



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juho Hyvösaho

# TÄRINÄ- JA ÄÄNIMITTAUSTEN RA- PORTOINNIN KEHITTÄMINEN

Tekniikka

2025

## TIIVISTELMÄ

---

Tekijä	Juho Hyvösaho
Opinnäytetyön nimi	Tärinä- ja äänimittausten raportoinnin kehittäminen
Vuosi	2025
Kieli	suomi
Sivumäärä	59 + 3 liitettä
Ohjaaja	Jukka Hautala

Testikentällä suoritetaan sähkömoottoreille erilaisia testejä ja mittauksia. Isona osana mittausprosessia on mittaustulosten raportointi. Tällä hetkellä osa testikentällä suoritettavista tärinä- ja äänimittauksista eivät ole osana yrityksen haluttua mittausprosessia. Tarkoituksena on tutkia, kuinka nämä mittaukset saadaan osaksi haluttua mittausprosessia ja kuinka se toteutetaan.

Opinnäytetyön teoreettinen viitekehys muodostui yleisesti prosessin kehittämisestä, tärinä- ja äänimittausten suorittamisesta sekä eri vaihtosähkömoottoreiden lyhyistä esittelyistä ja niiden eroavaisuuksista. Kehitystyö toteutettiin analysoimalla nykyistä mittauskäytäntöä, tunnistamalla mahdolliset puutteet ja ehdottamalla parannuksia raportointiprosessiin. Työn aineistona käytetään laitevalmistajan ohjeistuksia, vanhoja mittausraportteja sekä kirjallisuutta tärinä- ja äänimittauksista.

Työn tuloksena löydettiin ratkaisu, jolla saadaan nykyinen mittausjärjestelmä osaksi yrityksen haluttua mittausprosessia. Nykyinen mittausohjelmisto tukee OLE 2.0 -teknologiaa, jolla saadaan hoidettua kommunikointi yrityksen oman mittausohjelman ja nykyisen PULSE LabShop -ohjelmiston välillä. Tarvittavien mittausohjelmien rakentamiseen testin suorittajan näkökulmasta käytiin kattavasti läpi, että mittausten suorittaminen olisi mahdollisimman sujuvaa ja tehokasta. Samalla käydään läpi ohjeita mittausohjelmien rakentajalle, että mitä tietoja tarvitaan ja mitä pitää ottaa huomioon. Myös mittaustulosten tarkastamista ja niiden rakentamista käydään kattavasti läpi.

## ABSTRACT

---

Author	Juho Hyvösaho
Title	Development of Vibration and Sound Measurement Reporting
Year	2025
Language	Finnish
Pages	59 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Jukka Hautala

Various tests and measurements are performed on electric motors at the test field. A significant part of the measurement process involves the reporting of measurement results. Some of the vibration and sound measurements conducted in the test field are currently not part of the company's desired measurement process. The purpose of this thesis is to examine how these measurements can be integrated into the desired process and how their implementation can be carried out.

The development work was carried out by analyzing the current measurement practices, identifying potential shortcomings, and proposing improvements to the reporting process. The material used in the study includes the equipment manufacturer's guidelines, previous measurement reports, and literature on vibration and sound measurements.

As a result of the thesis, a solution was found to integrate the current measurement system into the company's desired measurement process. The existing measurement software supports OLE 2.0 technology, which enables communication between the company's own measurement software and the PULSE LabShop software. From the test operator's perspective, the development focused on ensuring a seamless and efficient measurement. Additionally, guidance was provided for developers of the measurement programs regarding the necessary information and considerations. The process of reviewing and structuring measurement results was also thoroughly covered.

---

Keywords                      measurement, reporting, testing, development

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT .....	3
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Opinnäytetyön rakenne .....	8
1.2 ABB yrityksenä.....	9
1.3 Tekoälyn käyttö tässä opinnäytetyössä.....	9
2 TARVEANALYYSI JA NYKYTILANTEEN KUVAUS.....	11
2.1 Tarveanalyysi.....	11
2.2 Prosessin nykytilanne .....	12
2.3 Mittausjärjestelmä .....	13
2.4 Nykytilanteen raportointi.....	15
2.4.1 Tärinäraportti .....	15
2.4.2 Äänispektriraportti .....	19
3 TIETOPERUSTAA .....	24
3.1 Prosessin kehittäminen .....	24
3.2 Testit.....	25
3.3 Tärinämittaukset .....	25
3.3.1 Tärinäramppi.....	27
3.3.2 Tärinäspektri .....	29
3.4 Äänimittaukset .....	30
3.5 Vaihtosähkömoottorit .....	33
3.5.1 Oikosulkumoottori.....	33
3.5.2 Reluktanssimoottori.....	34
3.5.3 Kestomagneettimoottori .....	34
4 KEHITTÄMISPROSESSIN KUVAUS .....	36
4.1 Prosessin kuvaaminen .....	36
4.2 Yhteyden muodostaminen OLE 2.0 .....	37
5 HALUTUN KEHITTÄMISTOIMINNAN TULOKSEN KUVAUS.....	41
5.1 Mittausohjelmien rakentaminen .....	41
5.1.1 Tärinäramppi.....	41
5.1.2 Tärinäspektri .....	43

5.1.3	Äänispektri .....	45
5.2	Tulosten tarkistus .....	46
5.2.1	Tärinät .....	47
5.2.2	Jäännösepätasapaino.....	47
5.3	Raportteihin tarvittavat tiedot.....	50
6	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	53
6.1	Johtopäätökset.....	53
6.2	Jatkotutkimuskohteet .....	54
6.3	Kehitysideat.....	55
6.4	Suosittelut jatkotoimenpiteet .....	55
	LÄHTEET.....	57
	LIITTEET.....	60
	LIITE 1. Esimerkki laajasta tärinäraportista .....	60
	LIITE 2. Esimerkki äänispektriraportista .....	65
	LIITE 3. Esimerkki Pulse Ascii File tiedostosta .....	66

## **KUVAT**

Kuva 1. PULSE Type 3050 (HBK World, n.d.) .....	14
Kuva 2. Kuvakaappaus PULSE LabShopista.....	15
Kuva 3. Tärinäraportin perustiedot (liite 1).....	16
Kuva 4. Tasapainotustiedot (liite 1).....	16
Kuva 5. Tärinäraportin nopeuden täyttäminen raporttiin (liite 1). .....	17
Kuva 6. Rampin nopeuskuvaaja (liite 1).....	17
Kuva 7. Tärinäspektrin nopeuden täyttäminen raporttiin (liite 1).....	17
Kuva 8. Tärinäspektri ja tulos raportista (liite 1).....	18
Kuva 9. Kokonaistärinän poimiminen raporttiin PULSE LabShop - ohjelmistosta.....	19
Kuva 10. Äänispektrin mittaukset PULSE LabShop -ohjelmistossa. ...	20
Kuva 11. Äänimittausten tulokset taulukkomuodossa (liite 2). .....	20
Kuva 12. Oktaavikaistat pylväsmuodossa (liite 2). .....	21
Kuva 13. Äänispektrimittausten tiedot. ....	22
Kuva 14. Äänispektrimittauksen lisätietoja.....	23
Kuva 15. Ääniraportin perustiedot raportissa (liite 2). .....	23
Kuva 16. Tärinämittauksen mittauspisteet (sähkömoottorin kuvituskuva luotu tekoälyllä ChatGPT). .....	27
Kuva 17. Tärinämittaus nopeusrampilla. ....	29
Kuva 18. Tärinäspektri.....	30
Kuva 19. Äänimittausten mittauspisteet (liite 2).....	31
Kuva 20. Äänispektri kuvakaappaus PULSE LabShop -ohjelmistosta..	32
Kuva 21. Exceliin rakennettu laskenta sallitusta jäännösepäatasapainosta. ....	49
Kuva 22. Sallitun jäännösepäatasapainon laskenta tasapainotuslaitteella. .....	50

## **KUVIOT**

Kuvio 1. Tärinämittausprosessin vaiheet. ....	12
Kuvio 2. Äänispektrimittausprosessin vaiheet.....	13

Kuvio 3. Prosessin kuvaus testattavasta moottorista raportiksi (Pantti, 2025)..... 37

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Tiedot värinä- ja ääniraportteihin. .... 51

## **LYHENTEET**

D-kytkentä Kolmiokytkentä kolmivaiheiselle sähkömoottorille

DOL engl. *Direct On Line*, Suora verkkoon kytkentä

D-pää engl. *Drive end*, Moottorin vetopää eli akselipää

FFT engl. *Fast Fourier Transform*, Nopea Fourierin muunnos

IE5 Kansainvälinen energiatehokkuusluokka sähkömoottoreille. Numero perässä tarkoittaa luokkaa. Numerointi 1–5 ja isompi numero tarkoittaa parempaa energiatehokkuutta.

IEC engl. *International Electrotechnical Commission*, Kansainvälinen sähkötekniikan komissio

ISO engl. *International Organization for Standardization*, Kansainvälinen standardisointijärjestö

N-pää engl. *Non-drive end*, Moottorin ei vetäväpää

OLE engl. *Object Linking and Embedding*, Objektien linkittäminen ja upottaminen

SFS SFS Suomen Standardit ry on suomalainen standardisoinnin keskusjärjestö

SynRM engl. *Synchronous Reluctance Motor*, Synkroninen reluktanssimoottori tai tahtireluktanssimoottori

TAMU Taajuusmuuttaja

VB engl. *Visual basic*, Microsoftin kehittämä visuaalinen ohjelmointikieli

Y-kytkentä Tähtikytkentä kolmivaiheiselle sähkömoottorille

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään ABB IEC LV Motorsin toimeksiannosta. Työn aiheena on kehittää tärinä- ja äänitestauksen raportointia. Brüel & Kjær – Pulse LabShop -ohjelmistolla suoritettavat mittaukset eivät tällä hetkellä tallennu yrityksen tietokantaan. Kyseisiä mittauksia ovat: äänispektrit, tärinäspektrit ja tärinäramplit. Tarkoituksena on tutkia, kuinka nykyinen mittausjärjestelmä saadaan kommunikoidaan mittaustulokset tallentavan järjestelmän kanssa. Kun mittaustulokset on saatu järjestelmään, voidaan raportin tekeminen automatisoida, mikä nopeuttaa testikentällä tapahtuvaa testausta sekä vähentää mahdollisia virheitä.

Kehitystyö toteutetaan analysoimalla nykyistä mittauskäytäntöä, tunnistamalla mahdolliset puutteet ja ehdottamalla parannuksia raportointiprosessiin. Työn aineistona käytetään laitevalmistajan ohjeistuksia, vanhoja mittausraportteja sekä kirjallisuutta tärinä- ja äänimittauksista. Työn tarkoituksena on selvittää toteutustapa ja antaa hyvät lähtökohdat sen toteuttajalle.

Työssä keskitytään ainoastaan sähkömoottoreiden tärinä- ja äänimittausten raportointiin sekä näiden mittausohjelmiin, eikä mittalaitteiden kehittämiseen. Kehitystyö rajoittuu Brüel & Kjær – PULSE LabShop -järjestelmän hyödyntämiseen, eikä muihin mittausjärjestelmiin. Rajauksella pyritään hyödyntämään jo olemassa olevaa järjestelmää.

## 1.1 Opinnäytetyön rakenne

Ensimmäisessä luvussa esitellään työn tausta, tavoitteet ja merkitys, määritellään kehityskohteet sekä rajataan työ. Lisäksi kuvataan työn rakenne lyhyesti. Luvussa esitellään myös lyhyesti yritys, jonka toimesta opinnäytetyö tehdään. Toisessa luvussa käydään läpi tarveanalyysi ja kuvataan nykytilanne. Kolmannessa luvussa käydään läpi työn tietoperustaa. Siinä keskitytään prosessin kehittämiseen, tärinä- ja äänitesteihin sekä käydään lyhyesti läpi vaihtosähkömoottoreiden teoriaa.

Neljännessä luvussa esitetään kehittämisprosessi ja tunnistetaan ongelma-kohta. Siinä myös löydetään ratkaisu ongelmaan ja käydään läpi, kuinka se toteutetaan. Viidennessä luvussa käsitellään halutun kehittämistoiminnan tulosten kuvaus sekä mittausohjelmien toteuttaminen. Luvussa kuusi käydään läpi työn johtopäätöksiä sekä mahdollisia kehitysehdotuksia ja jatkotutkimuksia. Siinä käydään myös läpi suositukseni siitä, kuinka on järkevä edetä kehittämisessä.

## **1.2 ABB yrityksenä**

ABB on globaali teknologiajohtaja, joka toimii sähköistämisen ja automaation parissa. ABB:n tavoitteena on lisätä teollisuuden eri toimijoiden tehokkuutta, tuottavuutta ja kestävyyttä. Toimintaa on noin 100 maassa kaikilla mantereilla ja henkilöstöä noin 110 000 työntekijää. (ABB, n.d.-a)

ABB työllistää noin 5 000 henkilöä Suomessa. Henkilöstöä on noin 20 paikkakunnalla ympäri Suomea. Tehtaat sijaitsevat Haminassa, Helsingissä, Porvoossa ja Vaasassa. (ABB, n.d.-b)

ABB Oy IEC LV Motorsilla on Vaasassa pitkät perinteet pienjännitemoottoreiden valmistuksesta, sillä valmistusta on harjoitettu jo vuodesta 1944. ABB on maailman johtava moottorinvalmistaja, joka panostaa energiatehokkaisiin moottoreihin. Vaasan yksikkö vastaa pienjännitemoottoreiden valmistamisesta sekä niiden tuotekehityksestä. Vaasan tehtaalla työskentelee noin 600 ammattilaista, jotka suunnittelevat ja valmistavat moottorit. (ABB, n.d.-c)

## **1.3 Tekoälyn käyttö tässä opinnäytetyössä**

Tässä työssä olen käyttänyt ChatGPT:tä tiedonhaun välineenä sekä kuvan luomiseen. Kuva 16 (luvussa 3.3) on luotu ChatGPT:ssä kehoitteella "tee kuva sinisestä sähkömoottorista sivustapäin katsottuna valkoisella

pohjalla”. Tiedonhaussa olen käyttänyt tekoälyä apuna hakusanojen ja hakulausekkeiden muodostamiseen.

Olen huolehtinut sisällön alkuperäisyydestä ja tekijänoikeuksien kunnioittamisesta. Jos tekoälysovellus on tuottanut tekstiin uusia ideoita, olen aina tarkistanut ne alkuperäisistä lähteistä ja viitannut niihin asianmukaisesti. Kaikki ilmoittamani lähteet ovat itse käyttämiäni, eivät tekoälyn tuottamia. Olen käyttänyt tekoälysovellusta vastuullisesti ja huolehtinut tietosuojasta. Tämän alaluvun 1.3 kirjoittamisessa en ole käyttänyt tekoälyä.

## **2 TARVEANALYYSI JA NYKYTILANTEEN KUVAUS**

Tässä luvussa käydään läpi, mikä on kehittämisen tarveanalyysi, sekä kuvataan nykytilanne mittausprosessista ja esitellään mittauslaitteisto. Luvussa käydään myös läpi nykyinen tärinä- ja ääniraportin laatiminen vaiheittain.

### **2.1 Tarveanalyysi**

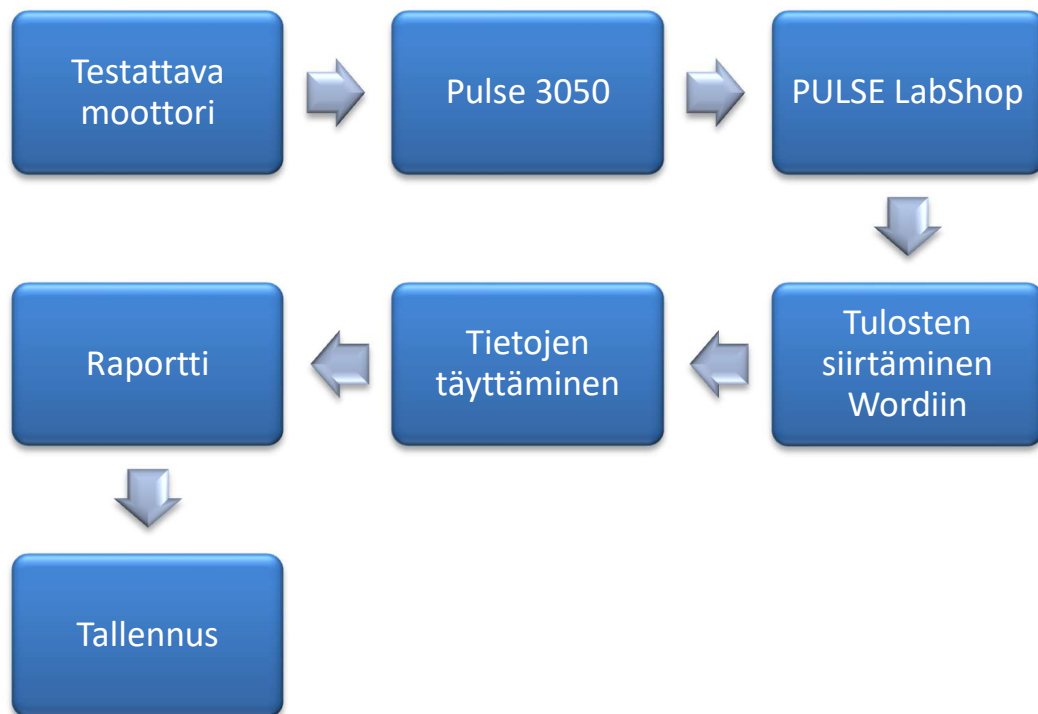
Tarve tärinä- ja ääniraporttien kehittämiseksi on ollut jo pitkään. Nykyinen raportointitapa ei ole nykyaikainen eikä se sovellu suuriin määriin. Lisäksi viime vuosina kyseiset mittaukset ovat lisääntyneet. Raportin laatiminen on tällä hetkellä testin suorittajan vastuulla, joka kuluttaa mahdollista testausaikaa koekentällä. Nykyinen raportointitapa on myös virhealtis, koska se sisältää paljon tuloksien siirtämistä eri ohjelmien välillä sekä pitkien numerosarjojen manuaalista kirjoittamista.

Kehittämisen hyötyinä voidaan pitää resurssien optimoimista, koska testin suorittajan aika menee itse mittausten suorittamiseen eikä raportin laatimiseen. Tämä parantaa testauksen tehokkuutta. Toisena hyötynä on mahdollisten virheiden vähentäminen, koska virheelliset vaiheet prosessissa ovat mahdollista automatisoida.

