

Asiakkaan tilassa 2. otettiin käyttöön SIDRIVE IQ Fleet, joka on IoT-pohjainen matalajännitemoottoreiden kunnonvalvontajärjestelmä, tämä järjestelmä koostuu SIMOTICS CONNECT 400-kunnonvalvontamoduulista sekä MindSphere pilvipalvelussa olevasta SIDRIVE IQ Fleet applikaatiosta. SC400-moduulia voidaan käyttää vain yhdessä SIDRIVE IQ Fleet applikaation kanssa, näin ollen tämä järjestelmä on täysin pilvipalvelu pohjainen. SC400-kunnonvalvontamoduulin avulla saatava data siirretään internet-yhteyden kautta MindSphere pilvipohjaiseen IoT-alustaan, jossa moottorin käynti ja kunnonvalvonta tietoja voidaan tarkastella SIDRIVE IQ Fleet applikaation avulla.

SC400-moduuli linkitetään MindSphere palveluun SIDRIVE IQ Config älypuhelin sovelluksen avulla. SC400-moduuli on täysin langaton ja se tarvitsee toimiakseen WLAN-verkon. SC400-moduuli kiinnitetään moottorin kuoreen liimattavaan kannattimeen ja se tulee joihinkin Siemens moottoreista tehdas-

asennettuna. Tilaan 2. rakennettiin itsenäinen internetyhteys Siemens Scalance m876-4, 4G-mobiili verkkoreitittimen avulla ja SC400-moduuli yhdistettiin internetiin Siemens Scalance w700 WLAN-tukiaseman avulla.



KUVA 18. SIDRIVE IQ Fleet toimintaperiaate (SIMOTICS CONNECT 400 Operating Instructions)

5.2.1 Siemens SC400-moduuli

SC400-kunnonvalvontayksikkö pitää sisällään integroidut mittaussensorit, datamuistin, WLAN- sekä Bluetooth tietoliikennemuodulit, litiumakun sekä suoritinprosessorin. SC400-yksikön mittausdata lähetetään WPA2-standardin suojauksella WLAN-tukiasemaan ja sieltä internetyhteyden avulla MindSphere pilvipalveluun TLS-salauksella. (SIMOTICS CONNECT 400 Operating Instructions)

5.2.2 Siemens Scalance m876-4

Siemens Scalance m876-4, 4G-mobiili verkkoreititin on erityisesti suunniteltu tuotanto ja prosessiautomaatiosovelluksiin. Laitteessa on 4 kytkinporttia ja 2 SMA-antenni paikkaa 4G-yhteyden luomiseen. Konfigurointi voidaan suorittaa web pohjaisesti tai komentorivityökalun avulla. Laite tarjoaa turvallisen SINEMA Remote Connect etäyhteyden VPN-tunnelin avulla. (SCALANCE M876)

5.2.3 Siemens Scalance w700

Siemens Scalance w700 on langaton teollisuusreititin, joka on erityisesti suunniteltu tuotanto ja prosessiautomaatio sovelluksiin. Se tarjoaa luotettavan ja turvallisen mahdollisuuden yhdistää teollisuuslaitteita ja järjestelmiä langattomasti. Laitteessa on WPA2-tiedonsiirtosalus sekä tuki eri protokollille, kuten IEEE 802.11ac, IEEE 802.11n ja IEEE802.11a/b/g. Siemens Scalance w700 avulla voidaan luoda erilaisia verkkotopologioita, kuten tukiasemaverkkoja, reititinyhteyksiä ja verkkosilloja. Laite soveltuu lukuisiin eri käyttötarkoituksiin. (SCALANCE W-700)

5.3 Käsimittauslaitteisto

Käsimittauksissa käytettiin Pruftechnik VIBXPERT 2-mittalaitetta (KUVA 19). Laite on kannettava ja helposti liikuteltavista kohteesta toiseen. Mittaus tapahtuu magneettikiinnitteisten kiihtyvyyssantureiden avulla. Tässä opinnäytetyössä saatua mittausdataa vertailtiin Pruftechnik VIBXPERT 2-laitteeseen. Pruftechnik VIBXPERT 2 on suunniteltu erityisesti teollisuudenkoneiden ja laitteiden vianetsintään sekä kunnonvalvontaan. Se pitää sisällään lukuisia erilaisia mittaus- ja analyysitoimintoja, jotka mahdollistavat erilaisten koneongelmien, kuten laakerivaurioiden ja epätasapainon tunnistamisen. Laite on nopea sekä tehokas ja tarjoaa käyttäjällystävällisen graafisen käyttöpaneelin. Lisäksi laitteessa on pitkäkestoinen akku, sekä ergonominen muotoilu. Mittalaite mahdollistaa mittausdatan lähettämisen langattomasti tai USB-portin kautta jatkotallennusta ja analysointia varten. (Pruftechnik)



KUVA 19. Pruftechnik VIBXPERT 2 mittalaite (Pruftechnik)

6 LAITTEIDEN ASENNUS JA OHJELMOINTI

Projektissa tutkittiin kahden eri laitteiston toimintaa ja niiden välisiä eroja, sekä vertailtiin mittausdataa käsimittauslaitteen tuloksiin. Tässä luvussa käydään läpi tutkittujen Tila_1 ja Tila_2 laitteiden käyttöönottoprosessia yleisesti, sekä tärkeimpiin kohtiin syventyen.

6.1 Tila_1 laitteiden käyttöönotto

Tilaan 1 asennettiin SM1281-kunnonvalvontajärjestelmä (KUVA 20). Tämä järjestelmä suorittaa jatkuvatoimista laakereiden kunnonvalvontaa Siemens 700kW-moottorille sekä KSB:n RDLO-pumpulle. Tila_1 laitteiston tehtävä on pumpata merestä jäähdytysvettä suurteollisuusalueen tehtaiden käyttöön. Tehtävä on kriittinen ja laitteiston arvo merkittävä. Tästä syystä laitteille haluttiin jatkuvatoiminen kunnonvalvonta. Käyttöönotossa vaadittiin mekaanista asennusta, kaapelointia sekä ohjelmointia. Rakentaminen aloitettiin Jukkola Systemsin tiloissa liittämällä S7-1200-logiikkaan tarvittavat SM1281-kunnonvalvonta ja CM 1242-5 Profibus lisämoduulit sekä 24V-Siemens virtalähde. Tämä kokonaisuus asennettiin laitteille hankittuun ip67 suojauksen omaavaan koteloon. Laiteille suoritettiin tarvittavat kaapeloinnit kuten tarvittava jännitesyöttö, Ethernet liitännät, sekä värähtelyantureiden kaapelit SM1281-moduuliin. Nämä toimenpiteet suoritettiin toimeksiantajan tiloissa, jotta pystyimme todentamaan laitteiston haluttu toiminta, ennen kuin kokonaisuus siirrettiin asiakkaan tuotanto Tila_1:seen.

