

# SÄHKÖASEMIEN KYTKINLAITTEIDEN IoT- VALVONTAJÄRJESTELMÄN KEHITYSTYÖ



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

HAMK VALKEAKOSKI, SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOINSINÖÖRI

Syksy, 2019

Joonas Simpanen

Sähkö- ja automaatioinsinööri  
Valkeakoski

---

<b>Tekijä</b>	Joonas Simpanen	<b>Vuosi</b> 2019
<b>Työn nimi</b>	Sähköasemien kytkinlaitteiden IoT-valvontajärjestelmän kehitystyö	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Timo Viitala HAMK, Tuomas Laitinen Fingrid Oy	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän ammattikorkeakoulun opinnäytetyön aiheena oli sähköasemien kytkinlaitteiden IoT-valvontajärjestelmän kehitystyö Fingridin sähköasemille. Opinnäytetyössä selvitettiin, mitä komponentteja kytkinlaitteiden digitaalinen kunnonvalvonta sisältää ja miten järjestelmät toimivat.

Opinnäytetyön toiminnallisessa osuudessa tehtiin testiympäristössä oleviin kytkinlaitteisiin keinovikoja, joiden avulla pystyttiin kehittämään järjestelmän analytiikkaa ja mittaustekniikkaa.

Kytkinlaitteiden digitaalinen kunnonvalvontajärjestelmä Fingridin asemille kehitettiin yhdessä ionSign Oy:n kanssa. Ionsignin lisäksi digitaalisen kunnonvalvonnan ketjuun liittyy Solita Oy, joka hoitaa pilvialustan ohjelmallisen puolen ja visualisointityökalun kehittämisen yhdessä Fingridin kanssa.

Toiminnallisen osuuden avulla saatiin useita kehityskohteita, jotka korjamalla voitiin parantaa järjestelmän tarkkuutta erotella ja havaita vikoja kytkinlaitteissa. Keinovikatestien mittaustuloksista saatiin lisäksi arvokasta tietoa ja osaamista, miten viat vaikuttavat mittaustietoon.

**Avainsanat** Esineiden internet, iot, kunnonvalvonta

**Sivut** 59 sivua, joista liitteitä 4 sivua

Electrical and Automation Engineering  
Valkeakoski

---

<b>Author</b>	Joonas Simpanen	<b>Year</b> 2019
<b>Subject</b>	Developing an IoT solution for a substation switchgears	
<b>Supervisors</b>	Timo Viitala HAMK, Tuomas Laitinen Fingrid Oyj	

---

ABSTRACT

The subject of this thesis project was the development of the condition monitoring of substation switchgears as IoT solutions at Fingrid substations. In this thesis it is clarified what components the condition control of switchgears would require and what are the operational principles of an IoT solution in switchgears.

In the empirical part of the project fake malfunctions of switchgears were created in the test environment. The fake malfunctions assisted in developing the system analytics and sensor technology.

Condition monitoring of a digital switchgear on Fingrid substations was developed together with IonSign Ltd. In addition to IonSign Solita Ltd joined the chain of digital condition monitoring system as well. Solita is a digital transformation company, which takes care of the digital development of cloud platforms and visualization together with Fingrid.

The results gained in the empirical part of this project revealed a number of development issues, which would improve the accuracy of the system in isolating and detecting faults in switchgears. The fake malfunction test also provided valuable information and knowledge on how the faults affected the measurement data.

**Keywords** Condition monitoring, internet of things, iot.  
**Pages** 59 pages including appendices 4 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TILAAJAN ESITTELY.....	2
3	NYKYINEN KUNNOSSAPITOMALLI .....	3
4	SÄHKÖASEMAN KYTKINLAITTEIDEN DIGITAALINEN KUNNONVALVONTA.....	4
4.1	Erottimen digitaalinen kunnonvalvonta .....	4
4.1.1	Ohjainmoottorin virranmittaus .....	5
4.1.2	Ohjainmoottorin ja vaihteiston akustinen emissio .....	5
4.1.3	Ohjainkotelon ilmamikrofoni .....	5
4.2	Katkaisijan digitaalinen kunnonvalvonta .....	5
4.2.1	Viritysmoottorin virranmittaus .....	6
4.2.2	Viritysmoottorin akustinen emissio .....	6
4.2.3	Iskunvaimentimen kiihtyvyyden mittaus .....	6
4.2.4	Kelavirtojen mittaus .....	7
4.2.5	Ohjauksen toiminta-aika .....	7
4.2.6	Ohjainkotelon ilmamikrofoni .....	8
5	KYTKINLAITTEIDEN KUNNONVALVONNAN ANTURIT JA KOMPONENTIT.....	8
5.1	Anturit .....	8
5.1.1	Pietsoanturi .....	9
5.1.2	HALL-anturi .....	9
5.1.3	Ilmamikrofoni .....	10
5.1.4	MEMS-kiihtyvyydianturi.....	10
5.2	IoT-päätelaitteet.....	10
5.3	Tiedonsiirto .....	13
6	DATAN AGGREGOINTI JA VISUALISOINTI .....	15
6.1	Datan aggregointi.....	15
6.1.1	Microsoft Azure .....	15
6.1.2	Microsoft Databricks .....	16
6.2	Datan visualisointi .....	17
6.2.1	Microsoft SQL kanta .....	18
6.2.2	Microsoft Power BI .....	18
6.2.3	Asset intellect .....	19
7	KYTKINLAITTEIDEN KEINOVIKATESTIT .....	20
7.1	Kytkinlaitteiden vikojen analysointi .....	20
7.2	Erottimen keinovikatestit.....	21
7.2.1	Koskettimien jäykistäminen .....	22
7.2.2	Erottimen jäykistäminen .....	27
7.2.3	Moottorijarrun muokkaus.....	33

7.2.4	Vaihteiston jäykistäminen .....	38
7.3	Katkaisijan keinovikatestit.....	44
7.3.1	Viritysmoottorin käyttöjännitteen säätäminen .....	45
7.3.2	Iskunvaimentimen muokkaus.....	49
7.4	Keinovikojen toteaminen lot-antureiden avulla ja järjestelmän kehittäminen	50
7.4.1	Viritys- ja ohjausmoottorin toiminta.....	51
7.4.2	Erottimen vaihteiston vikojen havaitseminen .....	51
7.4.3	Ohjainkotelon äänimittaus .....	52
7.4.4	Katkaisijan iskunvaimentimen kiihtyvyyden mittaus .....	52
7.4.5	Virtamittaus ja vikojen havainnointi .....	53
8	YHTEENVETO .....	54
	LÄHTEET.....	55

#### Liitteet

- Liite 1      Erottimen keinovikatestin työsuunnitelma
- Liite 2      Katkaisijan keinovikatestin työsuunnitelma

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön perustana toimii tilaajan käynnissä olevan projektin tietojen käyttäminen. Tilaaja on kehittänyt kunnonvalvontaan työkalua, jonka avulla voidaan tehostaa kytkinlaitteiden kunnossapitoa ja parantaa käyttövarmuutta.