Kyseiset mittaukset ovat koekentällä ainoita mittauksia, jotka eivät tallennu suoraan yrityksen omiin tietokantoihin, josta raportintekijät tai raportinteko-ohjelma voisivat muodostaa raportin. Yrityksen muiden osastojen on vaikea hyödyntää tuloksia tällä hetkellä, koska tulokset eivät ole saatavilla suoraan yhteisissä tietokannoissa.

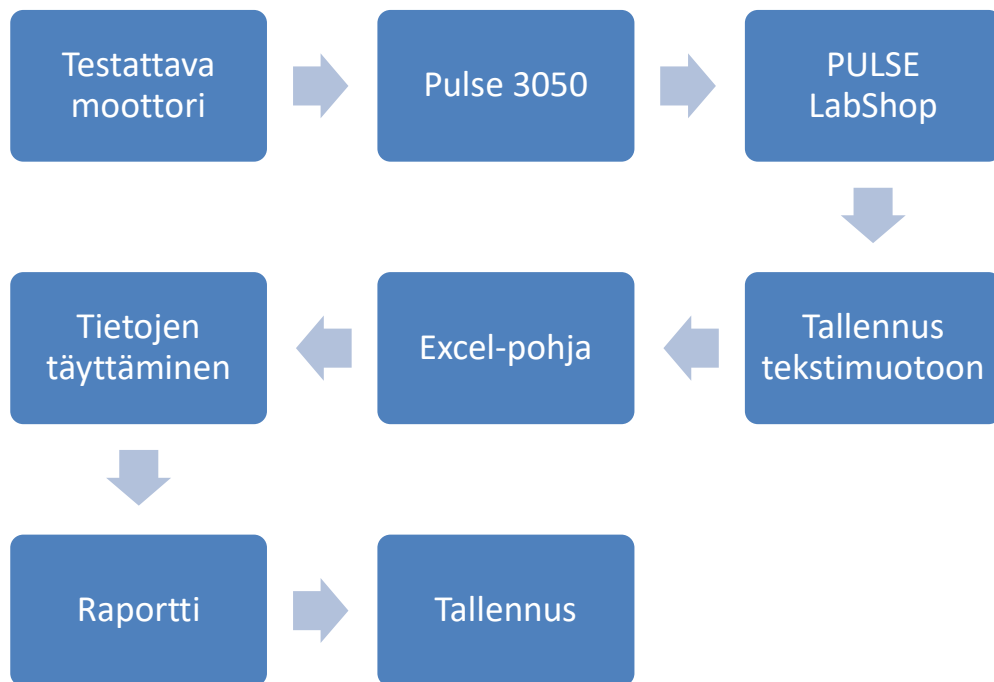
## 2.2 Prosessin nykytilanne

Prosessin nykytilanne tärinämittauksessa on kuvattu alla olevassa kuviossa 1. Kuviossa lähdetään liikkeelle testattavasta moottorista ja päädytään valmiiseen raporttiin ja sen tallentamiseen. Myöhemmin luvussa esitellään mittalaitteisto sekä tärinäraportin laatiminen.



Kuvio 1. Tärinämittausprosessin vaiheet.

Äänimittausten prosessi on hyvin samankaltainen, mutta tiedot tallennetaan välillä tekstimuotoon ja viedään valmiiseen Excel-pohjaan. Kuviossa 2 nähdään äänispektrimittausten prosessi. Myös tästä on myöhemmin luvussa esimerkki, kuinka laaditaan äänispektriraportti ja mitä vaiheita siihen kuuluu.



Kuvio 2. Äänispektrimittausprosessin vaiheet.

### 2.3 Mittausjärjestelmä

Brüel & Kjærin mittausjärjestelmää käytetään koekentällä äänispektrien ja erilaisten värinämittausten suorittamiseen sekä analysointiin. Järjestelmä koostuu mittausmoduulista Pulse 3050 ja PULSE LabShop -ohjelmistosta. Seuraavaksi käydään läpi lyhyesti värinä- ja äänianalysaattori eli mittausmoduuli sekä mittaohjelmisto.

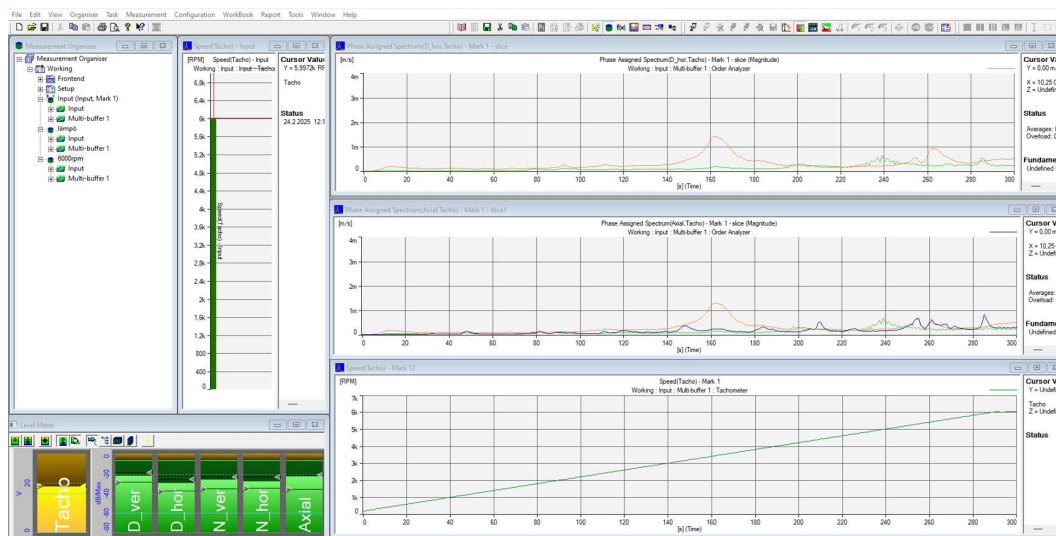
Pulse 3050 (kuva 1) on Brüel & Kjaerin valmistama monipuolinen 4- tai 6-kanavainen mittausmoduuli. Se on suunniteltu vastaamaan kattavasti äänen- ja värinämittaussovelluksia. Moduuli mahdollistaa tarkan datan-keruun erilaisiin käyttötarkoituksiin. Se voi toimia, joko yksittäisenä moduulina tai osana suurempaa mittausjärjestelmää. (HBK World, n.d.)



Kuva 1. PULSE Type 3050 (HBK World, n.d.)

PULSE LabShop -ohjelmisto on Bruel & Kjaerin valmistama alusta äänen ja värinän analysointiin. Ohjelmisto perustuu 70 vuoden mittauskokeuksiin ja innovaatioihin. PULSE-järjestelmä on johtaja monilla teollisuudenaloilla, kuten autoteollisuudessa sekä sähköakustiikassa ja tietoliikenteessä. (Bruel & Kjaer, 2018.)

Kuvassa 2 on kuvakaappaus PULSE LabShop -ohjelmistosta. Kuvassa on mitattu värinämittaukset rampissa ja siihen suunniteltu mittauspohja. Ohjelmistoon on suunniteltu ja rakennettu tämän lisäksi valmiita mittauspohjia mm. äänispektrille ja värinäspektrille.



Kuva 2. Kuvakaappaus PULSE LabShopista.

## 2.4 Nykytilanteen raportointi

Tärinä- ja ääniraportin tekeminen on tällä hetkellä tulosten siirtämistä ja tietojen kirjaamista manuaalisesti ohjelmista toiseen. Tämä tekee raportin tekemisestä aikaa vievän ja alistaa mahdollisille virheille. Testin suorittanut koestaja vastaa raportin tekemisestä.

Vuosittain laaditaan useita satoja raportteja, ja raportointien kokonaismäärä on ollut viime vuosina kasvussa. Merkittävä osa tästä koostuu tärinäraporteista, joiden osuus on huomattava. Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan raporttien laatimisen prosessia ja käytäntöjä, sekä tuodaan esiin niihin liittyviä erityispiirteitä.

### 2.4.1 Tärinäraportti

Tässä luvussa käydään läpi tärinäraportin laatiminen ja sen vaiheet. Esimerkissä käydään läpi laajin tärinäraportti, joka sisältää tärinäraportin, tärinäspektrin ja tasapainotuksen. Esimerkkimoottorin sarja- ja kauppamerkit ovat kuvitteellisia. Kuvissa on korostettu keltaisella värillä koh-

tia, jotka raportin tekijä täyttää. Tärinäraportin kuvat ovat kuvakaappauksia tärinäraportista. Raportti on kokonaisuudessaan nähtävillä liitteessä 1.

Raportti alkaa testattavan moottorin perustiedoilla. Kuvassa 3 nähdään, että raportin tekijä joutuu täyttämään manuaalisesti raportin tekijän nimen, moottorin sarjanumeron, päivämäärän, kaupanumeron, moottorin tyyppin, tuulettimen tyyppin sekä jännitteen. Raportista käy myös ilmi moottorin kiinnitystapa, mittalaitteisto ja taajuusmuuttaja.

<b>ABB</b>	Document kind		Document number	Revision	
	Vibration measurements		3G1F12345678910	A	
Issued by	Country	Author	Date	Language	Pages
Motors	FIN	Juho Hyvösaho	2025-03-05	EN	1(5)
Division/Department	Approver		Distribution	Status	
MLX000	Tommi Pantti		External	Valid	

**Sales Order:** 1234567-10

**Motor type:** M3BC 315MLA 2 B3

**Remarks:** Rigid foundation, IC416, 400 VD, B&K Type 3050-B, ACS880

Kuva 3. Tärinäraportin perustiedot (liite 1).

Seuraavaksi täytetään moottorin tasapainotustiedot (kuva 4). Raporttiin merkitään moottorin massa sekä tasapainotusluokka, joka saadaan moottorin massasta, pyörimisnopeudesta ja tasapainotuskiekon säteestä. Lisäksi merkitään jäännösepätasapainon suuruus grammoina sekä epätasapainon sijainti asteina. Se merkitään moottorin molemmista päistä.

**Field balancing:** Rotating mass 219.9 kg / Balancing accuracy G1 D-end: 2.8 g, N-end: 2.8 g

**Residual unbalance:** D-end: 2.0 g / 328 °, N-end: 1.9 g / 331 °

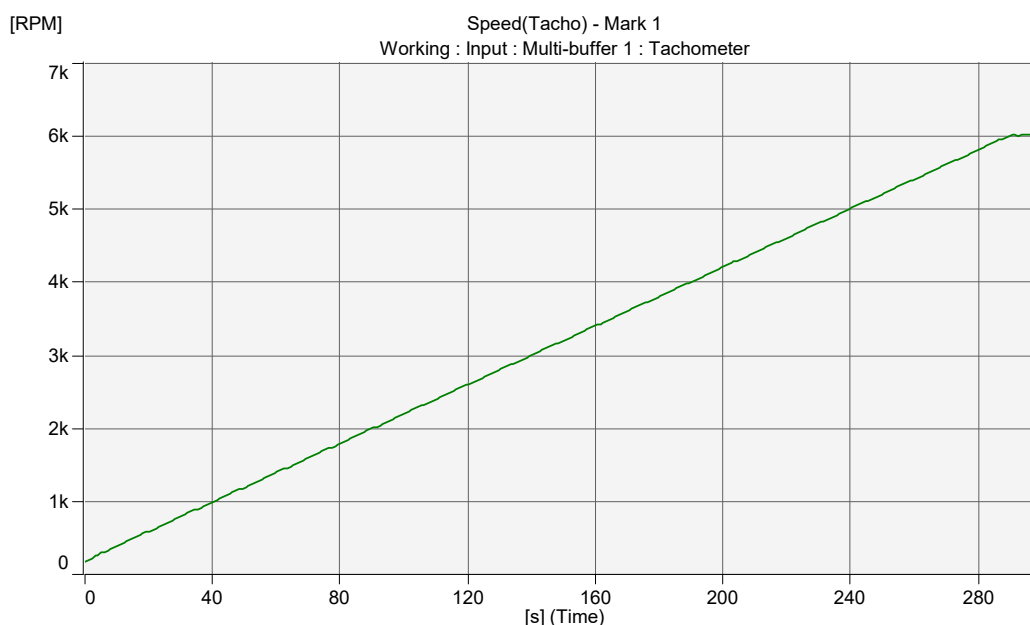
Kuva 4. Tasapainotustiedot (liite 1).

Seuraavaksi päästään itse tärinätesteihin ja niiden raportointiin. Raportti alkaa tärinäraporilla. Kuvassa 5 nähdään, mihin rampin nopeus kirjataan raporttiin.

## Ramp up curves in area 0...nominal speed 6000 rpm, RMS

Kuva 5. Tärinärampin nopeuden täyttäminen raporttiin (liite 1).

Seuraavaksi tuodaan tärinärampin tulokset raporttiin. Kuvaajat kopioidaan PULSE LabShop -ohjelmistosta ja liitetään raporttiin. Kuvassa 5 nähdään esimerkki rampin nopeuskuvaajasta. Raporttiin liitetään kolme kuvaajaa: D-pään tärinäkuvaaja, N-pään tärinäkuvaaja aksiaalisella tärinällä sekä nopeuskuvaaja. Wordissa kuvaajien kokoa muokataan raporttiin sopivaksi.



Kuva 6. Rampin nopeuskuvaaja (liite 1).

Tärinäspektrin osuus alkaa nopeudella, jolla tärinäspektri on mitattu. Se kirjataan raporttiin kuvassa 7.

## Vibration spectrum at nominal speed 6000 rpm

Kuva 7. Tärinäspektrin nopeuden täyttäminen raporttiin (liite 1).

Seuraavaksi raporttiin täytetään kuvaajat mittaustuloksista. Kuvaajat kopioidaan ja liitetään PULSE LabShop -ohjelmistosta. Kuvaajien koko sovitetaan raporttiin sopivaksi Wordissa. Kuvaajia on viisi, yksi jokaisesta mittauspisteestä. Mittauspisteet D-pään pystysuora, D-pään vaakasuora, N-pään pystysuora, N-pään vaakasuora ja aksiaalinen. Kuvassa 8 nähdään esimerkkikuva aksiaalisen mittauspisteiden tärinäspektrikuvaajasta.

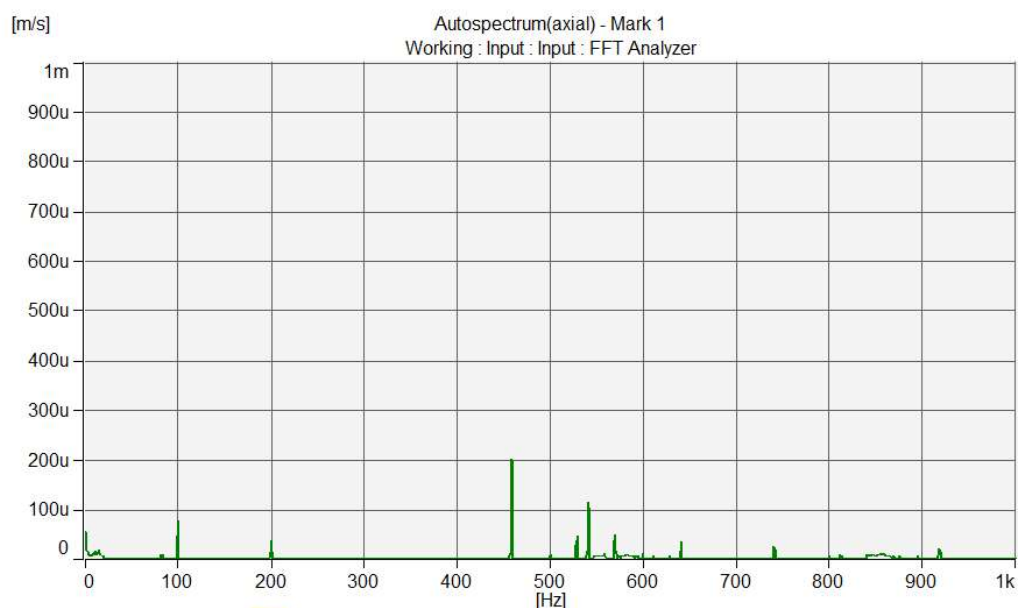
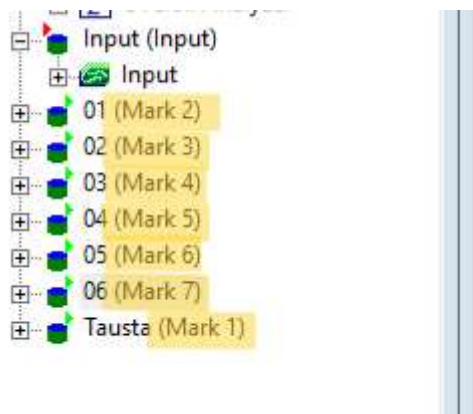


Figure 8. Axial, total level 0.3 mm/s

Kuva 8. Tärinäspektri ja tulos raportista (liite 1).

Jokaisen kuvaajan alapuolelle kirjoitetaan kyseisen mittauspisteiden kokonaistärinät. Kuvassa 8 nähdään, että esimerkki raportissa on ollut aksiaalinen tärinä 0,3 mm/s. Tulos saadaan PULSE LabShop -ohjelmistosta, josta nähdään esimerkki kuvassa 9. Ohjelmistosta valitaan oikea kuvaaja ja oikeasta reunasta saadaan tulos. Kyseisessä esimerkissä 297  $\mu\text{m/s}$ , joka pyöristetään 0,3 mm/s. Näin haetaan tulokset kaikille viidelle mittauspisteelle.





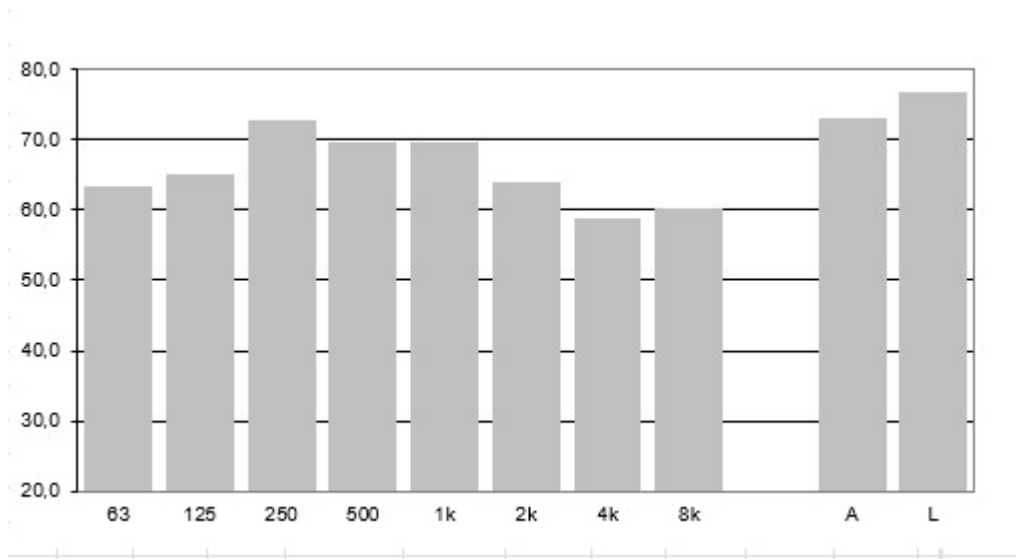
Kuva 10. Äänispektrin mittaukset PULSE LabShop -ohjelmistossa.