TIA Portal ohjelmiston avulla S7-1200-logiikalle luotiin projekti SM1281-kirjastoa käyttämällä, näin voitiin parametroida SM1281-moduulin neljä mittauskanavaa, sekä määritellä laitteiston yleisiä asetuksia. Kun ohjelmisto saatiin rakennettua ja antureiden toiminta varmistettua, liitettiin MindConnect Nano Ethernet kaapelin avulla SM1281:seen. Internet-yhteyden kautta suoritettiin linkitys MindSphere palveluun. Kun SM1281-värähtelyantureiden mittausdata saatiin onnistuneesti siirtymään MindSphere ympäristöön, laitekokonaisuuteen lisättiin 4G-verkkoreititin. Tämä mahdollisti itsenäisen internet-yhteyden mittauskohteessa sekä etäyhteyden luomisen VPN-tunnelin avulla S7-1200 logiikalle. Tässä vaiheessa laitteisto oli valmis siirrettäväksi Tila_1:seen, jossa tehtiin lopulliset parametroidit, sekä asennettiin anturit virallisiin mittapisteisiin. Lopuksi laitteisto liitettiin asiakkaan Profibus väylään, jotta tärkeimmät hälytystiedot voitiin siirtää Valmet dna automaatiojärjestelmään.

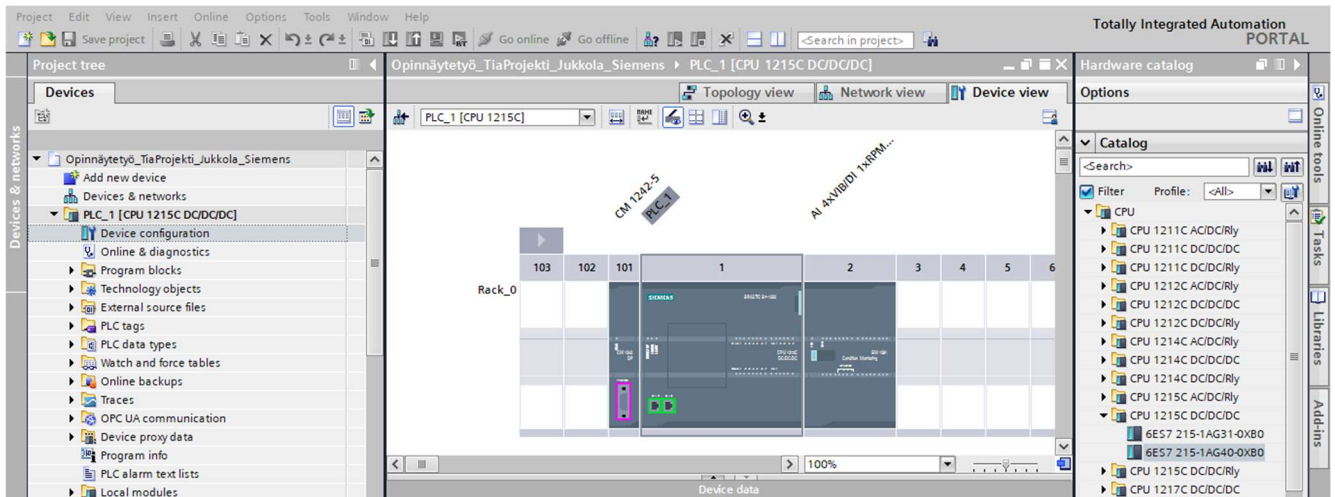


KUVA 20. Tila_1 Kunnonvalvontalaitteisto (Markus Korvela 2023)

6.1.1 SM1281-järjestelmän ohjelmointi

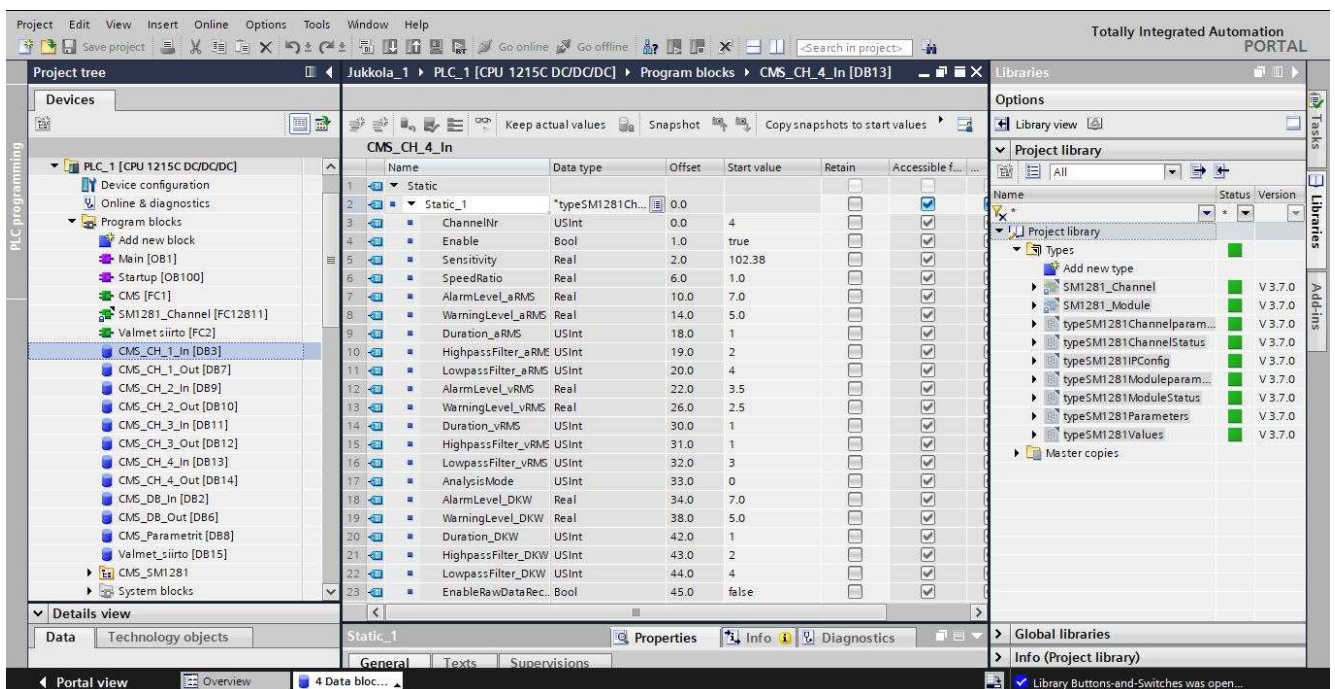
Sain tässä työssä vapauden rakentaa TIA Portal projektin mieleiselläni tavalla, sekä käyttää LSM1281-kirjastoa parhaaksi katsomallani tavalla. Esimerkiksi DB-data block kanavakokonaisuus voidaan järjestellä, sekä rakentaa eri tavalla TIA Portal ohjelmistossa ja tämä esitetty malli on vain yksi tapa toteuttaa toimiva projekti.

SM1281-kunnonvalvontajärjestelmän ohjelmointi suoritetaan TIA Portal ohjelmiston avulla. Järjestelmän käyttöönotto vaatii STEP 7 V13 SP1 Update 4 tai uudemman TIA Portal ohjelmiston. Aluksi luodaan uusi projekti ja lisätään käytössä oleva laitteisto. Meidän tapauksessa laitteisto oli 1215C DC/DC/DC logiikka, SM1281-kunnonvalvontamoduuli ja Profibus DP slave CM 1242-5 väyläkortti. Jos SM1281-moduulia ei löydy TIA Portal ohjelmiston Hardware valikosta, tulee käyttäjän ladata HSP SM1281-tiedostot Siemens Service&Support sivuilta ja asentaa ne. Laitteet lisätään projektiin Hardware catalog välilehdellä olevasta laitehakemistopuusta, josta ne tulee raahata Device configuration valikossa olevaan Device view ikkunaan (KUVA 21). Laitteita lisättäessä tulee varmistaa oikea sarjanumero.