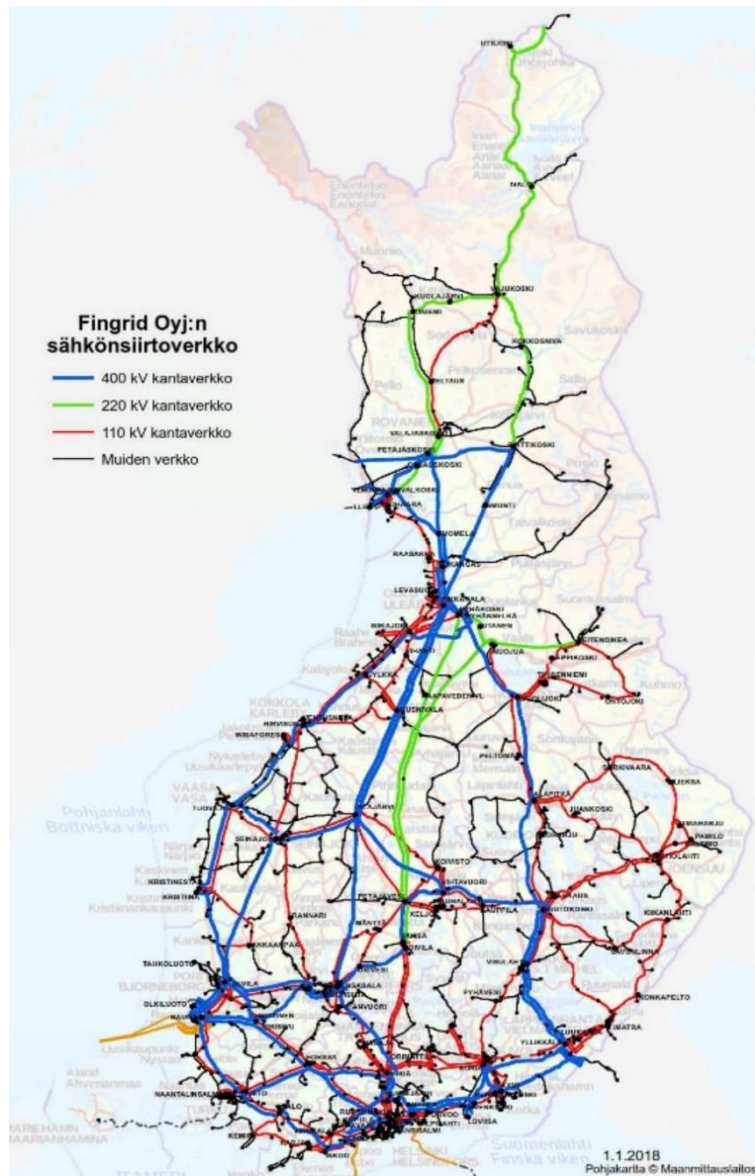
Kytkinlaitteiden valvontaan ei ollut ennen tilaajan aloittamaa hanketta olemassa valmista tai riittävän laajaa kunnonvalvonnan järjestelmää. Hankkeen haasteet ja matkan varrella tapahtuneet muutokset näkyvät IoT-laitteiden muutoksena alkupään laitteistosta tämän hetken järjestelmään.

Työn tavoitteena on kehittää sähköasemien kytkinlaitteiden IoT-valvontajärjestelmää sekä suunnitella järjestelmän testaamiseen liittyvät keinovikatestit erikseen rakennetulla kytkinkentällä.

Työn vaatimuksena on kuvata käytössä olevaa tekniikkaa sekä päävaatimuksena kytkinkentällä tehtyjen keinovikatestien suunnittelua ja niiden mittauksien ja vikojen tuomien tuloksien kirjaamista ja analysointia kehitystyötä varten.

## 2 TILAAJAN ESITTELY

Fingrid Oyj on julkinen osakeyhtiö, joka vastaa sähkönsiirrosta Suomen sähkönsiirron kantaverkossa (kuva 1). Fingridin vastuulla on kantaverkon käytön suunnittelu ja valvonta sekä verkon ylläpito ja kehittäminen. (Fingrid Oyj, 2019)



Kuva 1. Suomen kantaverkko (Fingrid Oyj, 2019).

Kantaverkossa siirretään n. 75 % Suomessa käytetystä sähköstä. Fingridillä on lähes 120 sähköasemaa ja 14 400 km voimajohtoja. Kantaverkko koostuu 400 kV, 220 kV ja 110 kV jännitteillä olevista verkonosista.

### 3 NYKYINEN KUNNOSSAPITOMALLI

Nykyinen kunnossapito ja kunnonvalvonta perustuu aikaperusteiseen ja ennakoivaan kunnossapitoon. Aikaperusteisessa kunnossapidossa kytkinlaitteet ovat huollettu ja tarkastettu tietyin aikavälein, jolloin kytkinlaitteiden huoltovälit ovat saattaneet olla liian pitkiä tai mahdollisesti liian tiheitä.

Fingridin verkossa on n. 1260 kappaletta katkaisijoita ja erottimia n. 3400 kappaletta, jolloin kunnossapidon kohdentamisen tarve korostuu. Erottimen määräaikainen huolto tapahtuu keskimäärin n. 5-8 vuoden välein. Tällä huoltovälillä erottimia pitää huoltaa pelkästään keskimäärin kahdesta kolmeen kappaleeseen viikossa.

Katkaisija huoltojen aikataulu riippuu katkaisijan mallista. Vähäöljykatkaisijan mittaushuolto tehdään 2-7 vuoden välein riippuen mallista ja täys-huolto 8-18 vuoden välein. Kaasukatkaisijan huoltoväli on 5-8 vuotta, jolloin katkaisijoiden huoltovälillä pitäisi keskimäärin huoltaa yksi viikossa. Katkaisijan huolto on monimutkaisempaa ja vie enemmän aikaa, joten tarkka tieto laitteen kunnosta helpottaa kohdentamaan kunnossapitoa.

Määräaikaishuoltojen lisäksi tulee yllättäviä vikoja tai toimintahäiriöitä (taulukko 1). Näistä aiheutuvat hälytykset, tarkastukset ja korjaustyöt aiheuttavat lisää työtunteja vuodessa. Lisäksi vuoden aikana tehdään aistinvaraisia tarkastuksia muutamasta kerrasta ylöspäin.

Taulukko 1. Katkaisijan vikailmoitukset 2018 kantaverkossa.

Kuukausi	Vikailmoitukset (kpl)
Tammikuu	10
Helmikuu	7
Maaliskuu	12
Huhtikuu	16
Toukokuu	28
Kesäkuu	3
Heinäkuu	13
Elokuu	17
Syyskuu	3
Lokakuu	0
Marraskuu	0
Joulukuu	6

Kytkinlaitteiden nykyinen valvontajärjestelmä toimii sähköaseman omien hälytyksien kautta, mutta järjestelmä ei valvo laitteiden kuntoa vaan asennotietoja ja niiden ohjausaikoja. Kytkinlaitteille tehdään käytönaikaisia määräaikaista mittauksia, mutta jatkuvaa mittausta ei ole aikaisemmin ollut.



## 4 SÄHKÖASEMAN KYTKINLAITTEIDEN DIGITAALINEN KUNNONVALVONTA

Kytkinlaitteiden digitaalisessa kunnonvalvonnassa mitataan kytkinlaitteen käytönaikaista toimintaa. Digitaalisen kunnonvalvonnan etuna on parempi näkyvyys laitekannan kunnosta, joka parantaa käyttövarmuutta sekä kustannustehokkuutta vähentämällä käyttökeskeytyksiä.