Äänispektrille on valmis Excel-pohja, joka tekee tarvittavat laskut ja muodostaa kuvaajat. Ensimmäinen vaihe on avata tekstitiedosto ja kopioida se Excel-pohjaan sille varattuun kohtaan. Kuvassa 11 nähdään Excel-pohjan muodostama taulukko mittaustuloksista. Taulukosta nähdään äänenvoimakkuus jokaisesta mittauspisteestä sekä taustäääni. Myös oktaavikaistat nähdään taulukossa, josta nähdään äänen jakautuminen taajuusalueittain.

Mp	Sound level $r = 1.0$					
	No-load		Octave Band			
	$L_p$ [dB(A)]		f [Hz]	$L_p$ [dB]	$K_1$	$K_2$
1	74,6		63	63,4	1,3	2,0
2	79,2		125	65,2	1,3	2,0
3	74,1		250	72,7	0,3	2,0
4	74,5		500	69,7	0,4	2,0
5	72,1		1k	69,6	0,2	2,0
6	74,0		2k	63,9	0,3	2,0
7			4k	58,7	0,2	2,0
8			8k	60,3	0,1	2,0
9						
Back-ground	62,9		A	73,1	0,3	2,0
Mean	75,4		L	76,8	0,7	2,0

Kuva 11. Äänimittausten tulokset taulukkomuodossa (liite 2).

Excel-pohjasta muodostuu myös oktaavikaistakuvaaja pylväsmuodossa (kuva 12). Nämä tulokset taulukosta sekä kuvaajasta tulevat valmiiseen raporttiin.



Kuva 12. Oktaavikaistat pylväsmuodossa (liite 2).

Pohjassa on kohta, johon täytetään testin tiedot. Kun tiedot on kirjoitettu Excel-pohjaan, ne siirtyvät raportin oikeisiin kohtiin. Kuvassa 13 nähdään tiedot, jotka täytetään testattavan moottorin tiedoilla. Tietoihin täytetään moottorin perustiedot: Moottorin tyyppi, sarja- ja kaupanumero, teho, jännite, taajuus, pyörimisnopeus. Tietoihin täytetään myös testin suorittaja, testipaikka ja päivämäärä.

<b>TEST DATA / TESTIN TIEDOT</b>	
Customer	
Machine type	M3GP 315 SMB 2 B3
Sn:o	3G1F12345678910
kW	110
Volt	400 D
Hz	50
r/min	3000
Work n:o	1234567-10
Inverter type / DOL	DOL
Tested by	JuHy
Test room	TP7
Test date	6.3.2023
Calculation	3GZF123456789-10

Kuva 13. Äänispektrimittausten tiedot.

Raportin tietoihin merkitään vielä, suoritettiin ko mittaukset kuormalla vai tyhjäkäynnillä sekä kuvitteellisten mittauspisteiden laatikon mitat (kuva 14). Kuvan 14 kohtaan kirjataan vielä ylös moottorin tuulettimen koko millimetreissä.

<b>Load:</b>	
On load = 1	
No load = 0	0
<b>Area of measurement surface/ Mittauspinnan pinta-ala</b>	
Height/Korkeus	1,65
Width/Leveys	3,00
Length/Pituus	2,20
<b>Remarks</b>	Fan Ø 165mm

Kuva 14. Äänispektrinmittauksen lisätietoja.

Lopuksi tarkistetaan, että raportti muodostui oikein Excel-pohjassa ja kaikki tarvittavat tiedot ovat täytetty. Kuvassa 15 nähdään valmiin esimerkkiraportin perustiedot. Raportti siirretään vielä Excelistä Wordiin, jossa se tallennetaan PDF-muotoon. Lopuksi siirretään raportti tietokantaan, josta se menee raportin tarkastajalle.

Test report		Machine type			Calculation
Sound pressure level		M3GP 315 SMB 2 B3			3GZF123456789-
Customer:		<b>kW</b>	<b>Volt</b>	<b>Hz</b>	<b>r/min</b>
		110	400 D	50	3000
		<b>S:no =</b>	3G1F12345678910	<b>Work =</b>	1234567-10
<b>Test code =</b>		<b>Inverter type/DOL =</b>			DOL
<b>Microphone</b>	B&K 4189-A-021	B&K PULSE Type 3050-B		<b>TP =</b>	TP7
Sound level r = 1.0		Tested			JuHy
					<b>Date</b> 6.3.2023

Kuva 15. Ääniraportin perustiedot raportissa (liite 2).

### 3 TIETOPERUSTAA

Tässä luvussa käydään läpi yleistä teoriaa läpi prosessin kehittämisestä. Lisäksi esitellään tietoa värinä- ja äänimittauksista ja miksi kyseisiä testejä tehdään. Lopussa käydään vielä lyhyesti läpi testikentällä testattavien vaihtosähkömoottoreiden teoriaa. Testattavista moottoreita suurin osa on oikosulkumoottoreita, mutta myös kestopagneettimoottoreita ja synkronisia reluktanssimoottoreita (SynRM) testataan.

#### 3.1 Prosessin kehittäminen

Prosessi koostuu toisiinsa liittyvistä tapahtumista ja tehtävistä, jotka yhdessä muodostavat kokonaisuuden (Logistiikan maailma, 2025). ISO 9001:2000-standardien (uusi julkaisu 2015) julkaisujen jälkeen prosessiajattelu ja prosessien kehittäminen ovat olleet isossa roolissa toimintajärjestelmässä (ARTER AKATEMIA, 2018). Yritysten on parannettava koko ajan kilpailukykyään. Tämä tapahtuu tarjoamalla asiakkaille parempia tuotteita ja palveluja sekä kehittämällä kustannustehokkuutta. Prosessiajattelussa päämääränä on kehittää koko toimintaa, eikä vain sen yksittäisiä osia. (Logistiikan maailma, 2025.)

Prosessien kehittäminen alkaa toiminnan kuvaamisella ja lähtötilanteen ymmärtämisellä (Lindroos, 2022). Lindroosin mukaan toiminnan kuvaaminen on hyvä aloittaa prosessikartasta ja prosessipuusta. Prosessikuvausta on hyvä rikastaa mm. malliasiakirjoilla ja työhjeistuksilla (Lindroos, 2022). Prosessien kehittämisessä on tärkeää saada mukaan prosessissa työtä tekevät ihmiset (Logistiikan maailma, 2025). Prosessien kehittämisen lähtökohtana voidaan pitää läpäisyajan lyhentämistä (Logistiikan maailma, 2025).

Lindroosin (2022) mukaan onnistuneessa prosessityössä pitää muistaa ainakin seuraavat viisi kohtaa.

1. Selkeä tavoite ja tarkoitus

2. Osallistuminen kouluttaminen
3. Prosessin kuvaaminen yksinkertaisesti ja tarvittaessa tarkentaminen
4. Varmista prosessityön jalkautuminen
5. Tuloksien tuominen esille

### **3.2 Testit**

Moottorin testaus muodostaa keskeisen osan laadunvarmistustaprosessia. Koekentällä suoritetaan laaja valikoima testejä, joilla varmistetaan moottorin suorituskyky, luotettavuus ja kestävyys. Tyypillisiä testejä ovat muun muassa tyyppitestit, rutiinitestit, prototestit sekä erilaiset tärinä- ja äänitestit.

Seuraavissa luvuissa keskitytään tärinä- ja äänimittauksiin, jotka ovat olennainen osa moottorin laadunvarmistamista. Suuret tärinät voivat muun muassa viitata mekaanisiin epätasapainoihin. Keskitytään erityisesti tärinä- ja äänitestien mittauksiin, joissa hyödynnetään Bruel & Kjaerin kehittämää PULSE-mittausjärjestelmää, joka soveltuu hyvin erilaisiin tärinä- ja äänimittauksiin.

### **3.3 Tärinämittaukset**

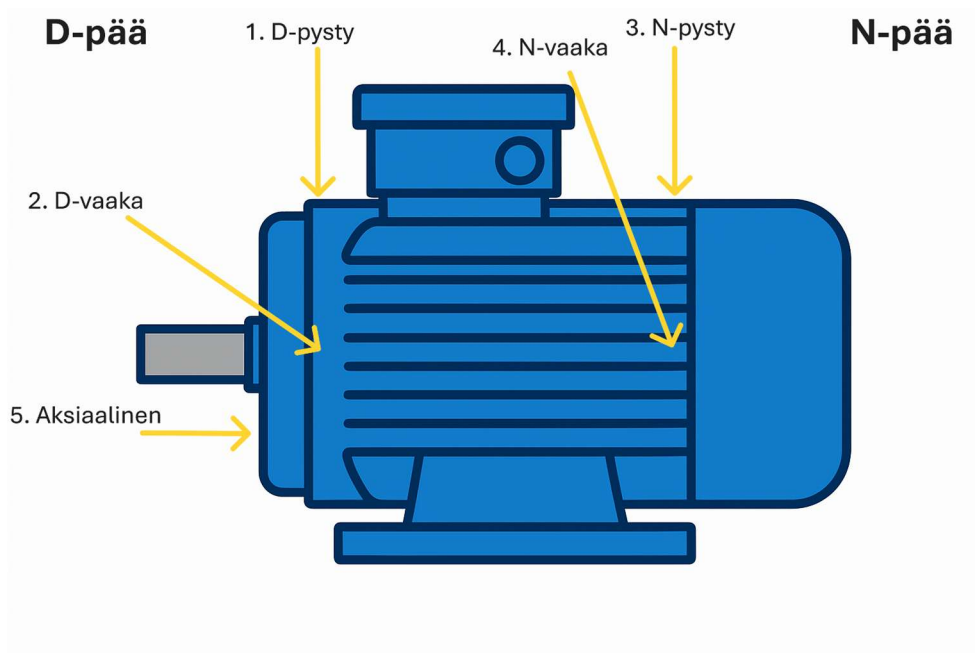
Tärinäanalyysi on yleisimmin käytettyjä menetelmiä oikosulkumootto-  
reiden vikojen tunnistamisessa (Debyan Bhaumik, 2023). Tyypillisiä vikoja, joita on löydetty tärinäanalyysin avulla, ovat mm. laakeriviat, epätasapaino ja rakenteelliset resonanssit. Sähkömoottoreiden tärinälähteitä on kahta päätyyppiä: mekaanisia ja sähkömagneettisia. Mekaaniset tärinät ovat tyypillisiä kaikille pyöriville koneille, kun taas sähköiset tärinät ovat yleisiä oikosulkumootto-  
reille (Tsytkin, 2011).

Suurimmat mekaaniset tärinät pyörivissä koneissa aiheuttavaa moottorin epätasapaino. Muita syitä mekaanisiin tärinöihin ovat, akselin taipuma

ja virheasennot sekä laakeriviat (Tsypkin, 2011). Laakeriviat johtuvat pääasiassa muista moottoreiden sähkömekaanisista vioista (Debayan Bhaumik, 2023). Myös mekaaninen löysyys ja resonanssit vaikuttavat merkittävästi mekaanisiin tärinöihin (Tsypkin, 2011).

Oikosulkumoottoreissa sähkömagneettinen tärinä johtuu sähkömagneettisten voimien vaikutuksesta moottorin roottoriin ja staattoriin (Tsypkin, 2011). Sähkömagneettinen tärinä voi myös johtua sähkönsyötöstä (Debayan Bhaumik, 2023). Oikosulkumoottoreiden kaksi pääasiallista sähkömagneettisten tärinöiden aiheuttajaa ovat: säteittäiset sähkömagneettiset voimat ja tangentialiset sähkömagneettiset voimat. Hyvin suunnitellussa ja toimivassa oikosulkumoottoreissa sähkömagneettisten voimien komponentit ovat vähäisiä (Tsypkin, 2011).

Koekentällä suoritetaan kolmenlaisia tärinämittauksia: tärinätaso, tärinäramppi ja tärinäspektri. Mittaukset suoritetaan joko joustavalla tai kiinteällä kiinnityksellä. Kaikki mittaukset suoritetaan moottorille tyhjäkäynnissä, jolloin akseli pyörii vapaasti ilman kuormaa. Mittaukset suoritetaan viidestä mittauspisteestä (kuva 16): aksiaalinen, D-pään pysty- ja vaakasuuntainen sekä N-pään pysty- ja vaakasuuntainen. Aksiaalinen tärinä on akselin suuntaista tärinää. D-pää (Drive end) tarkoittaa moottorin käyttöpäätä ja N-pää (Non-drive end) moottorin vastakkaista päätä eli ei voimansiirtoa ulospäin. Kuvassa 16 nähdään, mitä tarkoitetaan moottorin D ja N-päällä.



Kuva 16. Tärinämittauksen mittauspisteet (sähkömoottorin kuvituskuva luotu tekoälyllä ChatGPT).

Moottorin tärinätestissä mitataan IEC60034-14-standardin (2018) mukaisesti, mutta toisin kuin standardi edellyttää, ainoastaan tärinän nopeus otetaan huomioon. Tärinän nopeus ilmoitetaan mm/s. Standardin mukaan tärinämittauksissa käytetään yleisesti A- ja B-luokan hyväksymisrajoja, joista B-luokka edustaa tiukempia vaatimuksia. Standardista selviää, että joustavalla kiinnityksellä on isommat rajat. Myös moottorin runkokoolla on vaikutusta hyväksymisrajoihin.

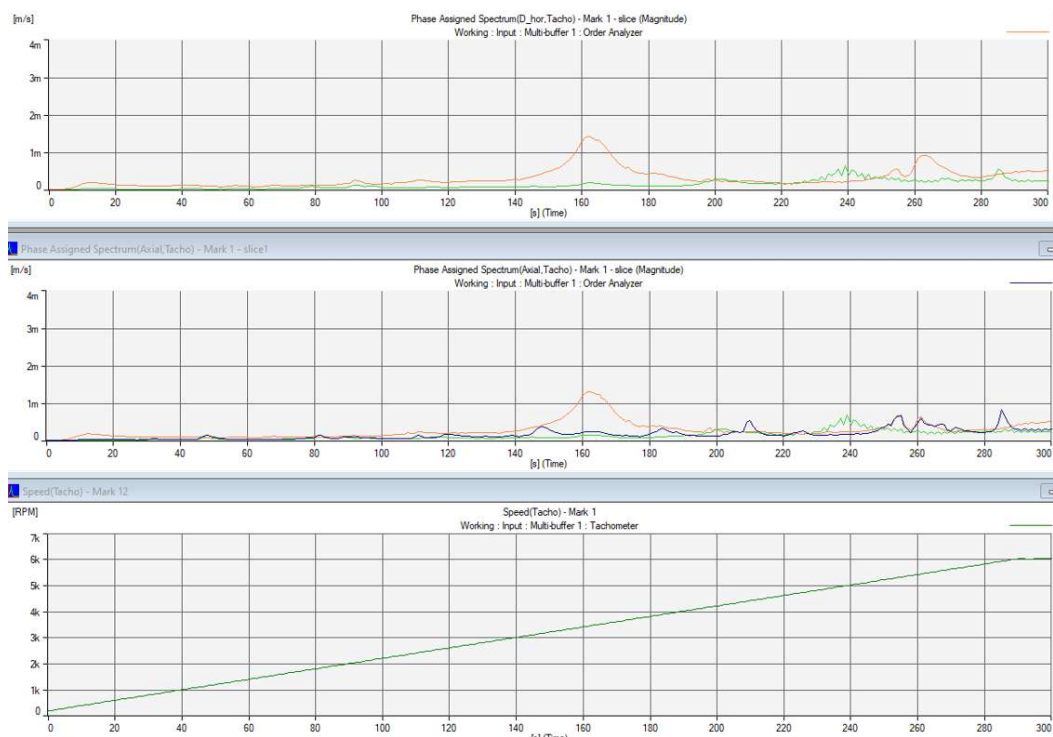
### 3.3.1 Tärinäramppi

Testissä ajetaan taajuusmuuttajalla pitkä kiihtyvä ramppi 0 rpm:stä nimelliseen tai haluttuun nopeuteen, ja tärinämittaukset suoritetaan koko kiihdytyksen ajan. Tärinämittaukset mitataan kaikista viidestä pisteestä. Testissä mitataan myös moottorin pyörimisnopeutta optisella takometrillä akselista. Testin aikana moottori on kiinnitetty kiinteästi.

Kuvasta 17 nähdään testin tuloksia eräästä sähkömoottorista. Kuvan 17 alalaidasta nähdään moottorin pyörimisnopeus ajanfunktiona. Kuvan

keskellä esitetään N-pään mittaukset sekä aksiaalinen värinä ajanfunktiona. Ylimpänä kuvassa nähdään D-pään värinämittaukset.

Värinöiden mittaamisessa käytetään järjestysanalyysiä (Order analyzer), jota käytetään pyörivien tai edestakaisin liikkuvia osia sisältävien koneiden värinän ja äänen analysointiin (Stoll, 2023). Stollin (2025) mukaan järjestysanalyysi erottaa pyörivän tai edestakaisen värähtelyn "järjestykseksi": yksittäisiksi taajuuskomponenteiksi, jotka liittyvät kierrosnopeuteen ja sen harmonisiin. Tässä tapauksessa harmoniset ovat viitekierrosluvun kerrannaisia. Viitekierrosluvun muuttuessa muuttuu myös järjestysarvo (Stoll, 2023).



Kuva 17. Tärinämittaus nopeusrampilla.