KUVA 21. TIA Portal Device configuration (Markus Korvela)

Seuraavaksi tulee asentaa TIA Portal ohjelmistoon LSM1281-kirjasto, jonka avulla projektiin saadaan aseteltua helposti toimivat kanava ja moduulirakenteet sekä näiden asetukset (KUVA 22). Kirjaston käyttöönotto vaatii S7-1200-logiikan, SM1281-kunnonvalvontamoduulin, TIA Portal ohjelmiston sekä kirjasto versioiden yhteensopivuuden. Tämä tulee tarkistaa Siemens Industry Online Support sivuilta, mistä myös kirjaston lataaminen onnistuu. Uusi kirjasto lisätään TIA Portal ohjelmistossa Global libraries-välilehdellä olevan Open global library painikkeen kautta.

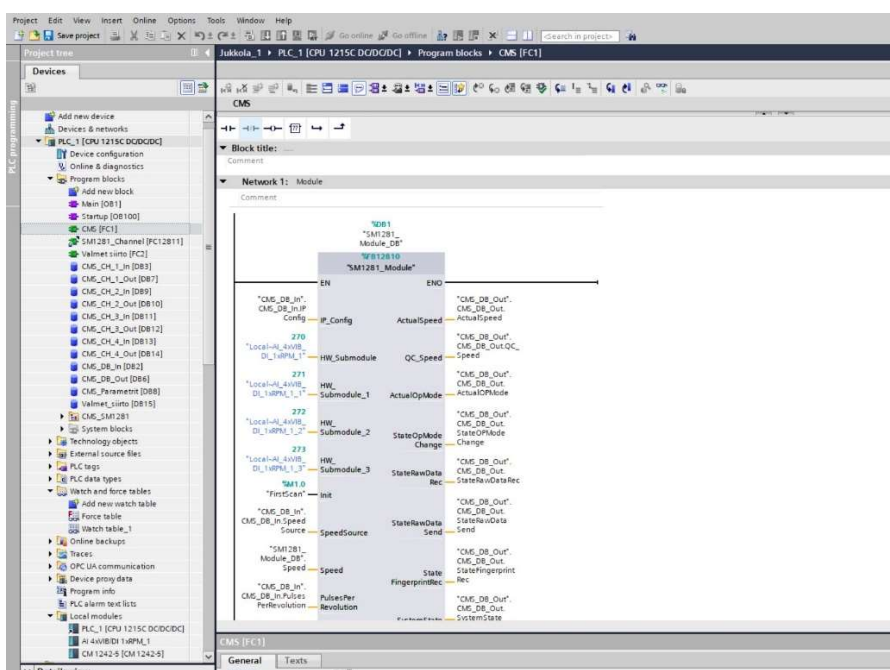


KUVA 22. LMS 1281-kirjaston lisääminen (Markus Korvela)

Kun kirjasto on saatu asennettua TIA Portal ohjelmistoon, voidaan Program blocks välilehdelle kirjastosta raahata SM1281_Channel[FC12811] FC block ja SM1281_Module[FB12810] FB block. Tämän jälkeen luodaan tarvittavat DB lohkot, Add new block toiminnon avulla, datatyypeiksi valitaan haluttu ominaisuus kirjastosta kuten kanavan parametointi tai kanavan status eli tilanseuranta. Kanavakohtaiset start value asetukset määritellään kirjaston typeSM1281Channelparameters avulla ja kanavan tilaa voidaan tarkastella typeSM1281ChannelStatus avulla.

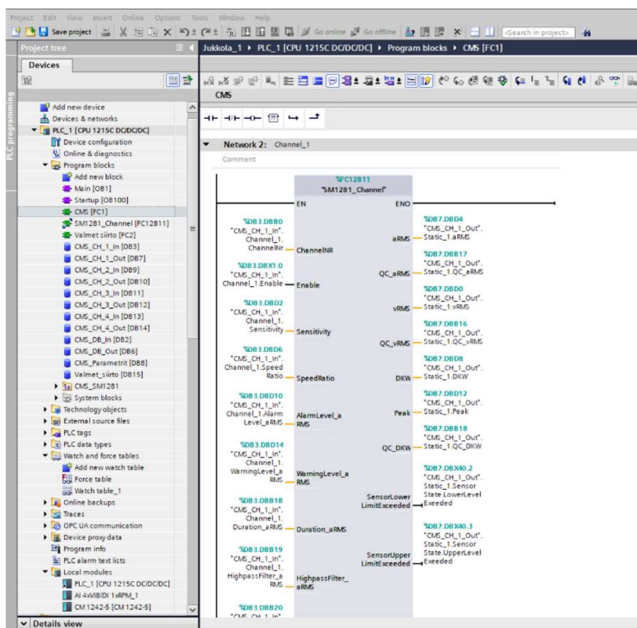
Tässä projektissa oli käytössä 4 anturia, joten projektiin luotiin neljälle kanavalle parametointi ja status DB lohkot. Lisäksi luotiin SM1281-moduulille omat TypeSM1281Moduleparameters ja TypeSM1281ModuleStatus DB lohkot. SM1281-moduulin verkkoasetuksille luotiin TypeSM1281IPConfig DB lohko ja SM1281-moduulin varmuuskopiointi SM1281_Backup DB. SM1281_Status DB lohko saatiin raahattua kirjaston Master copies-kansiosta. Kirjastossa oleva TypeSM1281Values käsittää kirjaston sisäistä dataa ja ei ole käyttäjälle tärkeä, tämä lisättiin kuitenkin projektiin.

Aikaisemmin luotujen lohkojen lisäksi ohjelma tarvitsee FC Function lohkon, jossa järjestelmä kokonaisuutta ajetaan (KUVA 23). Tässä ohjelmassa FC-lohko on nimettynä CMS[FC1]. Tämän lohkon ensimmäiseen Network 1: raahataan SM1281_Module[FB12810] lohko, jonne haetaan DB-lohkoista oikeat muistipaikat, ohjelma lukee näistä SM1281-moduulille käyttäjän asettamat start value asetukset. Profibus väylään tapahtuvaa tiedonsiirto varten luotiin FC lohko nimeltä valmet siirto.