Käyttökeskeytyksien vähenemiseen vaikuttaa aikaisemmin havaitut viat sekä mittaushuoltojen vähentyminen, koska laitteiston toimintaa mitataan jatkossa jokaisella ohjauksella. Lisäksi jokaisen ohjauksen mittausdata auttaa parantamaan järjestelmän laskentaa tulevaisuudessa.

Laitekannan ollessa moninainen ja kappalemäärältään suuri vaikeutuu myös kunnonvalvonta ja kunnossapidon kokonaisuuden kohdentaminen, johon tarvitaan nykyaikaisempia ratkaisuja. Tämän vuoksi on kehitetty kytkinlaitteen käytönaikaista toimintaa tarkkaileva järjestelmä, jolloin voidaan ennakoida paremmin piileviä vikoja ja kohdentaa sekä tehostaa kunnossapitoa.

Digitaalinen kunnonvalvonta mahdollistaa laitteiden reaalisurannan ja mahdollistaa kunnossapidon muutoksen aikaperusteisesta kunnossapidosta kuntoperusteiseen ylläpitomalliin. Laitekannan kuntotiedot ovat saatavilla ympärivuoden ja tällöin saadaan tieto jokaisesta kerrasta, kun kytkinlaitetta ohjataan. Tämä tekee mittausdatasta realistisempaa verrattuna aikaisemmin tehtyihin kertaluontoiseihin mittauksiin.

### 4.1 Erottimen digitaalinen kunnonvalvonta

IoT1 päätelaite kerää erottimesta antureiden mittaamat arvot. Erottimen digitaalisessa kunnonvalvonnassa mitataan seuraavia suureita

- ohjainmoottorin virtamittaus
- ohjainmoottorin ääntä
- vaihteiston ääntä
- ohjainkotelon ääntä sisäpuolelta
- ohjainkotelon ilmankosteus ja lämpötila.

Digitaalisessa kunnonvalvonnassa on huomioitu mittauspisteet vikojen näkökulmasta. Todennäköisimmät komponentit, jotka voivat ohjaimessa rikkoutua ovat mitattuina. Tämän avulla voidaan kohdentaa paremmin kunnonvalvontaa ja todentaa eri komponenttien viat aikaisemmin.

#### 4.1.1 Ohjainmoottorin virranmittaus

Ohjainmoottorin käyttämän virran perusteella voidaan tutkia mahdollisia jähkkyksiä tai toimintahäiriöitä ohjainlaitteistossa. Moottorin virran kasvaessa voidaan todeta kuormituksen kasvaneen sekä moottorin ja vaihteiston välisessä viassa voidaan virran käytön perusteella todeta vikojen mahdollinen sijainti jo ennen paikallista tutkimista vertailemalla antureiden mittaamia tuloksia. Moottorin virtaa mitataan HALL-anturilla. HALL-anturin mittaustekniikka perustuu magneettivuon tiheyden mittaamiseen. Anturin avulla voidaan mitata johtimessa kulkevan virran suuntaa ja suuruutta.

#### 4.1.2 Ohjainmoottorin ja vaihteiston akustinen emissio

Ohjainmoottorin ja vaihteiston akustisen emission mittaauksessa voidaan ennakoida moottorin tai vaihteiston sisäisiä vikoja ja mahdollisia ulkoisten rasitteiden aikaisempaa havaitsemista. Akustista emissiota mitataan pietsoantureilla toimilaitteen kyljestä.

Erottimesta anturit on sijoitettu mittamaan ohjainmoottorin ja vaihteiston värähtelyä suoraan toimilaitteen pinnasta. Akustisen emissio mittauksen avulla pystytään tutkimaan kyseisien komponenttien värähtelyn muutosta. Värähtelyn muutos johtuu laitteen poikkeavasta toiminnasta, jolloin muutokset toiminnassa on mitattavissa.

#### 4.1.3 Ohjainkotelon ilmamikrofoni

Ohjainkotelon akustisen emission tutkimisella voidaan havaita aikaisemmin epämääräiset taajuudet, jonka avulla vian löytyminen aikaisemmin helpottuu. Ilmamikrofonin toiminta perustuu ilman värähtelyn mittaamiseen. Ilmamikroni mittaa ilmassa tapahtuvaa värähtelyä ja on tällöin taajuusalueeltaan erilainen kuin pintaan asennettu pietsoanturi.

### 4.2 Katkaisijan digitaalinen kunnonvalvonta

Katkaisijan digitaalisessa kunnonvalvonnassa mitataan seuraavia suureita

- Viritysmoottorin akustinen emissio
- Ohjainkotelon akustinen emissio
- Iskunvaimentimen kiihtyvyyden mittaus
- Kelojen virtamittaus
- Ohjauksen toiminta-aika
- Ohjainkotelon ilmankosteus ja lämpötilamittaus
- Viritysmoottorin virta

Viritysmoottorin äänen ja virran mittaaminen auttaa havaitsemaan jäykkyyden katkaisijan ohjainlaitteissa, joka helpottaa kunnossapidon kohdentamista ja vian etsintää. Kiihtyvyyssanturi parantaa näkyvyyttä iskunvaimentajan kuntoon ja auttaa havaitsemaan ajoissa muutokset iskunvaimentajan vaimennuksen tehossa.

#### 4.2.1 Viritysmoottorin virranmittaus

Katkaisijan viritysmoottorin käyttämän virran suuruutta mitataan HALL-anturilla. HALL-anturi mittaa viritysmoottorin oman syöttökaapelin vaihejohtimen ympäriltä muutokset magneettivuossa. Viritysmoottori on yksivaiheinen tasavirtamoottori, joka valmistetaan käytetyn käyttöjännitteen mukaan 110-220 VDC jännitteelle. Viritysmoottorin virranmittauksella voidaan selvittää mekaanista jäykistymistä viritysmekanismissa tai vaihteistossa.

#### 4.2.2 Viritysmoottorin akustinen emissio

Viritysmoottorin akustisen emission mittauksessa voidaan ennakoida moottorin sisäisiä vikoja ja mahdollisia ulkoisten rasitteiden aikaisempaa havaitsemista. Akustista emissiota mitataan pietsoantureilla toimilaitteen kyljestä.

Viritysmoottorin digitaalinen kunnonvalvonta vastaa erottimen ohjainmoottorin mittausta. Erottimen ohjainmoottorin ja katkaisijan viritysmoottorin erona on viritysmoottorin nopeampi kierrosnopeus. Ohjausajoissa on myös eroa, koska keskimäärin erottimen ohjausaika on 5 sekuntia ja katkaisijan 11 sekuntia. Pois lukien tietyt katkaisijamallit, joissa viritysaika on huomattavasti pienempi. Tämän takia erottimen ja katkaisijan tunnuslukulaskennassa ja mittauksissa ei tuloksia voida keskenään vertailla.

#### 4.2.3 Iskunvaimentimen kiihtyvyyden mittaus

Iskunvaimentimen vaimennuksen tehokkuutta mitataan MEMS-kiihtyvyyssanturilla. MEMS-anturi asennetaan iskuvaimentimeen ja kiihtyvyyttä mitataan y-akselin suuntaisesti. MEMS-anturi mittaa kiihtyvyyttä G-voimissa eli kiihtyvyyden yksikössä.