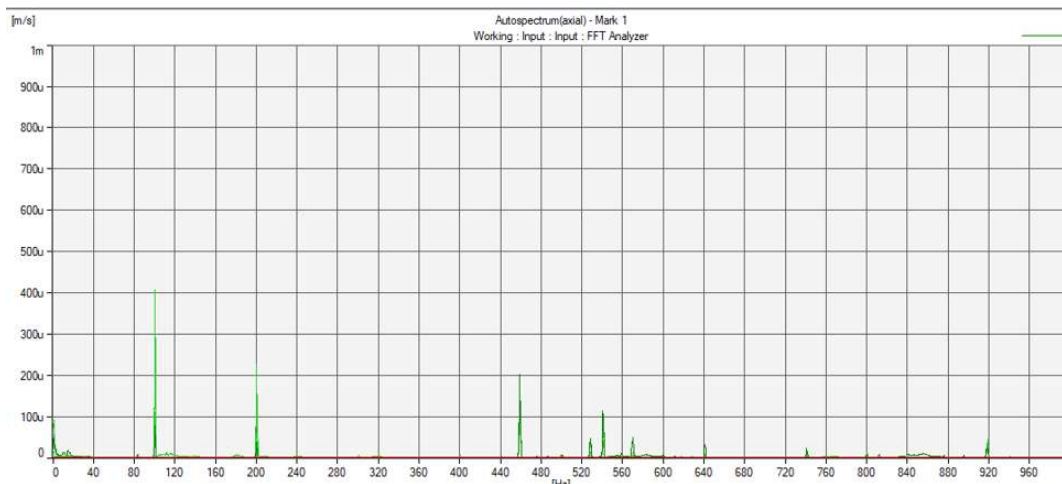
Testissä selviää tärinätasojen muutokset eri pyörimisnopeudella. Testissä selviää myös moottorin mahdolliset resonanssitaajuudet, jotka näkyvät tärinöiden merkittävänä kasvuna tietyssä nopeudessa. Kuvan 17 moottorin kuvaajassa resonanssitaajuus näkyy molempien päiden tärinäissä noin 160 sekunnin kohdalla pyörimisnopeuden ollessa noin 3500 kierrosta minuutissa.

### 3.3.2 Tärinäspektri

Tärinäspektristä selviää, mistä osataajuuksista tärinä muodostuu. Mittauksissa käytetään FFT-analyysia (Fast Fourier Transform). Se on matemaattinen menetelmä, joka muuntaa signaalin aika-alueelta taajuusalueelle. FFT-analyysi on yksi yleisimmin käytetyistä tekniikoista signaalianalyysissa. FFT-analyysin avulla voidaan tutkia signaalin ominaisuuksia syvällisemmin ja monipuolisemmin kuin aikatiejoja tarkasteltaessa. (DESWESoft, n.d.)

Kuvassa 18 on esimerkki tärinäspektristä. Kuvassa kuvaajan x-akseli edustaa taajuutta (Hz) ja y-akseli tärinän nopeutta (mm/s). Kuvasta

voidaan havaita, että voimakkain värinä esiintyy noin 100 Hz taajuudella, joka johtuu siitä, että kyseinen moottori pyörii 6000 rpm ja sen taajuus on noin 100 Hz. Lisäksi spektrissä näkyy toinen huippu kaksinkertaisella taajuudella, joka on noin 200 Hz kohdalla.

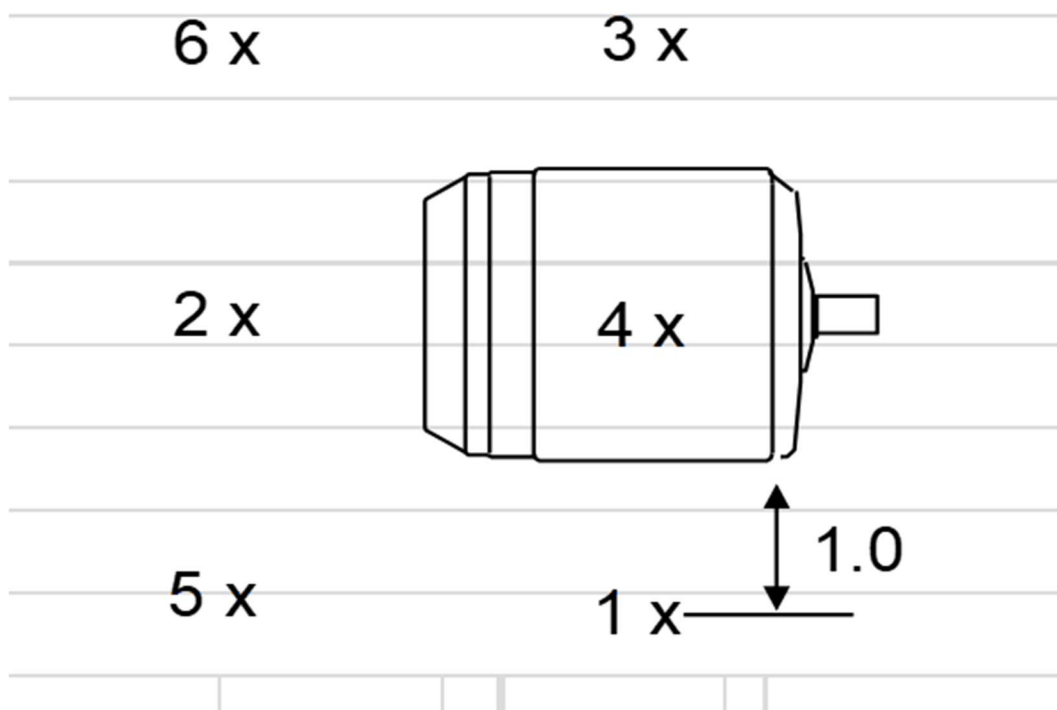


Kuva 18. Värinäspektri.

Värinäspektri mitataan myös viidestä edellä mainitusta kohdasta. Kaikista mittauspisteistä tulee yllä olevan kuvan 18 mukaiset kuvaajat. Värinäspektri mitataan yleensä nimellinopeudella.

### 3.4 Äänimittaukset

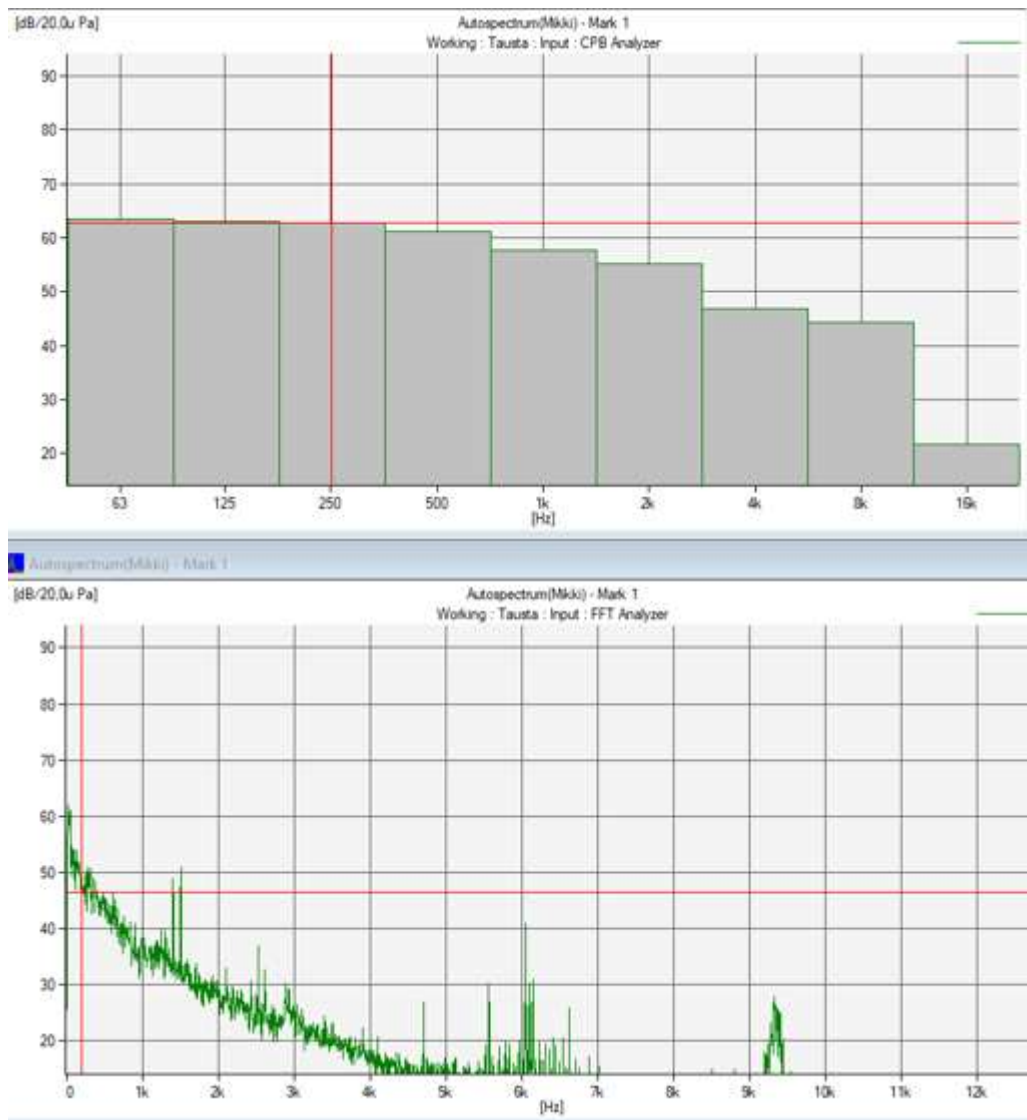
Koekentällä tehdään kahdenlaisia äänimittauksia: äänispektri ja äänitasot. Mittaukset suoritetaan standardin IEC 60034-9 (2021) mukaan. Mittaukset suoritetaan joko tyhjäkäynnillä tai kuormalla. Jos mittaukset suoritetaan kuorman kanssa, moottorin akselin päälle asennetaan äänieristyslevy, joka estää testattavaan moottoriin kuulumattomia ääniä. Moottorin ympärille on sijoitettu kuusi mittauspistettä, ja lisäksi taustääni mitataan moottorin ollessa sammutettuna. Kuvassa 19 nähdään äänimittauksen mittauspisteet, joista mittaukset suoritetaan. Mittaukset suoritetaan metrin etäisyydeltä moottorista.



Kuva 19. Äänimittausten mittauspisteet (liite 2)

Äänitasomittauksissa mitataan ainoastaan äänenvoimakkuus. Mittaukset tehdään desibelimittarilla. Äänen rakenne voidaan kuvata äänispekttrinä. Äänispektristä nähdään, mistä osataajuuksista ääni muodostuu (Korpinen, 2005).

Kuvan 20 alalaidassa nähdään äänispektri. Kuvaajan x-akseleilla on taajuus Hz ja y-akseleilla äänenvoimakkuus desibeleinä. Kuvan alalaidassa näkyy mittaustulokset spektrinä. Äänispektrissä mitataan 30 sekuntia jokaisesta mittauspisteestä. Äänispektrin mittauksessa käytetään samaan FFT-analyysia kuin värinäspektrin mittauksessa. Kuvan 20 yläosassa on taajuus jaettuna oktaavikaistoihin. Oktaavikaistoihin jakaminen tapahtuu CPB-analysointi työkalulla.



Kuva 20. Äänispektri kuvakaappaus PULSE LabShop -ohjelmistosta.

Tutkimuksia äänispektrin vianmäärityskeinoina on vähän, mutta Hüseyinin ja Germenin (2014) tutkimuksessa pystyttiin osoittamaan, että väärin kohdistetut tai vialliset laakerit pystyttiin tunnistamaan ehjistä ja oikein asennetuista laakereista. Myös rikkiäiset roottorin häkkikäämien tangot sekä oikosulku staattorin käämeissä voitiin tunnistaa ehjistä moottoreista (Hüseyin Akçay, 2014).

### 3.5 Vaihtosähkömoottorit

Vaihtosähkömoottorit ovat sähkömoottoreita, jotka toimivat vaihtosähköllä. Vaihtosähkömoottorin keksijänä pidetään Nikola Teslaa, joka keksi noin vuonna 1890, että kolmivaiheisella vaihtosähköllä saadaan aikaan pyörivä magneettikenttä (Verkkonen, 2017). Verkkosen mukaan tämä vauhditti huomattavasti vaihtosähkön yleistymistä.

Vaihtosähkökoneet jaetaan tahti- ja epätahtikoneiksi. Kun moottori kytketään 50 Hz:n sähköverkkoon, niin kaksinapainen tahtikone pyörii 3000 kierrosta minuutissa ja kaksinapainen epätahtikone hiukan alle eli siinä on jättämää (Ahoranta, 2016, s. 255). Vaihtosähkömoottorit jaetaan oikosulku-, kestromagneetti- ja reluktanssimoottoreihin niiden roottorin rakenteen perusteella (Ahoranta, 2016, s. 255). Ahorannan (2016) mukaan kuitenkin näillä kaikilla moottorityypeillä on samanlainen staattorikäänitys.

#### 3.5.1 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori on yleisin vaihtosähkömoottori. Oikosulkumoottorin nimitys tulee roottorin oikosuljetusta häkkikäänityksestä. Oikosulkumoottoria kutsutaan myös epätahti- ja induktiomoottoriksi. Induktio-moottorin nimitys tulee siitä, että staattorin pyörivä magneettikenttä indusoi roottorikäänityksen virran. Epätahti-nimitys taas tulee siitä, että roottori pyörii staattorikenttää hitaammin eli siinä on jättämää. (Ahoranta, 2016, s. 257-258.)

Ahorannan mukaan moottorit koostuvat kiinteästä osasta, jota kutsutaan staattoriksi ja pyörivästä osasta, jota kutsutaan roottoriksi. Verkkosen mukaan oikosulkumoottorin tärkeimmät osat ovat staattori staattorikäänneeseen sekä magneetti-piireineen ja pyörivä osa roottori, jossa on käänit ja magneetti-piiri. Roottorin ja staattorin väliin jää ilmaväli, jonka kautta magneetti-piirissä kulkeva vuo kulkee kaksi kertaa (Verkkonen, 2017).

Oikosulkumoottori on hyvin yksinkertainen ja se vaatii vähiten huoltoa muihin moottorityyppeihin verrattuna. Moottori ei esimerkiksi tarvitse muita apulaitteita tai hiiliharjoja (Verkkonen, 2017). Yksinkertainen rakenne, vähäinen huoltotarve sekä massatuotanto ovat syitä, miksi oikosulkumoottori on yleensä halvempi kuin muut vaihtosähkömoottorit. Oikosulkumoottori voidaan asentaa vaativiinkin olosuhteisiin kuten kosteisiin ja pölyisiin tiloihin.

### **3.5.2 Reluktanssimoottori**

Reluktanssimoottori eroaa oikosulkumoottorista roottorin osalta. Reluktanssimoottorin roottori koostuu levyistä, joihin on tehty ilma-aukkoja. Nämä aukot ohjaavat staattorin magneettivuon kulkemaan roottorin rautaosien kautta (Ahoranta, 2016, s. 257). Synkroninen reluktanssimoottori on tahtikone. Tahtikoneissa moottorin pyörivä osa roottori pyörii staattorin magneettikentän kanssa samaa nopeutta. Verkkosen (2017) mukaan reluktanssimoottorit vaativat taajuusmuuttajan. Ensimmäinen reluktanssimoottori keksittiin vuonna 1838 (ABB, 2021). Ensimmäinen tahtireluktanssimoottori keksittiin jo vuonna 1923, mutta sen aikaisen ohjattavuuden takia moottoreita ei pystytty käyttämään tehokkaasti (ABB, 2021).

ABB oli ensimmäinen, joka toi markkinoille nykyaikaisen tahtireluktanssiteknologian. ABB:n IE5 synkroniset reluktanssimoottorit ovat luotettavia ja tehokkaita moottoreita. Ne edustavat markkinoiden energiatehokkainta moottoritekniologiaa (ABB, 2021).

### **3.5.3 Kestomagneettimoottori**

Kestomagneettimoottorin roottorissa on pinnalle tai upotettuna roottoriin kestopagneetteja. Roottorin kestopagneetit seuraavat staattorikentän magneettinapoja, minkä takia kestopagneettimoottori pyörii tahdissa (Ahoranta, 2016, s. 256). Ahorannan (2016) mukaan kestopagneettimoottoria ei kytketä suoraan verkkoon, koska se vaatii taajuusmuuttajan.

Verkkosen (2017) mukaan kestopagneettikoneet ovat viime vuosina yleistyneet erityisesti tuulivoimaloissa ja ajoneuvoissa. Kestomagneettimoottorien kasvavan suosion taustalla on energiatehokkuus. Kestomagneettimoottorin hyötysuhde pysyy korkeana laajalla kierroslukualueella (Škoda Auto, 2024).

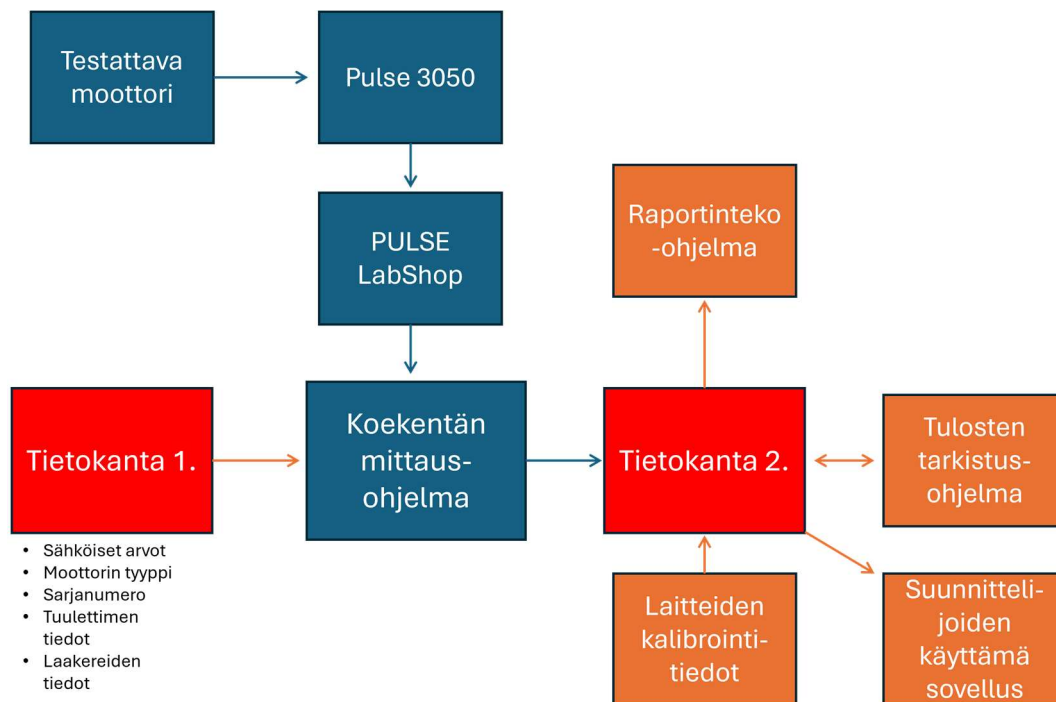
## 4 KEHITTÄMISPROSESSIN KUVAUS

Tärinä- ja äänimittausten prosessien kehittämisen tarkoituksena on saada kaikki koekentällä suoritettavat mittaukset osaksi yrityksen yhteisestä mittausprosessista. Tämä mahdollistaa mittauksien tehokkaan raportoinnin ja hyödynnettävyyden yritysten muille osastoille. Tässä luvussa käydään läpi, kuinka on mahdollista saada nykyinen mittausjärjestelmä osaksi mittausprosessia.