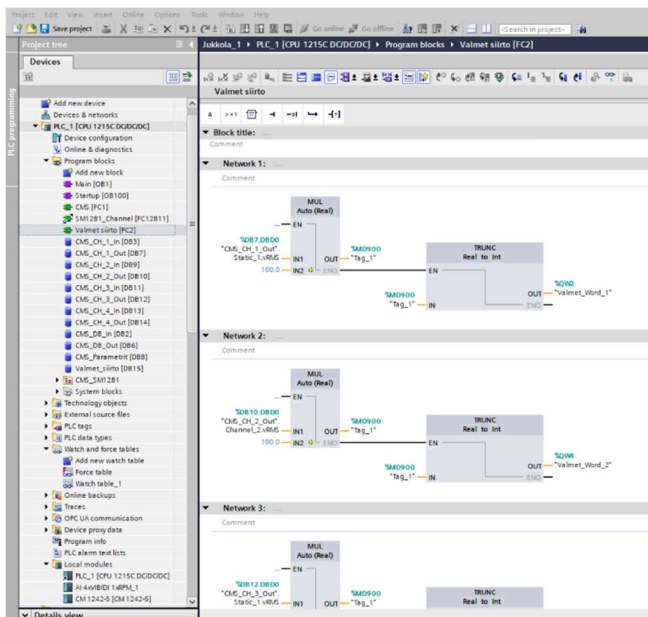


KUVA 23. CMS[FC1] ja SM1281_Module (Markus Korvela)

Tämän jälkeen CMS-lohkoon luodaan jokaiselle neljälle kanavalle omaan Network ikkunaan SM1281_Channel[FC12811] lohko, näihin lohkoihin haetaan kanavakohtaisista DB-lohkoista oikeat muistipaikat (KUVA 24). Valmet Siirto [FC2] lohkokossa tuodaan mittaustiedot Profibus väylään (KUVA 25). Haluttu siirtotieto täytyy muuttaa real-datatyyppistä muotoon int, jolloin Valmet järjestelmä voi lukea halutun mittaustiedon. Jokaiselle halutulle siirtotiedolle luodaan oma Network, jossa tietotyypin muutos tehdään. Muutettu mittaustieto tallennetaan tätä varten luotuun PLC-tagiin ja tätä tietoa Valmet lukee Profibus väylän kautta.

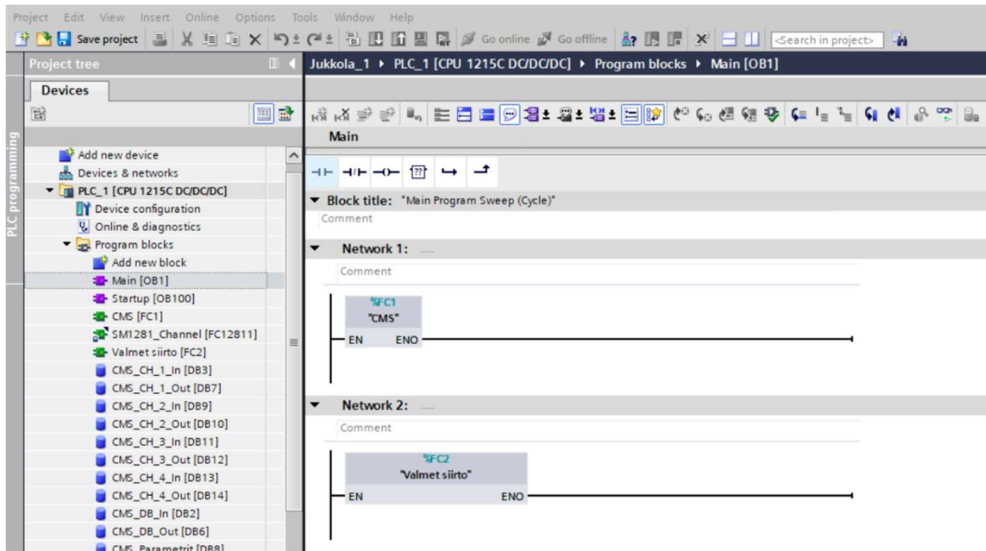


KUVA 24. CMS[FC1] ja SM1281_Channel (Markus Korvela)



KUVA 25. Valmet siirto (Markus Korvela)

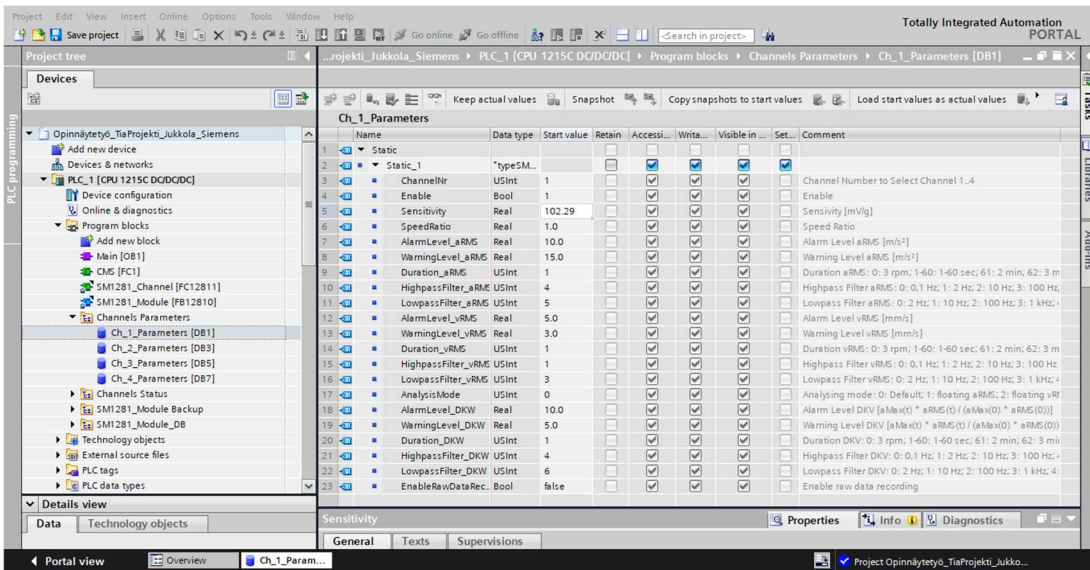
Lopuksi FC-lohkot täytyy kutsua OB-lohkojen avulla, näin ohjelma saadaan käyntiin (KUVA 26). Sitä varten luotiin main[OB1] jossa kutsutaan CMS[FC1] lohko sekä Startup [OB100] lohko, johon määriteltiin halutut käynnistysasetukset mahdollisia sähkökatko tilanteita ajatellen.



KUVA 26. Main[OB1] CMS ja Valmet siirto kutsu (Markus Korvela)