MEMS-anturi asennetaan iskunvaimentimen rungon pohjaan. Tällöin anturi on suoraan kiinni pinnassa, johon isku kohdistuu ja mittaa todellista kiihtyvyyttä. Kiihtyvyyssanturi on asennettu vaakatasoon mitattavaan pintaan. Tämän vuoksi mittaus on y-akselin suuntainen.

Katkaisijan vaimennin vaimentaa mekaniikkaa, jolloin laitteen ohjaukset ovat hallitumpia ja mekaanisen rasituksen kannalta kestävämpiä. Vaimentimen toiminnan muutos esimerkiksi vaimentimen sisällä oleva öljyvuoto aiheuttaa katkaisijan mekaniikalle kovempaa rasitusta. Tämä aiheuttaa katkaisijan huomattavasti nopeamman kulumisen tai jopa nopeasti tapahtuvan rikkoutumisen.

#### 4.2.4 Kelavirtojen mittaus

Katkaisijan viritysmekaniikan salpalaitteen vapauttamiseen käytettävien kelojen virranmittaukseen käytetään HALL-anturia. Salpalaite vapauttaa katkaisijan mekaniikan, jolloin riippuen ohjaussuunnasta vapautuu viritysmekaniikka jousien voimalle. Ohjainkotelon mekaniikka ohjaa katkaisijan koskettimet kiinni tai auki välitankojen välityksellä.

Kelojen virranmittauksella havaitaan mekaniikan jäykistyminen. Mekaniikan jäykistyminen vaatii kelalta kovempaa vetoa, joka nostaa kelan käyttämää virtaa. Tällöin virran tunnuslukulaskennan perusteella voidaan päätellä vian tai ongelman kohdistuvan keloihin tai salpoihin.

Katkaisijan ohjaushetkellä ensimmäinen muutos tapahtuu keloissa, joiden virranmittauksen avulla voidaan käynnistää IoT2 ja IoT3 päätelaitteiden tallennus. Virtaprofiiliin ylittäessä määritellyn rajan tapahtuu IoT päätelaitteessa triggeraus eli laite havaitsee tapahtuman ja aloittaa tallennuksen ja tiedon käsittelyn.

#### 4.2.5 Ohjauksen toiminta-aika

Ohjauksen toiminta-aikaa eli katkaisijan toiminta-aikaa mitataan kahdella tavalla. Katkaisijasta mitataan mekaanista toiminta-aikaa, jonka mittaus tapahtuu katkaisijan ohjainkotelossa. Ohjainkotelossa mitataan katkaisijan mekaaninen toiminta-aika tilatietojen apukoskettimien perusteella.

Mekaaninen toiminta-aika lasketaan katkaisijan kelavirran ohjauksen aloituskohdasta siihen hetkeen, kun apukosketin sulkeutuu tai avautuu. Katkaisijan auki ja kiinni tilalle on katkaisijassa mekaaninen apukosketinpakka ja IoT-päätelaitteessa on molemmille apukoskettimille omat tulokanavat.

Mekaaninen toiminta-aika ei ole täysin sama, kun kokonaistoiminta-aika, jolloin katkaisija on katkaissut kuorman piiristä. Kuorman katkeamiseen vaikuttaa katkaisutilanteessa tapahtuva valokaari ja sen sammuminen, jolloin piiri katkeaa vasta täysin.

Kokonaistoiminta-aika kertoo, milloin ensiöpiirin kuorma on katkaistu. Mittaus suoritetaan mittaamalla kentän virtamuuntajan toisiopiirin virtaa. Virtamuuntajanmittauksesta voidaan varmistaa täysin millisekunnilleen ohjausaika, jossa katkaisija on piirin kuorman kyennyt katkaisemaan. Virtamuuntajan mittaukseen käytetään HALL-antureita, jotka mittaavat virtamuuntajan vaihtosähkön virtaa suoraan kentän jakokaapin toisiokaapeleista.

#### 4.2.6 Ohjainkotelon ilmamikrofoni

Katkaisijan ohjainkotelon mittauksessa voidaan erottimen ohjainkotelon ilmamikrofonin tavoin havaita aikaisemmin mekaaniset muutokset ohjaimessa. Katkaisijan ilmamikrofoni on sijoitettu lähelle mekaniikkaa, jolloin moottorin pietsoanturin ja iskunvaimentajan kiihtyvyyssanturin lisäksi voidaan tutkia ohjainkotelon muita komponentteja.

Muutokset virituskoneistossa tai ohjausmekaniikassa on tällöin mahdollista havaita paremmin ja mittauksien kohdentaminen pelkästään muille ohjainkotelon komponenteille ei olisi riittävän tarkka havaitsemaan muutoksia ohjaimen toiminnassa.

## 5 KYTKINLAITTEIDEN KUNNONVALVONNAN ANTURIT JA KOMPONENTIT

Kytkinlaitteiden kunnonvalvontaan tarvitaan alkupäässä antureita ja erinäisiä komponentteja, joiden avulla saadaan kytkinlaitteen analogiset arvot kerättyä ja muunnettua digitaalseksi tiedoksi eteenpäin lähetettäväksi. Antureiden ja järjestelmän komponenttien tunteminen helpottaa ymmärtämään digitaalisen kunnonvalvonnan kokonaisuutta paremmin, jonka vuoksi seuraavaksi käsitellään eri komponentteja kokonaisuudesta.

### 5.1 Anturit

Digitaalisen kunnonvalvonnan prosessin alkupäähän tarvitaan komponentit, jotka pystyvät mittaamaan laitteissa tapahtuvia fysikaalisia muutoksia. Kunnonvalvonnassa käytetään useampaa eri anturia ja osa antureista tarvitsee päätelaitteesta käyttöjännitteen ja osa tuottaa mitattavan jännitteen omalla värähtelyllään.

Seuraavissa kolmannen tason otsikoissa käsitellään kaikki anturityypit, joita mittaustekniikassa käytetään. Antureiden malleja tai valmistajia ei

käydä läpi, mutta toimintaperiaatteet ja mittausperiaatteet käydään läpi anturi kohtaisesti.

### 5.1.1 Pietsoanturi

Anturin toiminta perustuu pietsosähköiseen ilmiöön, joka perustuu anturin kiteen ympärille tulevien levyjen mekaaniseen värähtelyyn. Mekaaninen värähtely levyjen välillä aiheuttaa sähköisen jännitteen levyjen väliin ja tätä sähköistä jännitettä mitataan levyjen väliltä. Jännitemittauksen avulla pietsoanturilla voi järjestelmä tunnistaa tietyt taajuudet laajalla skaalalla.

Pietsoantureilla mitataan katkaisijasta viritysmoottorin ja erottimesta ohjainmoottorin ja vaihteiston akustista emissiota eli pintavärähtelyä materiaalin pinnassa. Akustisella emission mittauksella voidaan tutkia materiaalissa tapahtuvaa värähtelyä, koska jokainen materiaali joustaa tietyllä asteella ja palautuessaan takaisin alkuperäiseen muotoonsa aiheutuu materiaalissa värähtelyä eli jännitysaaltoja.

Jännitysaallot aiheuttavat pinta-aaltoja materiaaliin ja pietsoanturin elementit lähtevät värähtelemään samalla taajuudella, jolloin värähtelyn taajuutta voidaan mitata jännitteen suhteesta voimakkuuteen.