### 4.1 Prosessin kuvaaminen

Kuviossa 3 esitellään tavoitellun mittausprosessin kulku vaiheittain alusta loppuun. Prosessikuvaaja on yksinkertaistettu versio Pantin (2025) prosessikaaviosta. Prosessi alkaa testattavasta moottorista ja etenee kohti valmista raporttia. Kuvioista voidaan päätellä ja nähdä, että tämänhetkiset Pulsella suoritettavat tärinä- ja äänispektrimittaukset (kuvio 1 ja kuvio 2) kulkevat kokonaan ohi halutusta mittausprosessista.

Jotta PULSE LabShop -ohjelmistolla suoritettavat tärinä- ja äänimittaukset voidaan integroida osaksi alla olevan kuvio 3 mukaista mittausprosessia, on PULSE LabShop -ohjelmisto ja koekentän mittausohjelma saatava kommunikoida keskenään. Myöhemmin tässä kappaleessa käydään läpi, kuinka ohjelmien välille saadaan yhteys. Muut koekentällä suoritettavat mittaukset ovat jo osana nykyistä mittausprosessia, joten tietokannat ja tarvittavat ohjelmat ovat jo valmiina.



Kuvio 3. Prosessin kuvaus testattavasta moottorista raportiksi (Pantti, 2025).

Prosessin tietokannasta 1 saadaan paljon tarvittavia tietoja raporteihin. Tietokannasta saadaan mm. moottorin sähköiset arvot mittauksiin. Tietokanta 2 on tärkeä mittaustulosten kannalta, sen kautta kulkevat mittaustulosten tarkistus kuin raportinteko-ohjelma. Myös suunnittelijat näkevät mittaustulokset tämän tietokannan kautta.

## 4.2 Yhteyden muodostaminen OLE 2.0

Seuraavaksi tutkitaan ja esitellään ratkaisu PULSE LabShop -ohjelmiston integroimiseksi osaksi yritysten omaa mittausohjelmaa. Tavoitteena on mahdollistaa erilaisten värinämittausten sekä äänispektrimittauksen sujuva liittäminen osaksi yrityksen vakiintunutta mittausprosessia. Tämän avulla mittaustulokset voidaan siirtää suoraan yrityksen omaan tietokantaan, mikä parantaa raportoinnin tehokkuutta sekä mittaustulosten tarkastamista. Seuraavaksi tutustutaan yhteyden muodostamiseen Brüel & Kjærin tarjoamaan ratkaisuun PULSE LabShop -ohjelmistolla.

Ratkaisu yhteyden muodostamiseksi on OLE 2.0 -teknologia, jota nykyinen PULSE LabShop -ohjelmisto tukee. OLE on Microsoftin kehittämä tekniikka, jonka avulla käyttäjät pystyvät luoda ja muokata asiakirjoja, jotka sisältävät useiden sovellusten luomia kohteita. OLE on alun perin lyhennys sanoista Object Linking and Embedding (Objektien linkittäminen ja upottaminen). Nykyään sitä kutsutaan vain OLE:ksi. (Microsoft, 2022.)

OLE 2.0 tekniikka mahdollistaa PULSE LabShop -ohjelmiston objektien määrittämisen ja ohjaamisen ulkoisella ohjelmalla. Ohjelman käyttöohjeiden mukaan OLE 2.0 -ohjelmalla voidaan automatisoida yhden tai useita määriteltyjä tehtäviä. Ohjelmalla on mahdollista muun muassa hoitaa mittausprojekti, joka sisältää mittauksen aloittamisen, useat mitaukset ja tulosten näyttämisen. (Bruel & Kjær, 2018.)

Visual Basic -ohjelmia (VB) voidaan hyödyntää PULSE-ohjaukseen OLE 2.0 -automaatioliittymän kautta. OLE 2.0 tarjoaa mahdollisuuden useille eri mittausratkaisuille samalla PULSE-järjestelmällä. Käyttämällä eri projekteja on mahdollista luoda jokaiselle projektille omat konfiguraatiionsa, mittaus-, toiminta- ja näyttöasetukset. PULSE LabShop -ohjelmisto on koodattu Visual C++:lla. (Bruel & Kjær, 2018.)

OLE 2.0 tekniikalla PULSE LabShop -ohjelmistoa ohjattaisiin ja käskytetäisiin koekentän omasta mittausohjelmasta. PULSE LabShop -ohjelmistossa olisi valmiit mittauspohjat (template) erilaisille tärinämittauksille sekä äänispektrille. Yrityksen omaan mittausohjelmaan rakennettaisiin aliohjelmat tarvittaville mittauksille. Aliohjelmien rakentamisesta ja tarvittavista tiedoista lisää luvussa viisi.

Visual Basic -ohjelmia voidaan käyttää ohjaamaan PULSE LabShopia sen OLE 2.0 -automaatioliittymän kautta. Vuorovaikutuksen kaksi päätekiijää ovat:

1. Sovellus, joka toimii automaatio-ohjaimena ja jota voidaan kirjoittaa Visual Basic -ohjelmointikielellä

2. PULSE-järjestelmän tarjoamat objektit, jotka ovat käytettävissä automaatiokomponentteina (Automation Components) Visual Basic -sovelluksessa  
(Bruel & Kjær, 2018)

Bruel & Kjærin PULSEN käyttöohjeista löytyvästä kohdasta "PULSE Connect" käsitellään PULSE LabShopin ja Visual Basicin välistä ohjelmointia. Koodissa käydään läpi konfiguroinnin hallintaa ja synkronointia. Ohjelman käyttöohjeiden dokumentaatio "Documentation for the Pulse Time OLE Automation interface" taas sisältää Visual Basicilla kirjoitetun malliohjelman, josta selviää kuinka päästään Pulse Time -komponentteihin Pulse.Application-rajapinnan kautta sekä paljon muita esimerkkejä. (Bruel & Kjær, 2018.)

Uusien PULSE-projektien luomiseen ja hallintaan OLE-sovelluksella suositellaan:

1. PULSE-projektin luominen manuaalisesti PULSE LabShopissa
2. Projektin tallennus tiedostoon
3. Projektin avaaminen OLE-sovelluksessasi
4. OLE-objektien yhdistäminen

Myös tähän uuden projektin luomiseen löytyy hyvät yksityiskohtaiset ohjeet käyttöohjeista "Working with New PULSE Projects" (Bruel & Kjær, 2018).

Yhdistettävät automaatio-objektit ja näihin esimerkit, kuinka ohjelmoidaan, löytyy käyttöohjeiden kohdasta "PULSE OLE Automation Objects". Muutama esimerkki käytössä olevista objekteista:

- "DisplayGroup Object" voidaan hallita useita näyttöjä yhdessä objektissa.
- "Recording Object" Tallennus, jolla voidaan määrittää mm. kuinka kauan tallennus on kestänyt ja määrittää tallenteen pituuden.
- "FFTAnalyzer Object" mahdollistaa useiden FFT-analysoidien samanaikaisen käytön.

OLE 2.0 teknologian hyvinä puolina voidaan pitää saumatonta integrointia sovellusten välillä. Sillä voidaan tehdä objektien upottaminen, linkittäminen ja automaatio. Se tehostaa ja nopeuttaa toimintaa, koska ei tarvitse vaihtaa sovellusten tai ohjelmien välillä. Myös laaja yhteensopivuus Microsoft ja Windows -ympäristössä kuuluu hyviin puoliin. Huonona puolena voidaan pitää hieman vanhahtavaa tekniikkaa sekä sitä, että sillä on huono yhteensopivuus tiettyjen alustojen kanssa.

Ohjelmiston käyttöohjeista ei löydy yksiselitteistä vastausta siihen, että edellyttääkö OLE 2.0 toiminnallisuus lisälisenssiä tai mitä lisenssejä sen käyttöönotto vaatii. Dokumentaatiossa on ainoastaan maininta, että mikäli yhteyttä ei saa muodostettua ohjeiden ja esimerkkien avulla, tulee ottaa yhteyttä oman maan tekniseen tukeen. (Bruel & Kjær, 2018.)

## **5 HALUTUN KEHITTÄMISTOIMINNAN TULOKSEN KUVAUS**

Tässä luvussa käydään läpi, mikä on haluttu lopputulos, kun mittausohjelmat on rakennettu ja koodattu asiantuntijan toimesta. Luvussa syvennytään mittaustapahtumiin sekä aliohjelmiin tarvittaviin tietoihin. Sekä käydään läpi, mitä tietoja testin suorittaja täyttää ohjelmaan ja valitsee vaihtoehdoista. Lopussa perehdytään myös mittaustulosten tarkastamiseen; mitkä tiedoista olisi tarkoitus tarkistaa ja kuinka ne olisi mahdollista toteuttaa.

### **5.1 Mittausohjelmien rakentaminen**

Mittauksille täytyy suunnitella uusia aliohjelmia yrityksen jo olemassa olevaan mittausohjelmaan. Aliohjelmia täytyy rakentaa kolme:

- tärinäramppi
- tärinäspektri
- äänispektri

Seuraavaksi käydään läpi, mitä jokainen aliohjelma tarvitsee toimiakseen toimivana mittausohjelmana kyseisille mittauksille. Mittausohjelmaohjelma avataan testattavan moottorin sarjanumerolla ja valitaan oikea aliohjelma mittauksia varten. Aliohjelmista on tarkoitus saada mahdollisimman yksinkertaisia ja helppokäyttöisiä mittausten suorittajalle.

#### **5.1.1 Tärinäramppi**

Tärinäramppin aliohjelmassa mitataan kokonaistärinöitä ajanfunktiona, kun moottorin nopeus muuttuu tasaisesti nollasta haluttuun nopeuteen. Tärinäramppin aliohjelmaan tulee saada kolme kuvaajaa rampista:

- Moottorin D-pään tärinät (Order Analyzer)
- Moottorin N-pään tärinät + aksiaalinen (Order Analyzer)
- Pyörimisnopeus

Ensimmäinen kuvaaja on D-pään värinöistä, jossa piirtyy pystysuuntainen ja vaakasuuntainen värinä. Toiseen kuvaajaan tulee N-pään värinät, jossa on pysty, vaaka ja aksiaalinen. Näiden kuvaajien y-akselilla on värinän nopeus yksikkönä mm/s. Kuvaajan x-akselilla kulkee aika sekunneissa. Kolmanteen kuvaajaan tulee pyörimisnopeus takometriltä. Tämän kuvaajan y-akselille pyörimisnopeus r/min ja x-akselille aika sekunneissa. Värinöiden ja kierrosnopeuden tulee piirtyä reaaliaikaisena kuvaajille aliohjelmassa.

Aliohjelmaan lisätään vain tarvittavat napit, joista ohjataan mittauksia. Kaikkien kuvaajien mittaukset käynnistetään yhdestä napista ja lopettaminen tapahtuu toisesta painikkeesta. Ohjelmasta on myös hyvä saada värinäspektrimittaus nopeasti auki, koska värinärampin jälkeen otetaan monesti värinäspektri. Alla on listattu aliohjemaan tarvittavat painikkeet:

- Mittausten aloittaminen
- Mittausten lopettaminen
- Mittausten tallentaminen tietokantaan
- Uuden mittauksen ottaminen
- Siirtyminen värinäspektrin mittaukseen

Mittauksia täytyy voida ottaa useampi samalla pyörimisnopeudella ja myös mahdollisesti eri nopeudella. Joidenkin testattavien moottoreiden kohdalla moottoria pitää lämmittää pyörittämällä moottoria ja samalla seurata värinöiden muuttumista. Tämä onnistuu hyvin, kun värinät päivittyvät liveinä aliohjelman kuvaajiin. Kuvaajien x-akselilla kulkevan mittausajan suuruutta pitää pystyä muuttamaan helposti, koska tämä helpottaa värinöiden seuraamista lämmittämisessä. Myös y-akselilla olevan värinän skaalausta pitää pystyä muuttamaan. Ohjelman olisi hyvä myös poimia värinöiden huippuarvo rampin ajalta ja kirjoittaa se sille varattuun paikkaan ohjelmassa.

Aliohjelmassa tulee olla kohtia, joihin testin suorittaja merkitsee/valitsee oikean tiedon. Näitä tietoja ovat:

- Pyörimisnopeus (ruksille paikka kertoimelle x1,2)
- Tasapainotuskiekkojen säteet
- Mittausten suorittaja
- Moottorin asennustapa
- Jännite
- Paikat tasapainotustiedoille

Rampin nopeudelle tulee olla kohta, johon merkitään tärinärampin nopeus. Tämä nopeus tulee sitten kaava, joka esitellään luvussa 5.2.2 Epätasapaino. Joidenkin moottoreiden nopeus kerrotaan 1,2:lla tasapainotuksen kaavaan, joten nopeuden kohtaan on hyvä sijoittaa ruksille kohta, johon voi laittaa ruksin, jos tasapainotuksen laskentaan kerrotaan nopeus.

Testin suorittajalle tulee olla kohta, josta ilmenee, kuka on tehnyt mittaukset ja onko moottorin asennus kiinteä vai joustava. Ohjelmaan on hyvä lisätä myös epätasapainolle kohta, koska tasapainotukset suoritetaan kyseisessä ohjelmassa. Täyttyviä kohtia tulee olla molemmille D ja N-pään tiedoille. Kohdat tulee olla epätasapainon suuruudesta, johon merkitään tulos grammoina sekä epätasapainon sijainti asteina. Nämä tiedot saadaan erilliseltä tasapainotuslaitteelta. Lisäksi tarvitaan myös kohta jännitteen suuruudelle ja kytkennälle, jolla testi on suoritettu. Testin päivämääräksi ohjelma ottaa kyseisen päivämäärän, jolloin testi on suoritettu.

### **5.1.2 Tärinäspektri**

Tärinäspektrin aliohjelman tulee voida avata joko yksinään pelkästään tärinäspektrin mittaukseen tai tärinärampin mittausohjelmasta, koska tämä helpottaa monia mittauksia. Aliohjelman kuvaajat:

- Tärinäspektrin kuvaaja (FFT Analyzer)

Kuvaajan x-akselilla on taajuus (Hz) ja y-akselilla tärinän nopeus (mm/s). Mittauksen käynnissä ollessa kuvaajassa näkyy kaikki viisi mitauspistettä. Aliohjelmassa on kuitenkin mahdollisuus valita yksittäinen

mittauspiste näkyviin ja tarkastella sitä tarkemmin. Raporttiin kaikista mittapisteistä tulee oma kuvaaja. Ohjelmaan kohta, josta näkee jokaisen mittauspisteen kokonaistärinännopeuden numeroina yksikössä mm/s. Mittauspisteet ovat:

1. D-pään pystysuuntainen
2. D-pään vaakasuuntainen
3. N-pään pystysuuntainen
4. N-pään vaakasuuntainen
5. aksiaalinen

Itse mittaustapahtumasta on tarkoitus tehdä mahdollisimman yksinkertainen. Aliohjelma ei tarvitse montaa painiketta toimiakseen. Painikkeita ovat:

- Mittausten aloittaminen
- Mittausten tallentaminen tietokantaan
- Uuden mittauksen ottaminen
- Myös joku merkki, että mittaukset käynnissä

Mittausten aloittaminen on painike, josta käynnistetään mittaukset, kun mittaukset valmiina suoritettavaksi. Mittausten ollessa käynnissä tulee olla jokin ilmaisin. Mittausprosessi voidaan automatisoida, että mittaus-ten valmistuttua ohjelma lopettaa mittaamisen itsestään. Tämän jälkeen on mahdollisuus tallentaa mittaustulokset kantaan tai uusia mittaus, joko uudestaan samaan versioon tai uuteen versioon eri nopeudella.

Tässäkin aliohjelmassa tulee olla kohtia, joihin testin suorittaja merkitsee/valitsee oikean tiedon. Näitä tietoja ovat:

- Pyörimisnopeus
- Mittausten suorittaja
- Moottorin kiinnitystapa
- Jännite

Kohtaan pyörimisnopeus voidaan kirjoittaa moottorin pyörimisnopeus, jolla mittaukset on suoritettu. Aliohjelmassa tulee olla kohta, josta selviää, että kuka on suorittanut mittaukset. Kohdat myös moottorin kiinnitystavalle, josta selviää, onko testi suoritettu kiinteästi vai joustavasti. Myös jännitteen suuruudelle ja onko kytkentä ollut kolmio vai tähti.

### 5.1.3 Äänispektri

Äänispektrin aliohjelma voisi olla hyvin yksinkertainen. Moottorista kuvituskuva ja sen ympärille sijoitetut kuusi mittauspistettä + tausta. Mittauspisteen kohdalta voisi käynnistää kunkin mittauksen ja sekuntikello rupeisi käymään mittauksen vieressä ja pysähtyisi 30 sekunnin kohdalle, mikä on mittausaika. Jos mittaus on epäonnistunut jostain syystä, niin sen voisi ottaa uusiksi tai siirtyä seuraavaan mittauspisteeseen. Jokaisen mittauspisteeseen kaksi painiketta, jotka ovat:

- Mittausten aloittaminen
- Uudelleenmittaus
- Sekuntikello lähtee käyntiin, kun mittausaloitetaan

Kun kaikki mittauspisteet ovat mitattu, voidaan tallentaa yhdestä painikkeesta mittaustulokset tietokantaan.

Tarvittavat kuvaajat raporttiin:

- Oktaavikaistat, laskennan kautta kaikkien saatutulos kaikista mittauspisteistä (CBP Analyzer)

Mittauksen suoritettua mittauspisteeseen tulisi äänenvoimakkuus desibeleinä. Tämä ilmaisisi, että mittauspiste on mitattu. Moottorin puolet ovat katsottuna moottorin akselipäästä kohden. Mittauspisteet ovat:

1. Moottorin vasen puoli
2. Moottorin N-pää
3. Moottorin oikea puoli
4. Moottorin ylhäältä

5. Takavasen
6. Takaoikea  
+ tausta

Kun kaikki kuusi mittauspistettä ja tausta ovat mitattu, saadaan taustalla olevan laskennan kautta tulokset oktaavikaistoina taulukkoon ja kuvaajaan. Jokaisesta mittauspisteestä napsauttamalla saisi mahdollisesti lisää tietoa ja näkisi kyseisen mittauspisteen äänispektrin. Lisäksi olisi mahdollisuus tehdä helposti useita mittauksia eri versioihin esimerkiksi eri kuormilla sekä nopeuksilla.