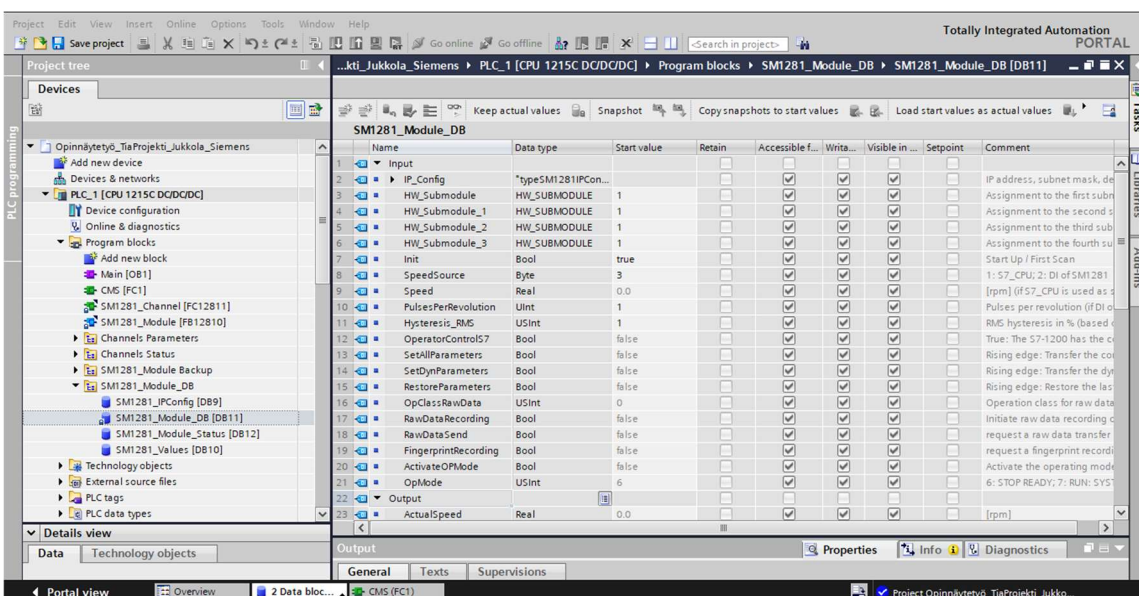
6.1.2 SM1281-järjestelmän konfigurointi

TIA Portal ohjelma rakenteen luomisen jälkeen asetellaan SM1281-moduulille sekä moduulin kanaville halutut aloitusarvot start value parametrit (KUVA 27 ; KUVA 28). Parametrit asetellaan kanavien 1–4 Channel parameters lohkoihin sekä moduulin SM1281_Module_DB lohkoon. Kanavakohtainen Sensitivity value on anturin herkkyyсарvo ja se annetaan anturin mukana tulevassa kalibrointi todistuksesta, joka on yksilöllinen. Lohkojen parametointi ja käyttöohjeet löytyvät Siemens SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 04/2021, A5E36912951-AH manuaalista. Manuaali antaa ohjeet perusasetusten luontiin, näillä päästään alkuun, mutta suositeltavaa on tarkastella esim. aRMS, vRMS ja DKW high ja lowpass filttereiden taajuusalueita, sekä näiden hälytys rajoja tapaus kohtaisesti. Hälytysrajojen perustana käytettiin ISO 10816 Standardin mukaista nopeuden värinärasitustaulukkoa.



KUVA 27 Channel_1 Parametrointi (Markus Korvela)

Siemens SM1281-kunnonvalvontajärjestelmä tarjoaa mahdollisuuden sekä tarkastella että analysoida mittausdataa web-pohjaisen käyttöliittymän kautta, tässä tapauksessa SM1281_Module_DB lohkoista löytyvä OperatorControls7 asetus tulee olla false. Näin voidaan moduulin IP-osoitteeseen avata yhteys ja kirjautua järjestelmään. SM1281_Module_DB lohkoista löytyy myös järjestelmän käytön kannalta tärkeä OpMode, jonka avulla järjestelmä voidaan käynnistää sekä pysäyttää. SetAllParameters lohkon avulla asetukset siirretään SM1281-moduulin käytettäväksi.



KUVA 28. SM1281_Module_DB parametrointi (Markus Korvela 2023)

6.1.3 SM1281-järjestelmän web käyttöliittymä

Siemens SM1281-kunnonvalvontamoduuli pitää sisällään web-käyttöliittymän, jonka avulla mittausdataa voidaan tarkastella sekä analysoida (KUVA 29). Mitattavan laitteiston tilaa voidaan monitoroida Actual Values valikon alta. Tässä näkymässä jokaisen kanavan aRMS, vRMS, DKW sekä aPeak-arvot päivittyvät lähes reaaliajassa. Tästä näkymästä voi myös havaita nopeuden, kiihtyvyyden sekä verhoikäyrä spektrin tilan. Järjestelmä tekee jatkuvatoimista analyysiä, jota peilataan annettuihin hälytysrajoihin. Tämän käyttöliittymän avulla voidaan myös suorittaa käyttäjän haluamia erilaisia spektri- ja trendianalyyssejä.

Kun SM1281_Module_DB lohkon OperatorControlS7 on aseteltu false-tilaan, voidaan web-käyttöliittymään kirjautua sisään käyttämällä sille asetettua IP-osoitetta. Tämä mahdollistaa monitoriasetusten kuten kiihtyvyyden, nopeuden ja verhoikäyrä spektrin raja-arvojen asettamisen. Verhoikäyräspektri voidaan myös asettaa laakerityypin mukaan. Web-käyttöliittymän avulla on mahdollista käynnistää sekä sammuttaa moduulin monitorointi. Lisäksi datan tallennus sekä PLL-asetukset suoritetaan Web-liittymän kautta.

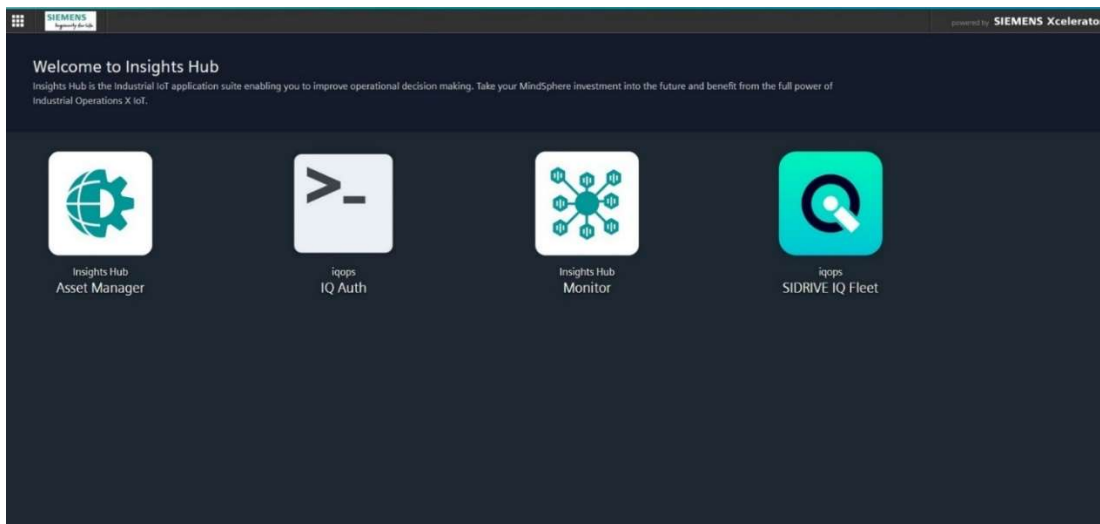


KUVA 29. Siemens SM 1281-Web-käyttöliittymä (Markus Korvela)

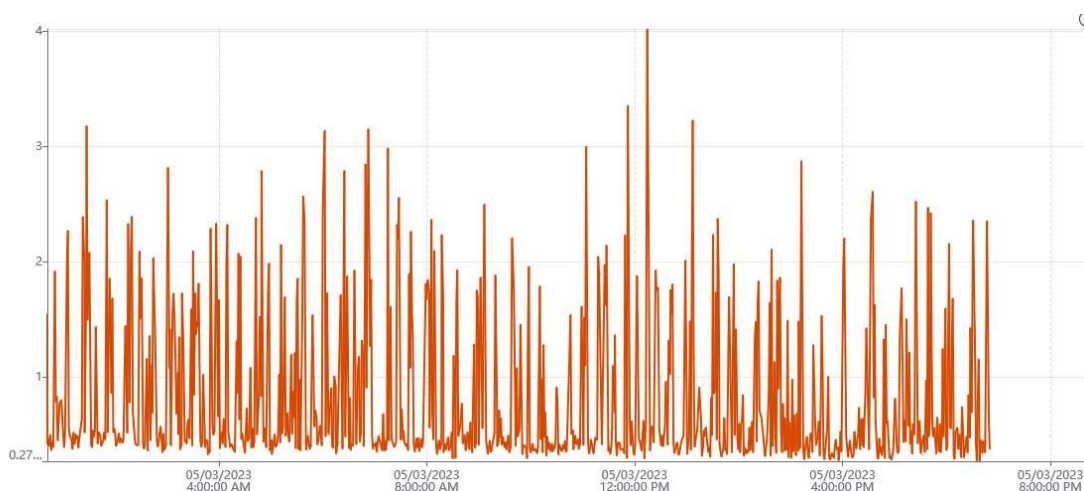
6.1.4 SM1281-järjestelmän linkitys MindSphere palveluun.