Pietsoantureiden valmistustapoja on erilaisia ja kytkinlaitteiden valvonassa käytetään pietsoanturia, joka on valmistettu kahdesta päällekkäisestä levystä, joiden välissä on kide ja levy on asennettu vaaka-asentoon suhteessa mitattavaan pintaan. Tarkemmat anturit ovat valmistettu kahdesta kartion mallisesta levystä. Tämän mallin anturit mittaavat sisemmän kartion liikkuvuuden aiheuttamaa jännitettä putkien välillä. Anturin etuna on sen herkempi värähtelyn mittaaminen, mutta valmistustapa aiheuttaa moninkertaiset kustannukset, joka näkyy anturin lopullisessa hinnassa.

### 5.1.2 HALL-anturi

HALL-anturi mittaa johtimessa kulkevaa virtaa. Anturi mittaa johtimen ympärillä olevan magneettivuon tiheyden muutosta. Magneettivuon muutos aiheuttaa puolijohdeanturiin johdetussa jännitteessä muutosta. Jännitteen vahvuuden muutoksella anturissa voidaan laskea virranmuutos ja kulkuun johtimessa.

Kytkinlaitteiden mittaukseen käytettävät HALL-anturit pystyvät mittaamaan virtaa +35 A ja -35 A:in välillä. Anturilla voidaan mitata tasa- tai vaihtovirtaa, jolloin mittauksen käsittelyssä IoT päätelaitteella tarvitsee tehdä

muutoksia johtuen anturin vaatimista biasointijännitteistä tasa- ja vaihtovirran välillä.

### 5.1.3 Ilmamikrofoni

Kytkinlaitteiden ohjainkotelon äänen mittaukseen käytetty ilmamikrofoni on elektreettimikrofoni. Ilmamikrofoni mittaa ilman värähtelyä. Ilmassa kulkeva jännitysaalto kuljettaa impulssienergian anturin kalvolle, joka alkaa värähdellä ja muuttaa jännitettä. Värähtelevän jännitteen vahvistamiseen ilmamikrofoni käyttää FET-anturia.

Ilmamikrofonin amplitudi ylettyy kytkinlaitteiden mittauksessa n. 30 kHz taajuudelle, jolloin ilmamikrofonin avulla voidaan kuulla ohjainkotelon sisällä tapahtuvat muutokset. Muiden antureiden avulla kohdennetaan ja parannetaan tarkkuutta.

### 5.1.4 MEMS-kiihtyvyyssanturi

MEMS-anturi eli mikroelektronikan anturi on mikro elektroninen mekaaninen anturi. MEMS on tekniikka, jonka avulla valmistetaan useita eri määreitä mittaavia antureita. Kiihtyvyyssanturin toiminta perustuu erittäin pienen kiihtyvyyttä mittaavaan elementtiin mikropiirissä, jonka liike aiheuttaa jännitteen muutoksen mikropiirin komponentissa.

MEMS-anturin sisällä on seisminen massa. Seismisessä massassa olevan levyn liike aiheuttaa reunoilla oleville koskettimille jännitteen muutosta. Jännitteen voimakkuuden muutoksen avulla voidaan mitata kiihtyvyyden intensiteettiä. Piikiekko tai massa kelluu komponentissa jousien varassa, joka mahdollistaa liikkeen piikiekolle.

Katkaisijan iskunvaimentimen MEMS-anturi pystyy mittaamaan  $\pm 200$  G:n voimaan asti. MEMS-anturi pystyy mittaamaan kiihtyvyyttä kolmen vektoriakselin suuntaisesti, kahdella vaak- ja yhdellä pystyakselilla, mutta iskunvaimentimen mittauksessa käytetään vain y-akselin suuntaista kiihtyvyyttä johtuen sen asennustavasta.

## 5.2 IoT-päätelaitteet

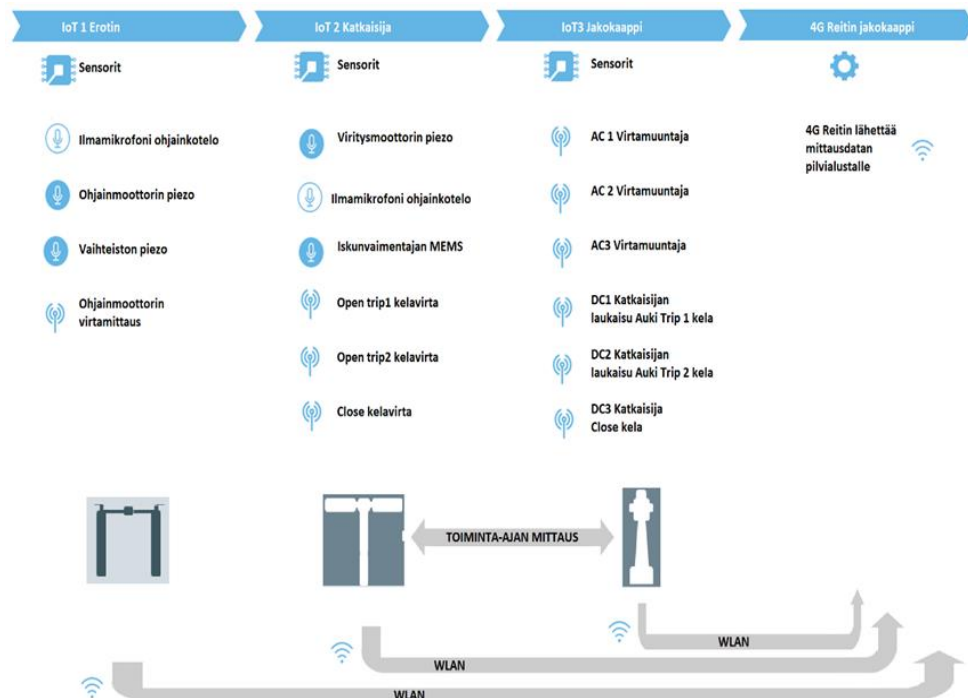
IoT-päätelaitteet ovat kytkinlaitteen ohjainkotelossa olevat valvontalaitteistot, joihin anturit on johdotettu. IoT-päätelaitteet keräävät antureiden tiedot ja tekevät tarvittavat muunnokset ja lähettävät tiedon eteenpäin reitittimen kautta pilvialustalle.

IoT-päätelaitteen käyttöjännite on 230 VAC. Päätelaitteen sisällä tehdään 230 VAC muunnos 12 VDC jännitteelle. Tämän jälkeen jännite muutetaan vielä anturin tyyppin mukaan 3-5 VDC jännitealueelle. HALL-anturit toimivat 5 VDC ja loput antureista 3 VDC jännitealueella.

IoT-päätelaitteita on kytkinlaitoksessa kolme eri mallia. IoT1-päätelaite on erottimen yksikkö. IoT2 on katkaisijan yksikkö ja IoT3 mittaa kentän jakokaapissa virtamuuntajan toisiovirtaa ja katkaisijan kelojen virtoja. Kuvassa 2 on havainnollistettu IoT-päätelaitteiden kanavat ja yhteyden toimintaperiaate.

IoT1-päätelaite on asennettu myös maadoituskytkimen ohjaukseen, jonka rakenne on erottimen ohjainkotelon kopio. Maadoituskytkimen ohjainkotelon mittaustekniikkaa tai tunnuslukuja ei tässä työssä käsitellä, koska mittausten periaatteet vastaavat erottimen ohjainkoteloa.