Aliohjelmaan täytettäväksi/valittavaksi kohdaksi:

- Mittausten suorittaja
- Taajuusmuuttaja vai DOL
- Jännite
- Kuorma vai tyhjäkäynti
- Pyörimisnopeus/taajuus
- Mittauspisteiden mitat 3 kpl

Myös tähän ohjelmaan tulisi paikka mittausten suorittajalle. Äänimitauksissa on tärkeää tietää, onko mittaukset suoritettu taajuusmuuttajalla vai suoralla sähköllä. Sille pitää siten olla valinta, samoin jännitteen suuruudelle sekä kytkennälle. Tärkeä tieto on myös se, että suoritettiin testit tyhjäkäynnissä vai kuormalla. Jos ne suoritettiin kuormalla, mikä oli kuorman suuruus. Myös pyörimisnopeudelle on hyvä olla kohta täytettävänä. Ohjelmassa on oltava paikat myös kuvitteellisille mittauspintojen mitoille metreinä (korkeus, leveys ja syvyys).

## **5.2 Tulosten tarkistus**

Mittausten tekijät tarkistavat, että mittaustulokset ovat hyväksyttäviä ja vaadittavien rajojen sisällä. Mahdollisten epähuomioiden ja laadun

varmistamiseksi on hyvä tehdä tulosten tarkistaminen prosessiin. Kyseisistä tärinä- ja äänimittauksista tarkastettavat tulokset ovat:

- Kokonaistärinän suuruus mittapisteissä
- Jäännösepäatasapaino D ja N-pää
- Äänenvoimakkuus

Tärinän ja tasapainotukseen on selkeät rajat, joihin verrata tuloksia. Perehdytään seuraavaksi tärinän ja tasapainotuksen rajoihin sekä siihen, kuinka nämä olisi mahdollista toteuttaa. Myös äänenvoimakkuudelle on moottorinkatalogissa sallittu tai ilmoitettu äänenvoimakkuus jokaiselle moottorityypille, jonka lähelle tai alle mittauspisteistä laskettu keskiarvo pitäisi olla.

### **5.2.1 Tärinät**

Mittausten rajat ja tiedot löytyvät IEC60034-14-standardista (2018). Tärinämittausten tuloksien hyväksymiseen vaikuttavia tekijöitä ovat: 1. Moottorin kiinnitystapa eli onko moottori ollut mittausten aikana kiinteästi vai joustavasti asennettu. 2. Tärinäluokka. Tärinäluokat ovat A- ja B-luokka. B-luokassa on tiukemmat vaatimukset. 3. Moottorin runkokoko. Moottorin runkokoko vaikuttaa jossakin tilanteissa rajoihin. Esimerkiksi pieni alle 132 runkokooltaan olevan moottorin rajat ovat B-luokassa paljon pienemmät.

Tulosten tarkistusohjelman on haettava kannasta siis seuraavat tiedot: Tärinäluokka, kiinnitystapa ja runkokoko. Näiden tietojen pohjalta rakennetaan tarkistaminen, että kokonaistärinät eivät ylitä sallittua. Kokonaistärinät otetaan tärinäspektrimittauksista. Mahdollisesti myös tärinäramppiin haetaan huippuarvo ja sitä tarkastellaan sallittuun.

### **5.2.2 Jäännösepäatasapaino**

Moottorin tasapainotuksessa seurataan SFS-ISO 21940-11 (2017) standardia. Aiemmin on noudatettu standardia ISO 1940, mutta päivitysten jälkeen tämä standardi ISO 21940-11 korvaa tämän. Standardissa on

useita laatuluokkia. Laatuluokka vaikuttaa jäännösepätasapainon laskentaan ja sen suuruuteen. Tasapainottamisessa seurataan jäännösepätasapainon määrää. Sallittuun epätasapainoon ei ole tiettyä lukua vaan se lasketaan jokaiselle kohteelle erikseen. Sen suuruuteen vaikuttavat tasapainotettavissa moottoreissa:

1. Tasapainotusluokka
2. Roottorin massa
3. Pyörimisnopeus
4. Tasapainotuskiekkujen säteet

Tasapainotuksessa mitatun jäännösepätasapainon määrän tulee olla aina alle laskennallisen sallitun. Käytännössä kaikki koekentälle tasapainotukseen tulevat moottorit tasapainotetaan luokkaan G 1. Standardin mukaan monille sähkömoottoreille riittää luokka G 2,5 ja joillekin jopa G 6,3. Mitä suurempi numero laatuluokassa on, sitä suurempi jäännösepätasapaino sallitaan. Standardin mukaan sallitun jäännösepätasapainon suuruus voidaan määritellä eri menetelmillä.

Kaavalla 1 lasketaan moottorin roottorin sallittu epätasapaino tasapainotuksessa, kun tiedetään moottorista tarvittavat tiedot.

$$U_{\text{per}} = \frac{G \cdot m}{2 \cdot \pi \cdot n / 60 \cdot r} \quad (1)$$

Missä

$U_{\text{per}}$  on sallittu epätasapaino grammoina.

G on tasapainotusluokka, johon moottori tasapainotetaan.

$m$  on moottorin roottorin massa kilogrammoina.

$n$  on moottorin suurin pyörimisnopeus kierroksina minuutissa.

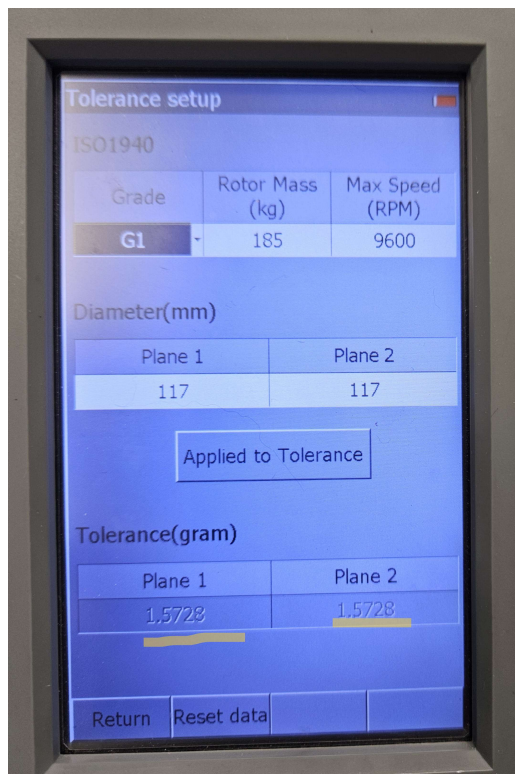
$r$  on tasapainotuskiekon säde metreinä.

Testasin kaavan toimivuutta rakentamalla esimerkkipohjan Exceliin, joka näkyy kuvassa 21 ja vertailin tuloksia tasapainotuslaitteen laskennan tuloksiin (kuva 22). Tulokset olivat yhtenäisiä ja näin ollen voidaan luottaa kaavaan. Molempien laskentojen vastaukset olivat 1,57 grammaa. Testasin laskentaa useammalla eri lähtöarvoilla.

Tasapainoitusluokka G	1	
Moottorin nimellisnopeus	9600	rpm
Roottorin massa	185	kg
Tasapainotuskiekon säde D-pää	117	mm
Tasapainotuskiekon säde N-pää	117	mm
<b>Sallittu epätasapaino D-pää</b>	<b>1,57</b>	<b>g</b>
<b>Sallittu epätasapaino N-pää</b>	<b>1,57</b>	<b>g</b>

Kuva 21. Exceliin rakennettu laskenta sallitusta jäännösepätasapainosta.

Aliohjelman sisälle on tarpeellista rakentaa kyseinen laskenta. Laskenta auttaa laadunvarmistamisessa ja mittaustulosten tarkastamisessa. Moottorin jäännösepätasapainon tulokset saadaan tasapainotuslaitteelta, josta testin suorittaja kirjaa ne mittausohjelmaan.



Kuva 22. Sallitun jäännösepatasapainon laskenta tasapainotuslaitteella.

### 5.3 Raportteihin tarvittavat tiedot

Seuraavaksi käydään läpi, mitä tietoja raportteihin tarvitaan. Äänispektriraporttiin tarvittavat tiedot ovat:

- Oktaavikaistat pylväskuvaajana
- Äänenvoimakkuudet taulukossa
- Taajuuskaistojen voimakkuudet taulukossa
- Kauppanumero
- Sarjanumero
- Päivämäärä
- Moottorin tyyppi
- Testin suorittaja
- Pyörimisnopeus/taajuus
- Jännite ja kytkentä
- Kuorma vai tyhjäkäynti
- Mahdollisen kuorman suuruus
- Taajuusmuuttaja vai DOL
- Mittalaitteisto
- Mittauspisteiden mitat
- Moottorin tuuletin

Tiedot laajaan tärinäraporttiin (tasapainotus, ramppi, spektri):

- Rampit (D ja N-pään tärinät sekä nopeuden kuvaaja)
- Spektrit (5 kuvaajaa) ja niiden kokonaistärinät numeroina
- Moottorin tyyppi
- Kauppanumero
- Sarjanumero
- Päivämäärä
- Moottorin kiinnitystapa
- Jännite ja kytkentä
- Testin suorittaja
- Erillistuuletin vai kiinteä
- Mittalaitteisto
- Pyörimisnopeus
- Jäännösmassat (D ja N-päästä)
- Sallittu jäännösmassa
- Roottorin massa
- Testissä käytössä ollut taajuusmuuttaja

Käydään läpi yhteenvetona kappaleesta, miten mitkään tiedot on tulevaisuudessa tarkoituksena saada raporttiin. Käydään myös läpi kohdat, että mitkä tiedoista saadaan tietokannoista ja mitkä tiedot testin suorittaja täyttää ja valitsee. Testiohjelmien on tarkoituksena avautua moottorin sarjanumerolla. Jokaisen testin perustiedot tulevat aina raporttiin tietokannasta. Perustietoihin kuuluvat kauppanumero, sarjanumero, päivämäärä ja moottorin tyyppi. Alla olevassa taulukossa 1 käydään läpi muut tarvittavat tiedot raporttiin ja mistä ne on tarkoitus saada.

Taulukko 1. Tiedot tärinä- ja ääniraportteihin.

	<b>Äänispektri</b>	<b>Tärinäraportti (ramppi+spektri)</b>
<b>Tietokannasta</b>	Mittalaitteisto, Tuuletin, Sähköiset arvot	Mittalaitteisto, (Roottorin massa), Tuuletin, Sähköiset arvot
<b>Valitsee ohjelmassa</b>	Kuorma/tyhjäkäynti, DOL/TAMU, Mittaaja	Kiinnitystapa (joustava vai kiinteä), Mittaaja, DOL/TAMU

<b>Täyttää ohjelmaan</b>	Pyörimisnopeus/taajuus, Jännite ja kytkentä, Mittauspisteiden mitat (kolme mittaa)	Jännite ja kytkentä (D vai Y), Pyörimisnopeus, Jäännösmassat (D ja N-pää), Tasapainotuskiekkojen säteet
<b>Laskennalla</b>	Oktaavikaistat taulukossa ja kuvaajana	Sallittu jäännösmassa

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 6.1 Johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten tärinä- ja äänimitausten raportointia voidaan kehittää. Työssä käytiin läpi työn tarve, nykytilanteen kuvaus. Taustatietoa käytiin läpi testeistä, mittausjärjestelmästä ja vaihtosähkömoottoreista. Sekä tunnistettiin kohta, joka on ongelmakohta prosessissa ja selvitettiin ratkaisu ongelmaan. Lopussa käytiin läpi, kuinka mittausohjelmistojen halutaan toimivan sekä mitä asioita pitää ottaa huomioon niiden rakentamisessa.

Keskeisimpänä havaintona oli, että nykyinen mittausjärjestelmä tukee OLE 2.0 -teknologiaa. Tällä teknologialla pystytään järjestämään tarvittava yhteys PULSE LabShop -ohjelmiston ja yrityksen oman mittausohjelman välille. Omalla mittausohjelmalla voidaan ohjata ja käskä nykyistä PULSE LabShop -ohjelmistoa.

Teoreettinen viitekehys muodosti pohjan kokonaiskuvalle ja auttoi ymmärtämään työn kannalta tärkeitä asioita. Tietoa saatiin prosessin kehittämisen perusteista, tärinä- ja äänimittausten kulusta, mittausjärjestelmän toiminnasta sekä erilaisten vaihtosähkömoottoreiden eroavaisuuksista. Nykytilanteen kuvauksella saatiin havainnollistava kuva nykyisestä raportointiprosessista ja sen haasteista.

Kehittämisen prosessin kuvauksessa tunnistettiin suurin ongelmakohta, joka täytyi ratkaista, että saadaan tärinä- ja äänimittaukset osaksi haluttua mittausprosessia. Samassa kappaleessa ratkaistiin tai ainakin ehdotettiin ratkaisua ongelmaan. Halutun kehittämisen prosessin kuvauksessa käytiin läpi asioita, jotka tulee ottaa huomioon mittausohjelman aliohjelmia luodessa sekä millaisia mittaus tapahtumien olisi hyvä olla mitausten suorittajan näkökulmasta.

Opinnäytetyön päätavoitteena oli löytää ratkaisu PULSE LabShop -ohjelmistolla tehtävien mittauksien raportoinnin kehittämiseen. Työssä pyrittiin yhtenäistämään kaikki testikentällä tapahtuvat mittaukset yhtenäiseen mittausprosessiin. Tämä tavoite saavutettiin, sillä työssä löydettiin ratkaisu, jolla PULSE LabShop -ohjelmisto saadaan keskustelemaan yrityksen mittausohjelman kanssa.

Työn alussa oli kysymys, voidaanko PULSE LabShop -ohjelmisto jättää kokonaan välistä pois, niin että mittaustulokset kulkisivat suoraan mittamoduulilta yrityksen omaan mittausohjelmaan. Tästä lähestymistavasta kuitenkin luovuttiin, koska PULSE LabShop -ohjelmisto analysoi erittäin monipuolisesti mittausdataa. Vastaavan analysoinnin rakentaminen omaan mittausohjelmaan olisi erittäin työlästä. Lisäksi itse rakennettu ratkaisu olisi voinut heikentää mittaustulosten luotettavuutta. Myös saatavilla olevan dokumentaation vähäisyys ja yleiset rajalliset tiedot tällaisen toteutuksen käytännön mahdollisuuksia vaikuttivat päätökseen keskittyä olemassa olevan ohjelmiston hyödyntämiseen. Kokonaisuutena voidaan todeta, että työn tavoitteet toteutuivat suunnitellusti ja sen tuloksia voidaan hyödyntää jatkokehityksen pohjana.

## **6.2 Jatkotutkimuskohteet**

Työn aikana esiin nousi potentiaalinen jatkotutkimuskohde, joka liittyy tärinäramppin pituuteen ajallisesti. Tällä hetkellä kaikkien tärinäramppien kestoksi on vakioitu 300 sekuntia. Ramppien nopeudet voivat vaihdella merkittävästi noin 3000 kierroksesta minuutista jopa aina 10 000 kierrokseen minuutissa. Nopeuden skaalaamisen käytettävää aikaa ei kuitenkaan ole aiemmin systemaattisesti tutkittu tai perusteltu.

Olisi perusteltua selvittää, miten rampin eri kestot vaikuttavat eri nopeusalueilla. Tällainen tutkimus voisi tuottaa tietoa siitä, onko nykyinen 300 sekunnin kesto optimaalinen eri tilanteissa vai voisiko rampin pituutta säätämällä parantaa mittauksen luotettavuutta tai tehokkuutta.

Yksi aihe voisi olla myös se, olisiko esimerkiksi eri nopeusalueille mahdollisesti eri pituudet ajallisesti, jotta pienille pyörimisnopeuksille olisi oma aikansa, keskinopeuksille omansa ja suurille omansa.

### **6.3 Kehitysideat**

Opinnäytetyön aikana esiin nousi kehitysidea, jonka mukaan tärinäspektrin mittaustuloksista voitaisiin rakentaa ohjelmallinen analyysi. Tällainen analyysi voisi automaattisesti arvioida tärinän taajuuskomponentteja ja tunnistaa mahdollisia vian aiheuttajia, kuten alkavia laakerivikoja, epätasapainosta johtuvaa tärinää tai katkenneita roottorisauvoja.

Analyysijärjestelmän tavoitteena olisi tunnistaa spektristä mahdollisia poikkeamia. Järjestelmä voisi esimerkiksi reagoida havaittuun poikkeamaan aktivoimalla visuaalisen ilmoituksen, kuten vilkkuvan valon, jonka tarkoituksena on herättää mittajaan huomio ja ohjata tarkastelemaan mittaustuloksia tarkemmin. Tärinäanalyysi on yleinen vianmäärityskeino, joissa mittausdatan automaattinen analysointi auttaa paikantamaan mahdollisia ongelmakohtia tehokkaasti. Aiheesta on saatavilla runsaasti tutkimustietoa ja vastaavia analyysejä on hyödynnetty esimerkiksi koneiden kunnonvalvonnassa.

### **6.4 Suositellut jatkotoimenpiteet**

Suosittelen vahvasti tässä opinnäytetyössä esille tuotujen ratkaisujen ja kehitysehdotuksien hyödyntämistä, sillä niiden toteuttaminen tehostaisi koekentällä suoritettavaa moottoreiden testausta. Raportoinnin kehittämisellä jäisi enemmän aikaa varsinaisten mittausten suorittamiseen, mikä parantaisi työn tehokkuutta. Lisäksi manuaalisen raportoinnin tarpeen väheneminen nopeuttaa testausprosessia ja vähentää inhimillisten virheiden riskiä.

Mielestäni kehittämisessä kannattaisi lähteä liikkeelle yhden mittausten integroimisessa osaksi yrityksen järjestelmää. Näen, että äänispektrimittauksista olisi järkevintä lähteä liikkeelle, koska sen raporttiin tarvittavat tiedot eivät vaadi kuin laskennan kautta saatavat tulokset sekä tuloksista muodostuva oktaavikaistakuvaaja. Laskennalle on valmis esimerkkipohja Excelissä. Kun äänispektrimittaukset ovat saatu onnistuneesti sulautettua yrityksen mittausohjelmaan ja sen raportointi automatisoitua mahdollisimman pitkälti, voidaan siirtyä tärinämittausten integroimiseen.