SM1281-järjestelmästä saatu mittaustieto siirrettiin MindSphere palveluun MindConnect Nano laitteen avulla. Palvelu vaatii MindSphere käyttäjätilin, jonne MindConnect Nano linkitetään. Kun käyttäjä on kirjautunut MindSphere palveluun, hänelle avautuu insight hub aloitussivu, josta löytyy käytön kannalta tarvittavat sovellukset (KUVA 30). Laitteen linkityksessä tulee varmistaa, että S7-1200 PLC:n

PUT/GET-yhteys on sallittu, sekä mittauskanavien 1–4 DB lohkojen Optimized block access asetettu pois päältä. MindConnect Nano laitteelle luodaan MindSphere palvelussa olevalla Asset Managerilla konfigurointi tiedosto, joka siirretään USB tikulle. MindConnect Nano on esikonfiguroitu laite ja käyttäjän tulee ainoastaan asettaa USB-tikku MindConnect Nanon USB-porttiin, jolloin konfigurointitiedosto latautuu automaattisesti laitteeseen. Lopuksi täytyy Asset Managerissa käydä asettelemassa halutut aspektit eli datapisteet, joita halutaan MindSphere palvelussa tarkastella. SM1281-moduulista siirrettiin kaikki kunnonvalvonnan kannalta oleellinen mittaus tieto, eli kanavien aRMS, vRMS, aPeak ja DKW. Näitä trenditietoja voi tarkastella Monitor-sovelluksen avulla (KUVA 31). Siemens kehittää tästä opinnäytetyöstä saadun SM1281-mittausdatan avulla käyttöliittymäsovellusta MindSphere-palveluun, josta käyttäjä voi havaita mitattavan laitteen kunnon selkeiden mittareiden avulla. Tämä käyttöliittymä tullaan julkaisemaan joskus tulevaisuudessa.



KUVA 30. MindSphere Insight Hub aloitussivu (Markus Korvela)



KUVA 31. MindSphere Monitor SM1281-mittausdata, CH1_vRMS (Markus Korvela)

6.2 Tila_2 laitteiden käyttöönotto

Tilassa 2 otettiin käyttöön SIDRIVE IQ Fleet IoT-pohjainen kunnonvalvontajärjestelmä. Järjestelmän SC400-kunnonvalvontamoduuli asennettiin Siemens 250kW moottoriin. Tällä moottorilla pyöritetään pumppua, jonka tehtävä on siirtää jäähdytysvettä merestä voimalaitoksen jäähdytysvesikiertoon. Kohdeessa suoritetaan ennakkohoolto-ohjelman mukaisia säännöllisiä tärinätasojen käsimitauksia. Tästä syystä kohde soveltui hyvin IoT-pohjaisen kunnonvalvontajärjestelmän pilotointiin ja näin tämä kohde valikoitui tämän opinnäytetyön kohteeksi.

SC400-moduulin asennus ja konfigurointi oli äärimmäisen helpoksi tehty prosessi. Moduuli oli tehdasasennettuna moottorissa ja laitteen akkujen aktivoimisen jälkeen tehtäväksi jäi ainoastaan linkittää laite MindSphere-palveluun. Tämä tapahtui älypuhelinsovelluksen SIDRIVE IQ Config avulla langattomasti. Jotta kykenee linkittämään laitteen MindSphere-palveluun, käyttäjällä tulee olla aktiivinen MindSphere-tili ja SIDRIVE IQ palvelu hankittuna. (Siemens SC400-Operation Instructions)

6.2.1 SIDRIVE IQ järjestelmän konfigurointi

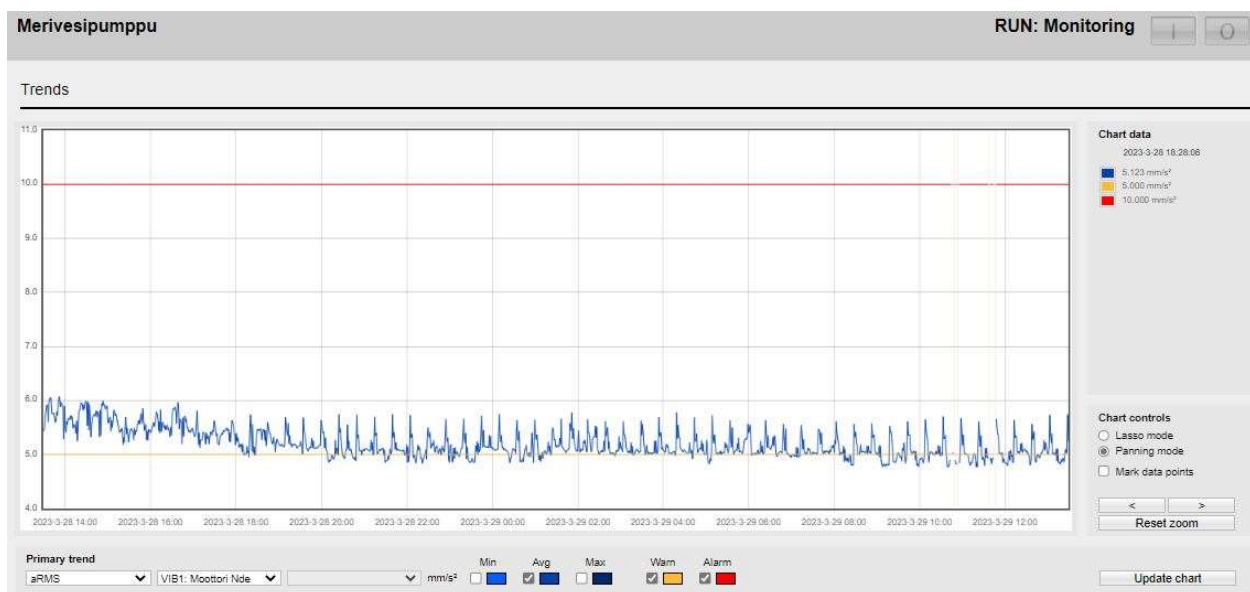
SC400-moduulin linkitys MindSphere-palveluun aloitettiin lataamalla SIDRIVE IQ Config sovellus Android tai Apple älypuhelimien app storesta. Moduuli voidaan konfiguroida Applen iOS ja Googlen Android käyttöjärjestelmän omaavalla laitteella. Sovelluksen käynnistyksen jälkeen laite etsii automaattisesti ympäristössä olevia SC400-moduuleja. Kun sovellus löytää halutun moduulin, siihen voidaan kirjautua ja käyttäjän tulee päivittää tarvittaessa laitteen firmware. Käyttäjän tulee seuraavaksi liittää moduuli WLAN-verkkoon ja antaa tarkat tiedot mittauskohteena olevasta moottorista. Lisäksi SC400-moduulille tulee määritellä mittaus- ja datansiirto intervallit. Tässä projektissa käytettiin 30min mittaus- ja 24 tunnin datansiirto intervallia MindSphere-palveluun. Näillä intervalleilla saimme hyvän akunkeston SC400-moduulille ja kohteen kunnonvalvonnan kannalta riittävästi datapisteitä. (Siemens SC400-Operation Instructions)