Päätelaitteiden erottelu johtuu mitattavien suureiden eroavaisuuksista, jolloin IoT-päätelaitteen tulosignaalien ja sisällä tapahtuvien ohjelmallisten laskentojen erot eivät mahdollista saman yksikön käyttöä molemmissa kytkinlaitteissa.



Kuva 2. IoT päätelaitteet ja niiden antureiden mitattavat suureet.



## IoT1

IoT1-päätelaite mittaa erottimen toimintaa. IoT1-päätelaitteessa on 7 kanavaa, jotka ovat seuraavia

- 2+2 äänikanavaa 96 kHz 16-bit.
- 1 tulokanava 500 Hz, -20...+20 A, DC
- 2 lähtökanavaa releille.

2+2 äänikanavat mittaavat ohjainkotelosta ääntä ilmamikrofonilla, moottorista pintavärähtelyä pietsoanturilla ja vaihteistosta pintavärähtelyä pietsoanturilla. Lisäksi yksi kanava on varalla tulevaisuuden mahdollisia kehitystarpeita varten. Pietsojen keskimääräinen maksimi amplitudi on n.30 kHz. Tällä alueella mittaustulokset ovat vielä luotettavia.

500 Hz DC kanava mittaa ohjainmoottorin käyttämää virtaa HALL-anturin avulla. Pohjakortissa on lisäksi kosteus ja lämpötila-anturille tulokanava sekä erillinen ulkoinen antenniliityntä langatonta tiedonsiirtoa varten.

## IoT2

IoT2-päätelaite mittaa katkaisijan toimintaa. IoT2-päätelaite käsittelee 11 kanavaa, jotka ovat seuraavia

- 2+1 äänikanavaa 96 kHz 16-bit
- 1 tulokanava virralle 500 Hz, 0...45 A, DC
- 3 tulokanavaa virralle 12 kHz, 0...10 A, DC
- 2 lähtökanavaa releille
- 2 tulokanavaa apukoskettimille.

Yksi äänikanava on viritysmoottorin pietsoa varten, joka mittaa pintavärähtelyä katkaisijan viritysmoottorista. Toinen äänikanava on ohjainkotelon ilmamikrofonia varten sekä lisäksi kolmas 96 kHz kanava on MEMS-anturille, joka mittaa iskunvaimentimen kiihtyvyyttä.

500 Hz DC kanava mittaa viritysmoottorin virtaa ja kolme 12 kHz tulokanavaa mittaavat katkaisijan kelojen virtaa. Katkaisijassa on kaksi kappaletta auki-kehoja ja yksi kappale kiinni-kehoja. Kelojen avulla vapautetaan salpa, jonka avulla mekaniikka pääsee liikkumaan ja halutun suunnan ohjaus saadaan aikaiseksi.

Apukoskettimien tulokanavat käsittelevät katkaisijan apukoskettimia, joiden avulla saadaan mitattua ja todennettua katkaisijan mekaaninen toiminta-aika. Päätelaitteessa olevat puolijohde-tulokanavat mittaavat katkaisijan mekaanisten apukoskettimien toiminta-ajan. Toiminta-aika on tyyppillisesti 25 ms luokkaa, jolloin päätelaitteen mittauksen täytyy olla tarkka eikä usean millisekunnin satunnaisia heittoa voida hyväksyä.

### IoT3

IoT3-päätelaite mittaa kentän jakokaapista kentän toimintaa ohjauksien aikana. IoT3:ssa on 6 kanavaa, jotka ovat seuraavia

- 3 tulokanavaa virralle 12 kHz, -1...1 A, AC
- 3 tulokanavaa virralle 12 kHz, 0...10 A, DC.

AC kanavat mittaavat virtamuuntajien toisiovirtoja ja tämän avulla saadaan mitattua tarkka aika, milloin katkaisija on katkaisut virran ensiöpiiristä. Tämän ajan avulla saadaan laskettua katkaisijalle tarkka toiminta-aika eli aika, jossa katkaisija on kyennyt katkaisemaan kuorman.

DC kanavat mittaavat katkaisijan kelojen virtaa. Kelojen ohjausvirran avulla saadaan IoT3-päätelaite tietämään, milloin kytkinlaitteessa tapahtuu ohjauksia. Tämän avulla tapahtuu päätelaiteen triggaus eli hetki, kun päätelaite aloittaa tilanteen tallentamisen ja ohjelmoidut toiminnat, joiden avulla tiedot päätyvät lopulta pilvialustalle.

### IoT-päätelaitteet

Kaikissa IoT-päätelaitteissa tapahtuu alustava tiedon muokkaus analogiasignaaliille, jolloin mitattua signaalia vahvistetaan tai vaimennetaan differentiaalimuuntimella. Tämän jälkeen signaalia muokataan sopivalle taajuusalueelle ohjelmoitavalla analogiavahvistimella eli oskillaattorilla. Analogia-digitaalimuunnoksen muokkauksen tuloksena syntyy kohinaa, jota kortilla mallinnetaan ja likimääräistetään eli kvantisoidaan halutulle näytteenottotaajuudelle ja muunnetaan tämän jälkeen ohjelmapohjaisesti wav-tiedostoksi.

IoT-päätelaitteiden käynnistyminen ja tiedon tallentaminen on ohjelmoitu alkavan, kun erottimen ohjausmoottorin johtimessa kulkee virtaa tai katkaisijan auki tai kiinni keloissa havaitaan virtaa. Päätelaite puskuroi jatkuvasti mitattuja tietoja. Laukaisun tai ohjauksen tullessa on kortilla muistissa puskuroitua dataa, jolloin päätelaitteen havahtuessa on alun tapahtumista riittävä ennako ennen ohjauksen varsinaista alkamista.

## 5.3 Tiedonsiirto

Mittaustietojen keräämisen jälkeen kytkinkentältä tietojen eteenpäin lähettämiseen pilvialustalle tarvitaan yhteysprotokolla eteenpäin. IoT-päätelaitteet kytkinlaitoksen kentän jakokaapeissa ja ohjainkoteloiden lähettävät kerätyt tiedot reitittimelle WLAN verkon avulla. Reititin lähettää tiedot pilvialustalle 3G/4G yhteyden avulla.

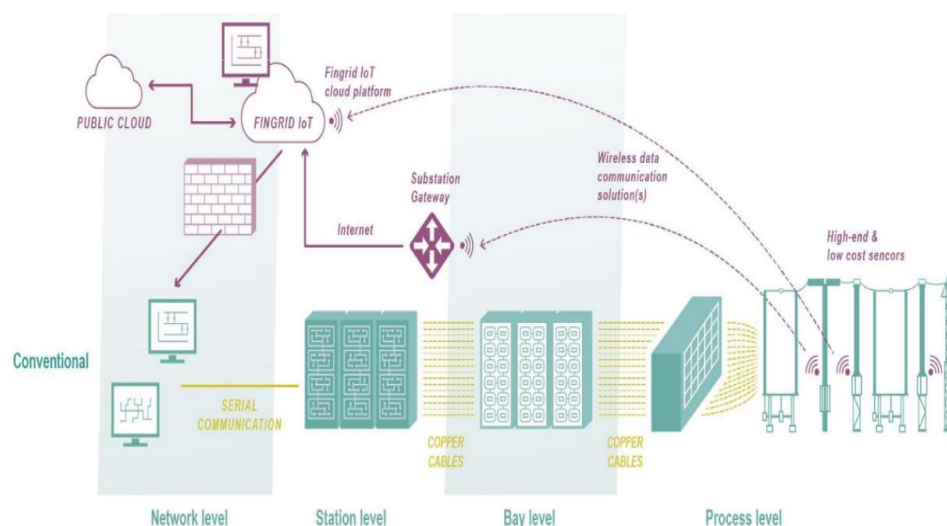
### Mittaustietojen tiedonsiirto kytkinlaitosalueella

Mittaustietojen tiedonsiirtoon käytetään kytkinkentän alueella WLAN verkkoa. Verkonprotokolla on 802.11g 2.4GHz, joka pystyy liikennöimään 54Mbps:n nopeudella. Yksittäiset tiedostot ovat 3.5-5 MiB kokoisia ja tiedostoja tulee yhdestä ohjauksesta erottimella neljä kappaletta ja katkaisijalta seitsemän kappaletta sekä katkaisijan ohjauksen yhteydessä jakokaapin päätelaitteelta 6 tiedostoa.