Tärinämittausten aloittaminen kannattaa suunnitella tärinäspektrien mittaamisesta, sillä spektrimittauksia voidaan suorittaa itsenäisesti ilman muita testejä. Lisäksi tärinäramppimittauksen yhteydessä tärinäspektri otetaan lähes poikkeuksetta, joten sen valmiiksi toteuttaminen tukee myös tärinärampin jatkokehitystä. Näin mittausjärjestelmä rakentuu vaiheittain. Tärinäraporttiin tulevin kuvaajien saamiseksi raporttiin täytyy saada tallennettua kuvaajat kuvamuodossa, josta ne siirtyvät kuvaajina raporttiin.

## LÄHTEET

- ABB. (2021). *Viisi hyödyllistä asiaa IE5 SynRM -moottoreista*. Haettu 15. huhtikuuta 2025 osoitteesta <https://new.abb.com/news/fi/detail/77867/viisi-hyodyllista-asiaa-ie5-synrm-moottoreista>
- ABB. (n.d.-a). *ABB Oy, IEC LV Motors*. Haettu 2. helmikuuta 2025 osoitteesta <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/iec-lv-motors>
- ABB. (n.d.-b). *ABB lyhyesti*. Haettu 17. helmikuuta 2025 osoitteesta <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>
- ABB. (n.d.-c). *ABB Suomessa*. Haettu 17. helmikuuta 2025 osoitteesta <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- Ahoranta, J. (2016). *Sähkötekniikka*. Sanoma Pro Oy.
- ARTER AKATEMIA. (2018). Prosessien kehittäminen.
- Bruel & Kjør. (2018). *PULSE Help*.
- Bruel & Kjør. (2018). *SYSTEM DATA* . Noudettu osoitteesta Software for PULSE LabShop: <https://www.bksv.com/media/doc/bu0229.pdf>
- Debayan Bhaumik, A. S. (2023). Vibration Signal Analysis of Induktion Motor Bearing Faults: Some Aspects. *International Conference on Smart System for applications in Electrical Sciences*. Tumakuru, Intia: IEEE.
- DESWESoft. (n.d.). *FFT-spektrianalysointori*. Haettu 7. huhtikuuta 2025 osoitteesta <https://dewesoft.com/fi/sovellukset/fft-analysointori>

- HBK World. (n.d.). *Type 3050*. Haettu 4. maaliskuuta 2025 osoitteesta <https://www.hbkworld.com/en/products/instruments/daq-systems/lan-xi/measurement-modules/type-3050>
- Hüseyin Akçay, E. G. (2014). Subspace-Based Identification of Acoustic Noise Spectra in Induction Motors. *Transactions on Energy Conversion* (ss. 32 - 40). IEEE.
- IEC 60034-14. (08 2018). IEC 60034-14. *Rotating electrical machines*. Geneve, Sveitsi: IEC.
- IEC 60034-9. (10 2021). *Rotating electrical machines - PART 9: Noise limits*.
- Korpinen, P. (2005). *Äänipää*. Noudettu 19. maaliskuuta osoitteesta Äänen taajuus: [https://webpages.tuni.fi/aanipaa/taajuu\\_1.htm](https://webpages.tuni.fi/aanipaa/taajuu_1.htm)
- Lindroos, E. (21. 2 2022). *15 keinoa prosessien kehittämiseen ja suorituskyvyn parantamiseen*. Noudettu 19. maaliskuuta 2025 osoitteesta <https://www.arter.fi/tyokalut-ja-menetelmat-prosessien-kehittaminen/>
- Logistiikan maailma. (20. 3 2025). *Tuotanto*. Noudettu 10 huhtikuuta 2025 osoitteesta <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/>
- Microsoft. (30. 8 2022). *OLE Background*. Noudettu osoitteesta <https://learn.microsoft.com/en-us/cpp/mfc/ole-background?view=msvc-170>
- Pantti, T. (15. 02 2025). *ABB FIMOT2046*. Noudettu 7. huhtikuuta 2025 osoitteesta [Motor Testing IT infrastructure](#) (Rajattu pääsy).
- SFS-ISO 21940-11:2017:en. (2017). *Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behaviour*.

- Škoda Auto. (19. 11 2024). *Kevyet, tehokkaat ja huoltovapaat täyssähköautojen moottorit*. Haettu 15. huhtikuuta 2025 osoitteesta <https://www.skodamagazine.fi/kevyet-tehokkaat-ja-huoltovapaat-tayssahkoautojen-moottorit/>
- Stoll, C. (18. 10 2023). *Vibration Research*. Noudettu osoitteesta What is Order Analysis?: <https://vibrationresearch.com/blog/what-is-order-analysis/>
- Tsytkin, M. (2011). Induction motor condition monitoring: Vibration analysis technique - A practical implementation. *IEEE International Electric Machines & Drives Conference*. Niagara Falls, ON, Canada: IEEE.
- Verkkonen, V. (2017). *Sähkömoottorikäytöt*. Noudettu osoitteesta 2 Epätahtikoneet, luentomateriaali Vaasan ammattikorkeakoulu. 7 s.

## LIITTEET

### LIITE 1. Esimerkki laajasta tärinäraportista

<b>ABB</b>	Document kind Vibration measurements	Document number 3G1F12345678910	Revision A
Issued by Motors	Country FIN	Author Juho Hyvösaho	Date 2025-03-05
Division/Department MLX000	Approver Tommi Pantti	Distribution External	Language EN
			Page 1(5)
			Status Valid

Sales Order: 1234567-10

Motor type: M3BC 315MLA 2 B3

Remarks: Rigid foundation, IC416, 400 VD, B&K Type 3050-B, AC S880

Field balancing: Rotating mass 219.9 kg / Balancing accuracy G1 D-end: 2.8 g, N-end: 2.8 g

Residual unbalance: D-end: 2.0 g / 328 °, N-end: 1.9 g / 331 °

#### Ramp up curves in area 0...nominal speed 6000 rpm, RMS

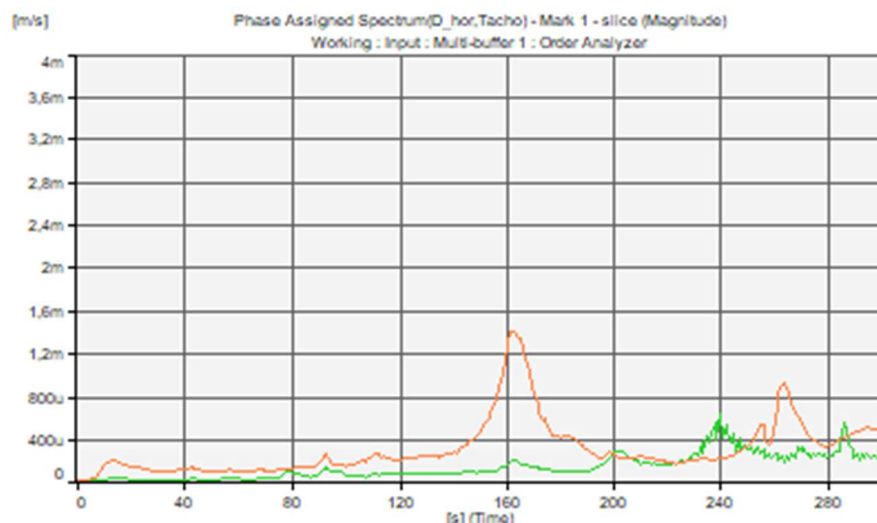


Figure 1. Drive end: vertical colour is green and horizontal colour is orange.

Vibration measurements	Valid	3G1F12345678910	A
1234567-10		2025-03-05	2(5)

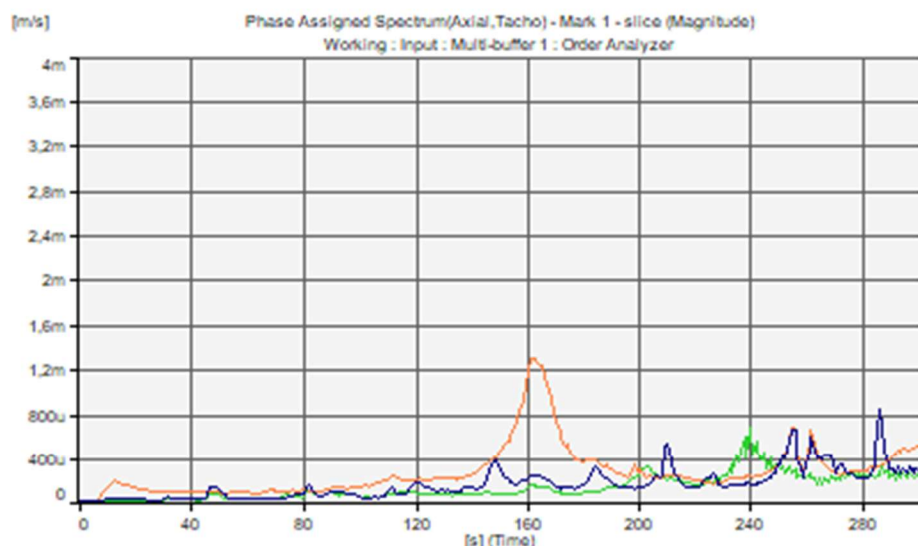


Figure 2. Non drive end: vertical colour is green, horizontal colour is orange and axial colour is blue.

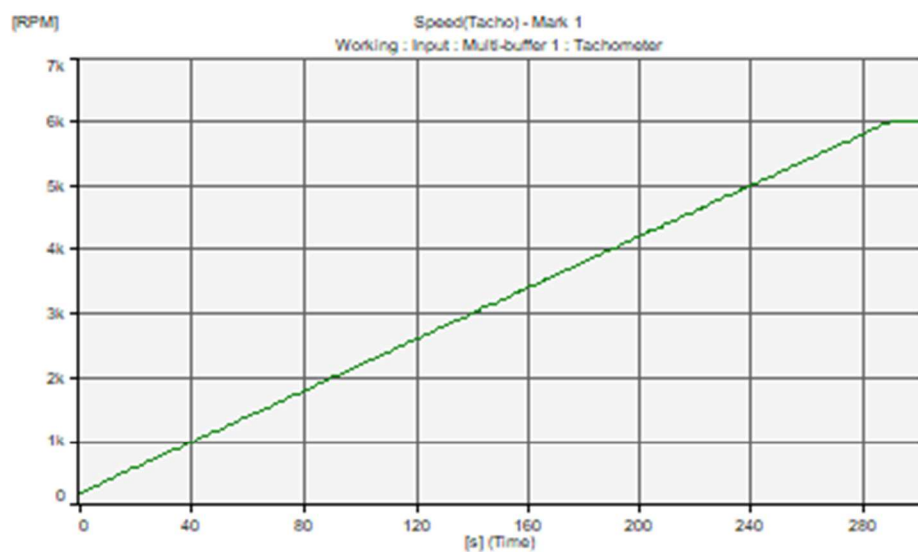


Figure 3. Speed.

Vibration measurements	Valid	3G1F12345678910	A
1234567-10		2025-03-05	3(5)

### Vibration spectrum at nominal speed 6000 rpm

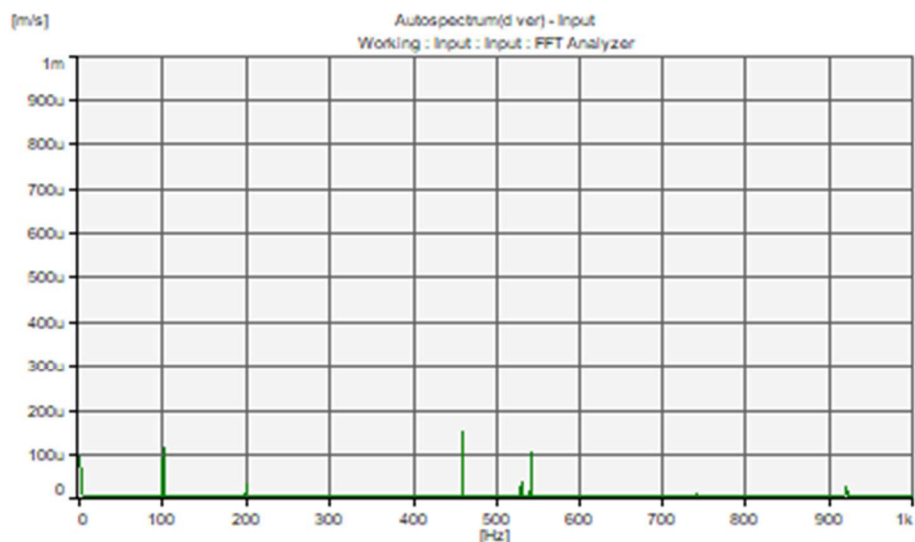


Figure 4. D-end vertical, total level **0.25 mm/s**

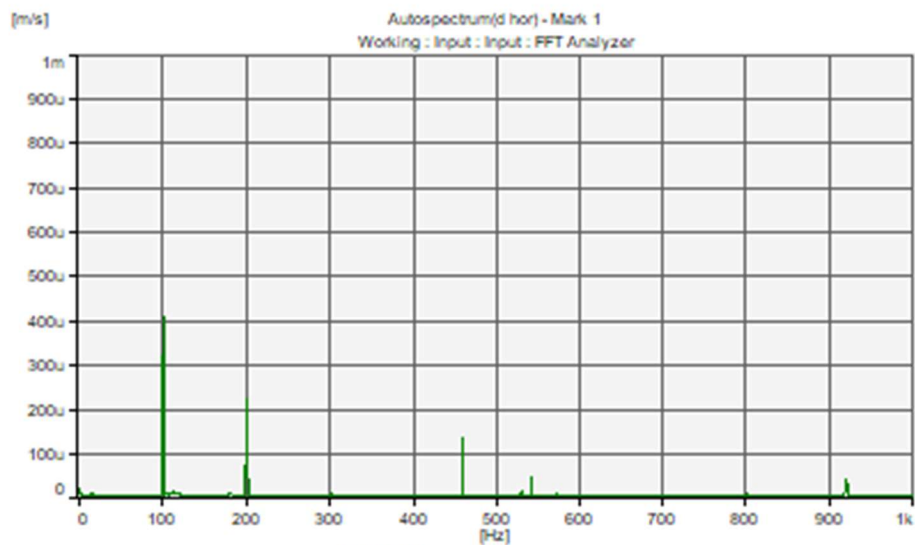


Figure 5. D-end horizontal, total level **0.5 mm/s**

Vibration measurements	Valid	3G1F12345678910	A
1234567-10		2025-03-05	4(5)

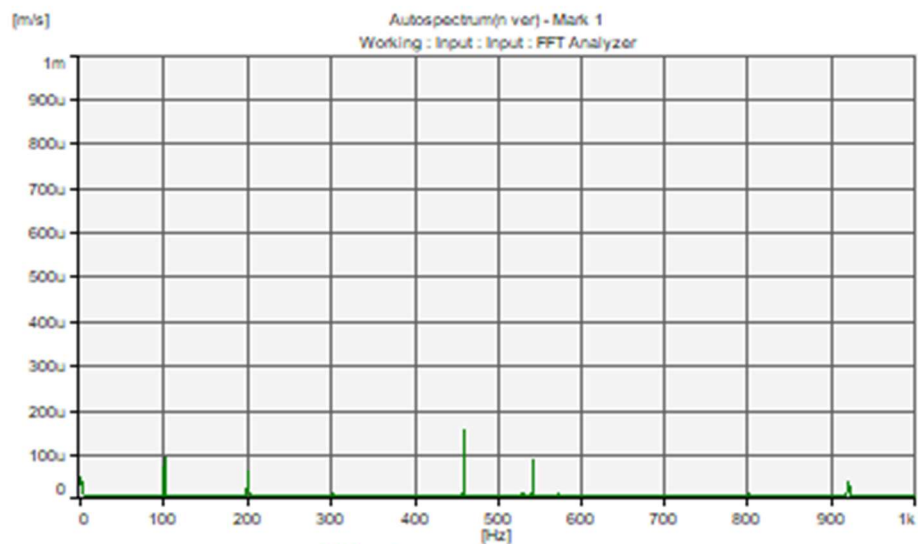


Figure 6. N-end vertical, total level **0.25 mm/s**

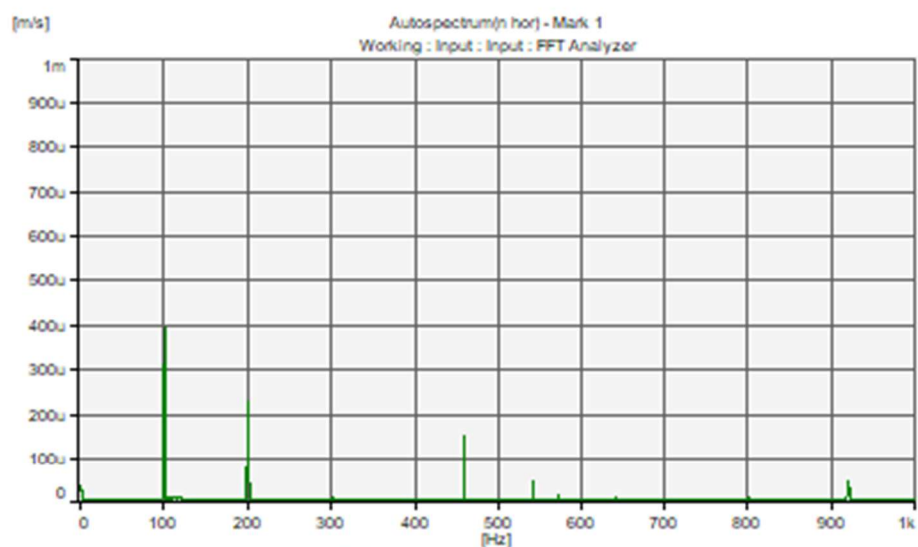


Figure 7. N-end horizontal, total level **0.5 mm/s**

Vibration measurements	Valid	3G1F12345678910	A
1234567-10		2025-03-05	5(5)