7 MITTAUSTULOKSIA

Mittalaitteissa Pruftechnik VIBXPART 2 käytetään alan standardina ja Tila_1, Tila_2 mittausdataa vertailtiin tämän laitteen mittaustuloksiin. Mittaukset suoritettiin uusissa laitteissa, joten laakerivikojen, linjaus ym. ongelmia ei tämän opinnäytetyön aikana havaittu. Tila_2 SIDRIVE IQ Fleet järjestelmän avulla kuitenkin havaittiin värinätasojen selkeää nousua moottorin kierrosnopeuden kasvaessa. Tässä tapauksessa värinätasojen nousun syyksi todettiin resonanssitaajuuden syntyminen korkeammilla kierrosnopeuksilla. Molempien kohteiden mittausdata oli riittävän tarkkaa ja molemmat laitteet soveltuvat hyvin kunnonvalvontaan.

7.1 Tila_1 SM1281-järjestelmän mittaustuloksia

SM1281-järjestelmällä saadut mittaustulokset olivat melko hyvin linjassa Pruftechnik VIBXPART 2 mittalaitteen kanssa. vRMS arvot olivat lähes samat ja data luotettavaa. Nopeuden mittauksessa käytettiin 2-1000Hz taajuutta kaikissa mittapisteissä. aRMS arvot olivat hieman korkeita verrattuna käsimitauksessa saatuihin tuloksiin (KUVA 32). Taajuusmuuttajalta havaittiin kytkentätaajuus, joka oletettavasti nosti kiihtyvyyden tehollisarvoa. Kytkentätaajuudesta aiheutunutta häiriötä ei tämän opinnäytetyön aikana saatu poistettua. Järjestelmään asetettiin taajuuskaistaksi moottorin Nde ja De päihin 10-1000Hz, jos taajuuskaistaa nostettiin 2000Hz tai 5000Hz, aRMS arvot nousivat merkittävästi. Pumpulla kiihtyvyyden taajuuskaista oli 10-2000Hz. Taajuuskaistojen valinnoissa huomioitiin moottorin kierrosnopeus, joka oli noin 500RPM.



KUVA 32. Moottorin Nde puolen aRMS mittausdataa (Markus Korvela)

7.2 Tila_2 SIDRIVE IQ Fleet järjestelmän mittaustuloksia

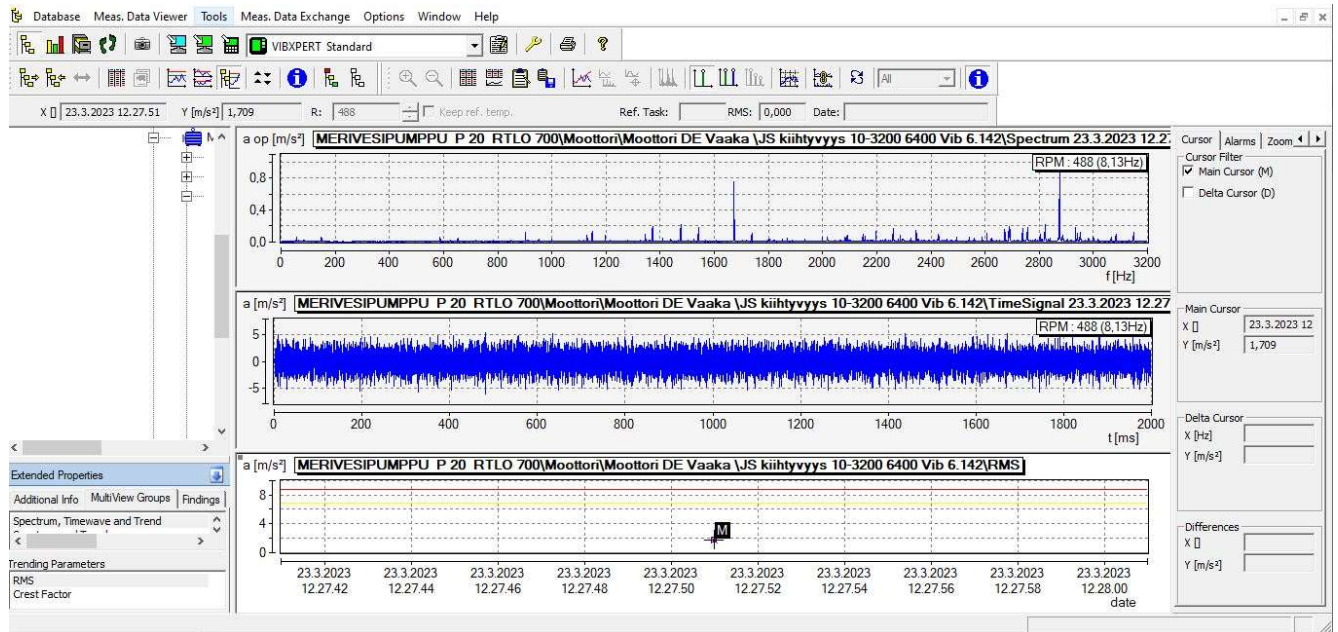
SIDRIVE IQ Fleet järjestelmän värähtelymittaus tapahtuu runkoon kiinnitetyn SC400-moduulin avulla. Tämä eroaa merkittävästi SM1281-järjestelmästä, jossa mittaus tapahtuu tarkasti laakereille määritellyistä mittapisteistä värähtelyantureiden avulla. Tästä huolimatta laitteella saavutettiin moottorin yleiskunnonvalvontaan riittävä mittaustiedonlaatu. Tämän lisäksi SIDRIVE IQ Fleet tarjoaa käyttäjälle lukuisia muita merkittäviä mittaustietoja, joita SM1281-järjestelmässä ei ole. Käytön aikana SIDRIVE IQ Fleet toimi moitteettomasti, eikä mittaustiedossa havaittu merkittävää häiriötä. Järjestelmän avulla havaittiin moottorin kierrosnopeuden kasvaessa selkeä värähtelytasonkasvu (KUVA 33).



KUVA 33. SIDRIVE IQ Fleet, moottorin värähtelytaso sekä kierrosnopeus (Markus Korvela)

7.3 Profitechnik VIBXPRT 2 mittaustuloksia

Profitechnik VIBXPRT 2-mittalaiteella saatu mittausdata määritteli pohjan tässä työssä tehtyyn mittalaite vertailuun. Profitechnik VIBXPRT 2-mittalaiteella toimeksiantaja suorittaa laakereiden kunnonvalvontamittauksia. Mittausdatan analysoinnissa käytettiin omnitrend ohjelmistoa (KUVA 34).