Reitin lähettää tiedot 3G/4G yhteyden avulla pilvialustalle. Mittaustiedot muutetaan kytkinlaitteen ohjainkotelossa olevassa IoT-päätelaitteessa ohjelmamuunnoksella wav-tiedostoksi. Pilvialustalle lähetetyt tiedostot ovat wav-tiedosto ja lähetyksen telemetritiedosto, joka tulee json formaatissa. Kaikissa lähetyksissä lähetetään mukana myös telemetritiedot.

### Reitin / gateway

Mittausdatan lähettäminen pilvialustalle toteutetaan reitittimellä suoraan kytkinlaitoksen jakokaapilta. Jakokaapilla oleva reititin on yhteydessä jokaiseen IoT-päätelaitteeseen WLAN verkon avulla ja päätelaitteiden tuottamat tiedostot reititin lähettää pilvialustalle. Reititin lähettää tiedostot pilvialustalle 3G/4G LTE verkon avulla. Erillisen reitittimen käyttö mittaustietojen lähettämiseen parantaa tietoturvaa, koska järjestelmä on täysin erillään asemalla tapahtuvasta tietoliikenteestä kuten kuvassa 3 ilmenee. Tämä parantaa järjestelmien välistä tietoturvaa.



Kuva 3. Perinteinen ja IoT-ratkaisu kytkinlaitteiden tietojen lähettämiseen. (Tammi, 2018)

## 6 DATAN AGGREGOINTI JA VISUALISOINTI

Datan aggregointi ja analysointi on prosessin tärkeimpiä kohtia koska, laadukaskin data voidaan pilata huonolla laskennalla ja visualisoinnilla. Kunnanvalvontaan kehitettävän työkalun tulee olla sellainen, että loppukäyttäjä näkee sen järkevetoimisena ja pystyy luottamaan saamaansa tietoon. Datan aggregointi sisältää digitaalisessa kunnanvalvonnassa mittausdatan raakadatan käsittelyn haluttuun muotoon. Visualisoinnin avulla saadaan mittausdatalla näytettyä muutokset mittaustuloksissa.

### 6.1 Datan aggregointi

Datan aggregointi eli mitattujen tietojen yhdistäminen ja summaaminen kokonaisuuden kannalta tarpeelliseksi tiedoksi tapahtuu Microsoftin pilvialustalla. Mitatun datan käsittely alkaa jo IoT-päätelaitteessa, mutta päätelaitteesta lähetetty tieto vaatii vielä useamman vaiheen ennen sen visualisointia. Alla on käsitelty pääpiirteittäin prosessin kulku raakadatatista loppukäyttäjälle silmälliseksi.

#### 6.1.1 Microsoft Azure

Microsoft Azure on julkinen pilvialusta, jonka tarkoituksena on toimia virtuaalialustana tai kehitysalustana erilaisille esineiden internetin järjestelmille. Azuren kautta voidaan luoda ratkaisut tietojen keräämiselle ja sen tutkimiselle internetin välityksellä niin tietokoneen kuin mobiililaitteen kautta. Azure pilvialustalla tapahtuu kaikki laskenta, joiden avulla pilveen lähetetyt tiedostot voidaan muuttaa visuaalisemmaksi ja sisällyttää toimintaan älykkäämpää ja automaattisempaa toimintaa.

Pilvialustalle lähetetty wav-tiedosto päättyy pilvialustan tiedostovarastoon eli blob storageen. Blob storage on tarkoitettu pilvialustalle tallennettaville suurille strukturoimattomille datamassoille, kuten teksti-, kuva-, video-, ja äänidatalle. Blob storagesta ohjelman analytiikkaosasto eli Databricks tietää noutaa tiedoston käsittelyä varten. Databricksiin toimitetaan wav-tiedoston pilveen lähetys hetkellä telemetry tiedosto, jonka avulla analytiikka osaa kohdistaa laskentaan halutut wav-tiedostot blob storagesta.

Telemetria tiedostot lähetetään kytkinlaitokselta muiden saman ohjauksen aikana tulleiden tiedostojen kanssa Azuren pilvialustalle, jossa ne kulkevat suoraan databricksiin ja varmuuskopioidaan Cosmos Datablockiin. Telemetria tiedoston avulla laskenta voidaan käynnistää ja kohdentaa oikeaan tapahtumaan.

*Telemetry tiedosto sisältää lähetyksen sisältämät tiedot, joita ovat*

- *Telemetrytiedoston id-tunnus*
- *Schema eli kaavio versio*
- *Laitteen id-tunnus*
- *Antureiden id-tunnus*
- *Aikaleimat mittausajan kohdasta*
- *Äänitiedoston nimet*
- *Kytkinlaitteen ohjaussuunta.*

### 6.1.2 Microsoft Databricks

Databricks on Azuren pilvialustan analytiikka-alusta, joka tekee kaiken ohjelmoidun laskemisen mitatulle datalle. Databricksissa tapahtuu mitatun tiedon spektrianalysointi eli signaalin taajuusjakauman tutkinta ja matemaattiset signaalilaskennat. Signaalilaskennat sisältävät mm. taajuuden voimakkuuden, huipukkuuden, huippuarvoisuuden ja tehollisarvon laskentaa.

Signaalinlaskennan jälkeen tehdään Fast Fourier muunnos, jonka jälkeen laskentatulokset voidaan mallintaa sinimuotoisten funktioiden integraalina. Tämä tarkoittaa signaalin analysoinnista tulleiden tulosten jatkuvan integraalimuunnoksen tekemistä, jonka avulla mittaustiedot saadaan mallinnettua sinimuotoisiin taajuustason funktioihin ja laskettua näistä tunnuslukuja.

Fourier muunnoksen tarkoituksena on integroida aikatason signaali eri taajuuksille tapahtuviin funktioihin, joiden avulla voidaan tutkia mitatun signaalin taajuuksien vaihtelua tiettyinä ajankohtina. Yksittäisen anturin mittamaa tiedoston ääntä käsitellään siis yhteenlaskettuna määränä eri taajuuksilla ja voimakkuudella olevilla sinikäyrillä.