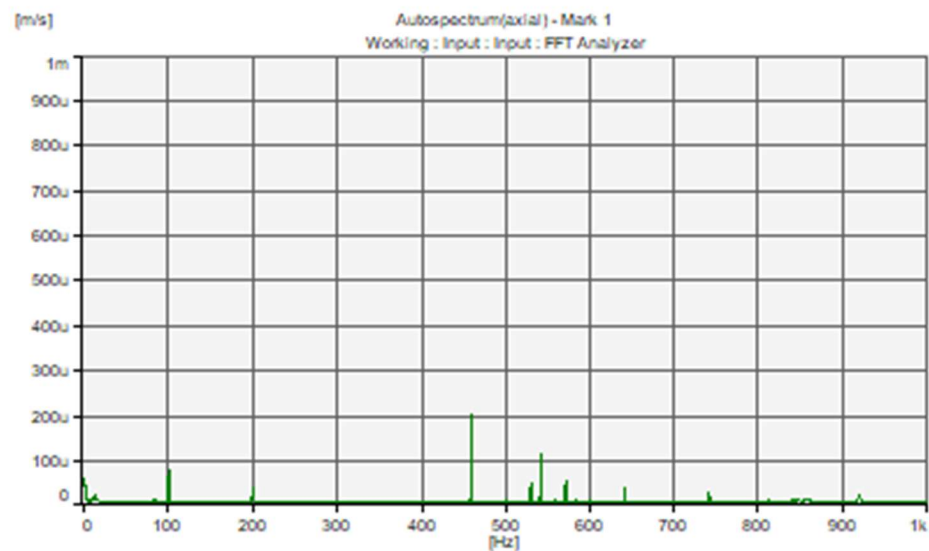


Figure 8. Axial, total level **0.3 mm/s**

## LIITE 2. Esimerkki äänispektriraportista

Test report			Machine type			Calculation	
Sound pressure level			M3GP 315 SMB 2 B3			3GZF123456789-	
Customer:			kW	Volt	Hz	r/min	
			110	400 D	50	3000	
			S: no = 3G1F12345678910		Work = 1234567-10		
Test code =			Inverter type/DOL =			DOL	
Microphone = B&K 4189-A-021			B&K PULSE Type 3050-B		TP =		TP7
Sound level r = 1.0			Tested	JuHy	Date		6.3.2025
Mp	No-load		Octave Band		Controlled	Date	6.3.2025
	L <sub>p</sub> [dB(A)]		f [Hz]	L <sub>p</sub> [dB]	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	
1	74,6		63	63,4	1,3	2,0	6 x 3 x
2	79,2		125	65,2	1,3	2,0	
3	74,1		250	72,7	0,3	2,0	
4	74,5		500	69,7	0,4	2,0	2 x 4 x
5	72,1		1k	69,6	0,2	2,0	
6	74,0		2k	63,9	0,3	2,0	
7			4k	58,7	0,2	2,0	5 x 1 x
8			8k	60,3	0,1	2,0	
9							
Back-ground	62,9		A	73,1	0,3	2,0	MP 1,2,3 = Shaft height
Mean	75,4		L	76,8	0,7	2,0	Test arrangements
Calculated mean sound level at r =			On-load				-
Octave band mean sound pressure level at r = 1.0m			No-load				x
Reference box dimensions			l <sub>1</sub> = 2,20	l <sub>2</sub> = 3,00	l <sub>3</sub> = 1,65		
Remarks:							
Fan Ø 165mm							

### LIITE 3. Esimerkki Pulse Ascii File tiedostosta

AmplitudeUnit: Pa  
Analyzer: CPB\_Spectrum\_Averaging  
AnalyzerName: CPB Analyzer

Bipolar: EPÄTOSI

dBReference: 4,00E-10

Domain: 1  
Function: Autospectrum

InputRange: 2,03E+02

MultiBufferName: Input

Overrun: EPÄTOSI  
Power: TOSI  
PowerUnit: Pa<sup>2</sup>

RecordLength: 3,00E+01

Signal: Mikki

SignalUnit: Pa

Title: Autospectrum(Mikki) - Mark 1  
Title1: Working : Tausta : Input : CPB Analyzer

WColumnKind: 1  
Weight: 0

TemplateName: Working  
MeasurementName: Tausta  
MeasurementSlice: EPÄTOSI

Z-index: 1  
Date: 6.8.2019  
Time: 09:40:29:055  
Relative time: 0,00E+00  
Z-axis: 0,00E+00  
1 6,30E+01 8,56E-04  
2 1,25E+02 7,36E-04  
3 2,50E+02 7,25E-04  
4 5,00E+02 5,02E-04  
5 1,00E+03 2,22E-04  
6 2,00E+03 1,23E-04  
7 4,00E+03 1,85E-05  
8 8,00E+03 1,03E-05  
9 1,60E+04 5,72E-08  
TagsBegin:  
OverLoad: EPÄTOSI  
A column: 7,78E-04  
L column: 5,68E-03  
OverLoadRatio: [] 1,19E-07  
AveragingTime: [] 3,00E+01  
Overall Exp - Mikki: [Pa] 2,98E-02  
Overall Lin - Mikki: [Pa] 2,86E-02  
TagsEnd:  
TagScalesBegin:  
Overall Exp - Mikki: 'Pa' '1'  
Overall Lin - Mikki: 'Pa' '1'  
TagScalesEnd:

Header Size: 79  
Pulse Version: 80  
Running Pulse Version: PULSE LabShop Version 22.2.0.98 - 2018-08-11  
Decimal Symbol: ,  
Date Format: d.M.yyyy  
Time Format: HH:mm:ss:mmm  
Data Type: Real  
Slice: EPÄTOSI  
Z-Axis type: Linear  
Z-Axis size: 1  
Z-Axis unit:  
Z-Axis first value: 0,00E+00

Z-Axis delta: 1,00E+00  
X-Axis type: Octave  
X-Axis size: 9  
X-Axis unit: Hz  
X-Axis first band: 6  
X-Axis octave: 1

AmplitudeUnit: Pa  
Analyzer: CPB\_Spectrum\_Averaging  
AnalyzerName: CPB Analyzer

Bipolar: EPÄTOSI

dBReference: 4,00E-10

Domain: 1  
Function: Autospectrum

InputRange: 2,03E+02

MultiBufferName: Input

Overrun: EPÄTOSI  
Power: TOSI  
PowerUnit: Pa<sup>2</sup>

RecordLength: 3,00E+01

Signal: Mikki

SignalUnit: Pa

Title: Autospectrum(Mikki) - Mark 2  
Title1: Working : 01 : Input : CPB Analyzer

WColumnKind: 1  
Weight: 0

TemplateName: Working  
MeasurementName: 1  
MeasurementSlice: EPÄTOSI

Z-index: 1  
Date: 6.8.2019  
Time: 09:18:02:992  
Relative time: 0,00E+00

Z-axis: 0,00E+00

1	6,30E+01	2,17E-03
2	1,25E+02	2,36E-03
3	2,50E+02	1,64E-02
4	5,00E+02	6,91E-03
5	1,00E+03	3,70E-03
6	2,00E+03	1,43E-03
7	4,00E+03	2,76E-04
8	8,00E+03	3,43E-04
9	1,60E+04	5,32E-05

TagsBegin:

OverLoad: EPÄTOSI

A column: 1,16E-02

L column: 3,64E-02

OverLoadRatio: [] 1,19E-07

AveragingTime: [] 3,00E+01

Overall Exp - Mikki: [Pa] 7,81E-02

Overall Lin - Mikki: [Pa] 7,95E-02

TagsEnd:

TagScalesBegin:

Overall Exp - Mikki: 'Pa' '1'

Overall Lin - Mikki: 'Pa' '1'

TagScalesEnd:

Header Size: 79

Pulse Version: 80

Running Pulse Version: PULSE LabShop Version 22.2.0.98 - 2018-08-11

Decimal Symbol: ,

Date Format: d.M.yyyy

Time Format: HH:mm:ss:mmm

Data Type: Real

Slice: EPÄTOSI  
Z-Axis type: Linear  
Z-Axis size: 1  
Z-Axis unit:  
Z-Axis first value: 0,00E+00  
Z-Axis delta: 1,00E+00  
X-Axis type: Octave  
X-Axis size: 9  
X-Axis unit: Hz  
X-Axis first band: 6  
X-Axis octave: 1  
  
AmplitudeUnit: Pa  
Analyzer: CPB\_Spectrum\_Averaging  
AnalyzerName: CPB Analyzer

Bipolar: EPÄTOSI

dBReference: 4,00E-10

Domain: 1  
Function: Autospectrum

InputRange: 2,03E+02

MultiBufferName: Input

Overrun: EPÄTOSI  
Power: TOSI  
PowerUnit: Pa<sup>2</sup>

RecordLength: 3,00E+01

Signal: Mikki

SignalUnit: Pa

Title: Autospectrum(Mikki) - Mark 3  
Title1: Working : 02 : Input : CPB Analyzer

WColumnKind: 1  
Weight: 0

TemplateName: Working  
MeasurementName: 2  
MeasurementSlice: EPÄTOSI

Z-index: 1  
Date: 6.8.2019  
Time: 09:18:47:149  
Relative time: 0,00E+00

Z-axis: 0,00E+00  
1 6,30E+01 1,96E-03  
2 1,25E+02 2,64E-03  
3 2,50E+02 2,00E-02  
4 5,00E+02 6,95E-03  
5 1,00E+03 1,97E-02  
6 2,00E+03 4,13E-03  
7 4,00E+03 1,35E-03  
8 8,00E+03 2,37E-03  
9 1,60E+04 4,21E-04

TagsBegin:  
OverLoad: EPÄTOSI  
A column: 3,31E-02  
L column: 6,23E-02  
OverLoadRatio: [] 1,19E-07  
AveragingTime: [] 3,00E+01  
Overall Exp - Mikki: [Pa] 1,07E-01  
Overall Lin - Mikki: [Pa] 1,59E-01

TagsEnd:  
TagScalesBegin:  
Overall Exp - Mikki: 'Pa' '1'  
Overall Lin - Mikki: 'Pa' '1'  
TagScalesEnd:

Header Size: 79  
Pulse Version: 80

Running Pulse Version: PULSE LabShop Version 22.2.0.98 - 2018-08-11

Decimal Symbol: ,

Date Format: d.M.yyyy

Time Format: HH:mm:ss:mmm

Data Type: Real

Slice: EPÁTOSI

Z-Axis type: Linear

Z-Axis size: 1

Z-Axis unit:

Z-Axis first value: 0,00E+00

Z-Axis delta: 1,00E+00

X-Axis type: Octave

X-Axis size: 9

X-Axis unit: Hz

X-Axis first band: 6

X-Axis octave: 1

AmplitudeUnit: Pa

Analyzer: CPB\_Spectrum\_Averaging

AnalyzerName: CPB Analyzer

Bipolar: EPÁTOSI

dBReference: 4,00E-10

Domain: 1

Function: Autospectrum

InputRange: 2,03E+02

MultiBufferName: Input

Overrun: EPÁTOSI

Power: TOSI

PowerUnit: Pa<sup>2</sup>

RecordLength: 3,00E+01

Signal: Mikki

SignalUnit: Pa

Title: Autospectrum(Mikki) - Mark 4

Title1: Working : 03 : Input : CPB Analyzer

WColumnKind: 1

Weight: 0

TemplateName: Working

MeasurementName: 3

MeasurementSlice: EPÄTOSI

Z-index: 1

Date: 6.8.2019

Time: 09:19:28:305

Relative time: 0,00E+00

Z-axis: 0,00E+00

1 6,30E+01 3,07E-03

2 1,25E+02 4,70E-03

3 2,50E+02 1,18E-02

4 5,00E+02 7,40E-03

5 1,00E+03 3,31E-03

6 2,00E+03 1,33E-03

7 4,00E+03 3,27E-04

8 8,00E+03 4,19E-04

9 1,60E+04 6,13E-05

TagsBegin:

OverLoad: EPÄTOSI

A column: 1,03E-02

L column: 3,73E-02

OverLoadRatio: [] 1,19E-07

AveragingTime: [] 3,00E+01

Overall Exp - Mikki: [Pa] 9,99E-02

Overall Lin - Mikki: [Pa] 1,02E-01

TagsEnd:

TagScalesBegin:

Overall Exp - Mikki: 'Pa' '1'

Overall Lin - Mikki: 'Pa' '1'

TagScalesEnd:

Header Size: 79  
Pulse Version: 80  
Running Pulse Version: PULSE LabShop Version 22.2.0.98 - 2018-08-11  
Decimal Symbol: ,  
Date Format: d.M.yyyy  
Time Format: HH:mm:ss:mmm  
Data Type: Real  
Slice: EPÁTOSI  
Z-Axis type: Linear  
Z-Axis size: 1  
Z-Axis unit:  
Z-Axis first value: 0,00E+00  
Z-Axis delta: 1,00E+00  
X-Axis type: Octave  
X-Axis size: 9  
X-Axis unit: Hz  
X-Axis first band: 6  
X-Axis octave: 1

AmplitudeUnit: Pa  
Analyzer: CPB\_Spectrum\_Averaging  
AnalyzerName: CPB Analyzer

Bipolar: EPÁTOSI

dBReference: 4,00E-10

Domain: 1  
Function: Autospectrum

InputRange: 2,03E+02

MultiBufferName: Input

Overrun: EPÁTOSI  
Power: TOSI  
PowerUnit: Pa<sup>2</sup>

RecordLength: 3,00E+01

Signal: Mikki

SignalUnit: Pa

Title: Autospectrum(Mikki) - Mark 5

Title1: Working : 04 : Input : CPB Analyzer

WColumnKind: 1

Weight: 0

TemplateName: Working

MeasurementName: 4

MeasurementSlice: EPÄTOSI

Z-index: 1

Date: 6.8.2019

Time: 09:20:07:585

Relative time: 0,00E+00

Z-axis: 0,00E+00

1 6,30E+01 1,34E-03

2 1,25E+02 2,96E-03

3 2,50E+02 1,39E-02

4 5,00E+02 5,78E-03

5 1,00E+03 3,70E-03

6 2,00E+03 1,20E-03

7 4,00E+03 3,12E-04

8 8,00E+03 3,29E-04

9 1,60E+04 4,59E-05

TagsBegin:

OverLoad: EPÄTOSI

A column: 1,11E-02

L column: 3,29E-02

OverLoadRatio: [] 1,19E-07

AveragingTime: [] 3,00E+01

Overall Exp - Mikki: [Pa] 1,04E-01

Overall Lin - Mikki: [Pa] 1,05E-01

TagsEnd:  
TagScalesBegin:  
Overall Exp - Mikki: 'Pa' '1'  
Overall Lin - Mikki: 'Pa' '1'  
TagScalesEnd:

Header Size: 79  
Pulse Version: 80  
Running Pulse Version: PULSE LabShop Version 22.2.0.98 - 2018-08-11  
Decimal Symbol: ,  
Date Format: d.M.yyyy  
Time Format: HH:mm:ss:mmm  
Data Type: Real  
Slice: EPÄTOSI  
Z-Axis type: Linear  
Z-Axis size: 1  
Z-Axis unit:  
Z-Axis first value: 0,00E+00  
Z-Axis delta: 1,00E+00  
X-Axis type: Octave  
X-Axis size: 9  
X-Axis unit: Hz  
X-Axis first band: 6  
X-Axis octave: 1  
  
AmplitudeUnit: Pa  
Analyzer: CPB\_Spectrum\_Averaging  
AnalyzerName: CPB Analyzer

Bipolar: EPÄTOSI

dBReference: 4,00E-10

Domain: 1  
Function: Autospectrum

InputRange: 2,03E+02

MultiBufferName: Input

Overrun: EPÄTOSI  
Power: TOSI  
PowerUnit: Pa<sup>2</sup>  
  
RecordLength: 3,00E+01

Signal: Mikki

SignalUnit: Pa

Title: Autospectrum(Mikki) - Mark 6  
Title1: Working : 05 : Input : CPB Analyzer

WColumnKind: 1  
Weight: 0

TemplateName: Working  
MeasurementName: 5  
MeasurementSlice: EPÄTOSI

Z-index: 1  
Date: 6.8.2019  
Time: 09:20:44:805  
Relative time: 0,00E+00  
Z-axis: 0,00E+00  
1 6,30E+01 1,01E-03  
2 1,25E+02 1,84E-03  
3 2,50E+02 4,34E-03  
4 5,00E+02 3,61E-03  
5 1,00E+03 2,46E-03  
6 2,00E+03 9,43E-04  
7 4,00E+03 3,43E-04  
8 8,00E+03 3,59E-04  
9 1,60E+04 5,31E-05  
TagsBegin:  
OverLoad: EPÄTOSI  
A column: 6,52E-03

L column: 1,76E-02  
OverLoadRatio: [] 1,19E-07  
AveragingTime: [] 3,00E+01  
Overall Exp - Mikki: [Pa] 8,63E-02  
Overall Lin - Mikki: [Pa] 8,39E-02  
TagsEnd:  
TagScalesBegin:  
Overall Exp - Mikki: 'Pa' '1'  
Overall Lin - Mikki: 'Pa' '1'  
TagScalesEnd:

Header Size: 79  
Pulse Version: 80  
Running Pulse Version: PULSE LabShop Version 22.2.0.98 - 2018-08-11  
Decimal Symbol: ,  
Date Format: d.M.yyyy  
Time Format: HH:mm:ss:mmm  
Data Type: Real  
Slice: EPÄTOSI  
Z-Axis type: Linear  
Z-Axis size: 1  
Z-Axis unit:  
Z-Axis first value: 0,00E+00  
Z-Axis delta: 1,00E+00  
X-Axis type: Octave  
X-Axis size: 9  
X-Axis unit: Hz  
X-Axis first band: 6  
X-Axis octave: 1  
  
AmplitudeUnit: Pa  
Analyzer: CPB\_Spectrum\_Averaging  
AnalyzerName: CPB Analyzer

Bipolar: EPÄTOSI

dBReference: 4,00E-10

Domain: 1  
Function: Autospectrum

InputRange: 2,03E+02

MultiBufferName: Input

Overrun: EPÄTOSI

Power: TOSI

PowerUnit: Pa<sup>2</sup>

RecordLength: 3,00E+01

Signal: Mikki

SignalUnit: Pa

Title: Autospectrum(Mikki) - Mark 7

Title1: Working : 06 : Input : CPB Analyzer

WColumnKind: 1

Weight: 0

TemplateName: Working

MeasurementName: 6

MeasurementSlice: EPÄTOSI

Z-index: 1

Date: 6.8.2019

Time: 09:21:21:836

Relative time: 0,00E+00

Z-axis: 0,00E+00

1	6,30E+01	1,63E-03
2	1,25E+02	2,42E-03
3	2,50E+02	8,74E-03
4	5,00E+02	7,85E-03
5	1,00E+03	3,04E-03
6	2,00E+03	1,06E-03
7	4,00E+03	3,40E-04

```
8      8,00E+03 3,46E-04
9      1,60E+04 5,22E-05
TagsBegin:
OverLoad:                EPÄTOSI
A column:                1,01E-02
L column:                3,06E-02
OverLoadRatio: []       1,19E-07
AveragingTime: []      3,00E+01
Overall Exp - Mikki: [Pa] 1,02E-01
Overall Lin - Mikki: [Pa] 1,01E-01
TagsEnd:
TagScalesBegin:
Overall Exp - Mikki: 'Pa'  '1'
Overall Lin - Mikki: 'Pa'  '1'
TagScalesEnd:
```