KUVA 34. Profitechnik VIBXPRT 2-moottorin De kiihtyvyydendataa (Markus Korvela)

8 POHDINTA

Tässä työssä käsitellyt tila_1 ja tila_2 laite kokonaisuudet olivat hyvin paljon toisistaan poikkeavat. Ajallisesti työ painottui hyvin pitkälle tila_1 olleeseen SM1281-kunnonvalvontajärjestelmään sen laajuuden ja haastavuuden vuoksi. SM1281-järjestelmän käyttöönotto vaatii hyvää TIA Portal ohjelmiston osaamista sekä tietämystä jatkuvatoimisesta värähtelymittauksesta kunnonvalvonnassa. Järjestelmä on kuitenkin joustava ja erittäin pitkälle räätälöitävissä käyttäjän toiveiden mukaan. Tämä antaa valtavasti mahdollisuuksia luoda erilaisia kokonaisuuksia erilaisiin ympäristöihin. Järjestelmästä saatu mittausdata monitoroituna ja analysoitavissa käyttäjäystävällisessä Web-käyttöliittymässä, tämä ominaisuus on järjestelmän käytön kannalta hyvin merkityksellinen, lisäksi laitteeseen voitiin luoda etäyhteys, joka helpottaa järjestelmän ylläpitoa.

SM1281-järjestelmässä haasteita toi järjestelmän käyttöönoton kompleksisuus. TIA Portal ohjelman käyttö sekä toimivan projektin luominen oli melko haastavaa. Toimiva kokonaisuus vaatii TIA Portalissa rakennettua projektin, joka on parametroidu mittauskohteen tarpeisiin oikein. Tämän jälkeen käyttö tapahtuu SM1281-moduulin Web-käyttöliittymän kautta, jossa voidaan tarkastella mittausdataa ja tehdä erilaisia analyysejä käyttäjäystävällisessä ympäristössä. Projektin aikana havaittiin mittauksissa häiriöitä, jotka näkyivät kohonneina kiihtyvyyden aRMS arvoina. Antureiden asennus, kaapeleiden maadoitus sekä kaapeleiden reitit SM1281-moduulille tulee suorittaa huolella, jotta ylimääräisiltä häiriöiltä voidaan välttyä. SM1281 on kokonaisuus, joka vaatii osaamista, mutta antaa valtavasti mahdollisuuksia käyttäjälle.

Tila_2:ssa käyttöön otettu SC400-moduuli oli todella helppo ja käyttäjä ystävällinen kokemus. Haasteita toi tehdas ympäristössä Bluetooth-yhteyden avulla suoritettava SC400-moduulin konfiguroiminen. Tehdasympäristössä olevat häiriöt estivät puhelimen ja SC400-välistä yhteyttä, tästä syystä konfigurointi päätettiin suorittaa Jukkola Systemsin tiloissa, jossa tätä ongelmaan ei esiintynyt. SIDRIVE IQ Fleet järjestelmästä puuttuu mahdollisuus etäyhteyteen ja näin SC400-moduulia ei voi konfiguroida muutoin kuin olemalla laitteen Bluetooth kantaman sisällä. Lisäksi laitteistoa ei voi käyttää muissa kohteissa kuin matalajännite moottoreissa. SC400-datan tarkastelu tapahtuu SIDRIVE IQ Fleet sovelluksen avulla, joka on saatavissa MindSphere-palvelussa. Tämä sovellus on valmiiksi rakennettu käyttäjää ajatellen ja sieltä löytyy paljon informaatiota mitattavasta moottorista. Helpoksi ja kevyeksi ratkaisuksi moottoreiden kunnonvalvontaan luotu SIDRIVE IQ Fleet olikin lähes vastakohta SM1281-järjestelmälle.

Tämä opinnäytetyö oli haastava ja samalla erittäin opettavainen, tämä työ kehitti osaamistani laajalta automaatio alan eri osa-alueelta. Työ oli pääosin itsenäistä, mutta projektin aikana yhteistyötaitoja tarvittiin eri asiantuntijarooleissa olleiden henkilöiden kanssa. Työssä tarvittiin lisäksi projektinhallinnan, sekä toiminnan kehittämiseen liittyviä taitoja. Näistä koen saaneeni erittäin arvokasta kokemusta. Työ onnistui mielestäni hyvin ja projektissa käytetyistä kunnonvalvontalaitteista saatiin selkeä toiminnallinen kuva toimeksiantajalle. Projektin lyhyenajan tavoitteet saavutettiin ja olen tyytyväinen projektin lopputulokseen. Projektin pitkänajan tavoitteet ja tulokset eivät tämän opinnäyte työn aikana tulleet näkyville. Uskon tämän projektin valossa jatkuvatoimisten kunnonvalvontalaitteiden yleistyvän teollisuudessa tulevaisuudessa. Lopuksi haluan kiittää kaikkia tämän opinnäytetyön aikana mukana olleita henkilöitä sekä yhteistyötahoja.

LÄHTEET

ABB TTT-käsikirja 2000–7, luku 23: Kunnonvalvonta ja huolto. Helsinki: ABB Oy

Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V-E., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito: Käsikirja. Helsinki: KP-Media.

Mobius institute. Saatavissa https://www.mobiusinstitute.com/simulations/ISO_10816-velocity. Viitattu 7.5.2023

Pruftechnik. Saatavissa <https://www.pruftechnik.com/com/Products-and-Services/Condition-Monitoring-Systems/Vibration-Analysis-and-Balancing/Vibration-Analyzer/VIBXPRT-II/>. Viitattu 7.5.2023

Overview of MindConnect Nano. Siemens. Saatavissa <https://documentation.mindsphere.io/MindSphere/apps/mindconnect-nano/overview-of-mindconnect-nano.html>. Viitattu 7.5.2023

S7-1200 PLC. Siemens. Saatavissa <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>. Viitattu 7.5.2023

S7-1200 PROFIBUS. Siemens. Saatavissa https://cache.industry.siemens.com/dl/files/035/55631035/att_110105/v1/BA_CM-1242-5_76_en-US.pdf. Viitattu 7.5.2023

SIMOTICS CONNECT 400 Operating Instructions. Saatavissa https://cache.industry.siemens.com/dl/files/915/109766915/att_982766/v1/simotics_connect_400_op_instr_0319_en-US.pdf

SCALANCE 876. Siemens. Saatavissa https://cache.industry.siemens.com/dl/files/712/74518712/att_825484/v1/BA_SCALANCE-M87x_76.pdf. Viitattu 7.5.2023

SCALANCE W-700. Siemens. Saatavissa https://cache.industry.siemens.com/dl/files/884/79695884/att_37741/v1/PH_SCALANCE-W-700_76_en-US.pdf. Viitattu 7.5.2023

SIPLUS CMS. Siemens. Saatavissa <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/products-for-specific-requirements/siplus-cms.html>. Viitattu 7.5.2023

TIA Portal. Siemens. Saatavissa <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>. Viitattu 7.5.2023

Siemens SC400-Operation Instructions. Saatavissa

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/915/109766915/att_993701/v1/simotics_connect_400_op_instr_0520_en-US.pdf. Viitattu 7.5.2023

SM 1281 Condition Monitoring Operating Instructions, 04/2021, A5E36912951-AH. Saatavissa

https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109803035/cms1200_sm1281_operating_manual_en-US_en-US.pdf?download=true Viitattu 2.5.2023