Laskennan ja muunnoksen jälkeen voidaan tuloksista muodostaa kolmiulotteinen spektrogrammi, jonka avulla kaikki osataajuudet signaalista saadaan mallinnettua. Spektrogrammi on moniulotteinen x, y ja z akselinen kuvaaja signaalista, joka mallintaa äänisignaalin kokonaisuuden kailta osataajuuksilta ja voimakkuuden tasoilta aikatasolla.

Spektrogrammin x-akselin lineaarisuuntaisen ajansuhteen tehty viipalointi tuottaa jokaisesta hetkestä kuvaajan eli spektrin. Äänen spektrissä käsitellään äänentaajuuden amplitudin suhdetta taajuuteen eli taajuusjakaumaa mittauksen kokonaisajalta.

Spektrogrammin tietojen pohjalta tehdään spektrianalyysia, joissa haetaan seuraaville asioille tunnuslukuja

- Huipukkuus (kurtosis)

- Huippukerroin (Crest factor)
- RMS neliöllinen keskiarvo eli tehollisarvo (RootMeanSquare)
- Huipusta huippuun arvo (peak to peak)

Spektri on taajuustason tulos mittauksesta ja spektrogrammi aikatason summa taajuusjakaumasta. Tunnukslukujen laskennan tulokinnassa pitää huomioida kumpaa asiaa tunnusluvuissa käsitellään. Keinovikatestien tunnuslukujen tutkinnassa on taajuustason tunnuslukuja vain spektri keskittymä (Spectral Centroid) ja spektrin vinous (Spectral roll off), jolloin spektrianalyysi keinovikatestien osiossa ei visualisoi suoraan tunnuslukuja, jotka on esitetty tunnuslukujen tutkinta kohdassa.

Aikatason tunnuslukujen visualisointiin käytettävä spektrogrammi esimerkki on esitelty ennen keinovikatestien tuloksien läpikäyntiä. Taajuustason ja aikatason vertailu on tärkeää, koska tämän avulla saadaan kokonais käsitys mittauksen ajalla tapahtuneista muutoksista.

Lisäksi virranspektristä lasketaan seuraavia tunnuslukuja

- Moottorin virralla toiminta-aika sekuntia (Operation duration(s))
- Virran tasaisenosan maksimi arvo (Motor current flat max)
- Virran tasaisenosan keskiarvo (Motor flat mean)
- Virran tasaisenosan alinarvo (Motor flat min)
- Virran keskihajonta (Motor current flat standard deviation = Flat St.Dev)
- Virran pinta-ala (Motor current integral)
- Virran huippuarvo (Motor current peak).

Analyysien avulla saadaan tunnuslukuarvoja, joiden avulla voidaan laskea mittaustuloksen muutosta suhteessa edellisiin arvoihin ja tämän avulla mitata kytkinlaitteen toimintaa aikaisempiin ohjauksiin. Lasketut tunnusluvut tallennetaan SQL kantaan, josta tunnuslukujen hakeminen voidaan suorittaa visualisointia varten. (Hovi, 2018)

## 6.2 Datan visualisointi

Datan visualisointi eli laskettujen tietojen näyttäminen ihmiselle silmäiltäväksi graafiseen tai numeeriseen muotoon tapahtuu erillisellä alustalla. Datan visualisoinnilla saadaan nopeampi nähtävyys mitattuun tietoon, jolloin päätöksen tekeminen nopeutuu ja helpottuu.

Datan visualisointi loppukäyttäjälle miellyttäväksi on ketjun tärkeimpiä osia, koska kunnonvalvontatyökalun käyttöaste määräytyy helposti sen käytön helppouden ja toimivuuden perusteella. Hankalaa järjestelmää ja suurta määrää analysointia on turhanpäiväistä pyörittää jo muutenkin kii-reellisen työarjen keskellä.

Työn ja analysoinnin helpottamiseksi on oltava oma työkalu, joka helpottaa kytkinlaitteiden kunnonvalvontaa. Datan visualisointi tapahtuu Microsoftin Power BI:lla. Power BI hyödyntää visualisoinnissa valmiiksi laskettuja tunnuslukuja, jotka on tallennettu SQL kantaan.

### 6.2.1 Microsoft SQL kanta

SQL on kyselykieli, jonka avulla tietokannasta voidaan hakea tietoa. SQL eli structured query language on relaatiotietokannan kyselykieli, jonka IBM on kehittänyt ja standardisoinut. Relaatiotietokanta on tietokanta, joka perustuu ehdollistettuun taulukkolaskentaan eli kahden tai useamman asian vertaamista toisiinsa.

Microsoft SQL-kanta tai SQL Server on relaatiotietokanta, johon Azuren databricksin laskemat tiedostot tallentuvat ja niitä voidaan tästä varastosta kysellä eri visualisointialustojen avulla. SQL kanta on varasto lasketulle datalle, jota Power BI tai vastaava SQL kantaa hyödyntävä ohjelma voi käyttää tiedon haussa. (Chapple, 2019)

### 6.2.2 Microsoft Power BI

Microsoft Power BI on visualisointiin tarkoitettu verkkopohjainen alusta, johon voidaan ladata tiedot ja sen perusteella tehdä haluttu näkymä tiedon visualisoinnille. Power BI pystyy visualisoimaan monesta tiedostomuodosta ja lähteestä ladattavia tiedostoja. Power BI hyödyntää Excel taulukoista aina SQL kantaan. Kytkinlaitteiden visualisoinnissa käytetään SQL kannasta haettavia valmiiksi laskettuja tunnuslukuja, jotka visualisoidaan Power BI:ssa.

Visualisoinnin päätarkoitus on tehdä mittaustiedot mahdollisimman helpolukaiseksi, jolloin arvioinnin ja päätösten tekeminen nopeutuu. Power BI:n etuna on myös sen käyttömahdollisuus mobiilina ja helppokäyttöisyys. Power BI on yksinkertaisuudessaan nykyaikainen ratkaisu tallennettujen tietojen visualisointiin, johon ennen käytettiin erilaisia kaavoja ja taulukoita Excelissä, mutta nykyaikaisemmalla Power BI:llä on helpompi suodattaa haluttuja tietoja. (Microsoft, 2019)

### 6.2.3 Asset intellect

Asset intellect on ohjelma-alusta visualisointiin. Asset intellectin avulla voidaan yhdistää usean eri lähteen tietoja ja saada niiden avulla data visualisoitua kokonaisuudeksi yhdelle tarkastelualustalle. Ohjelman avulla saadaan automatisoitua datan visualisointi prosessia.

Asset intellect pystyy mitattujen ja käsiteltyjen tiedostojen avulla automaattisesti seuraamaan jokaisen mittauksen tuloksia ja tämän avulla hälyttämään ohjelman käyttäjiä muutoksista mitatuissa tuloksissa. Hälytysten avulla ei järjestelmän mittauksia tarvitse erikseen seurata vaan kytkinlaitteen kuntoilan muuttuessa tulee hälytys. Tämän avulla voidaan ennakoita ja suunnitella kytkinlaitteelle etukäteen huoltoa tai äkillisen vian tapahtuessa voidaan etukäteen tutkia mahdollinen ongelma.

Lisäksi automaatio-ohjelman toiminta vapauttaa työaikaa ja tehostaa valvonnan merkitystä. Automaattisten ilmoitusten ja raporttien perusteella pystytään parantamaan huomattavasti tietoa kytkinlaitteiden kunnosta sekä nopeuttamaan päätöksen tekoa kytkinlaitteen kunnossapitoa varten.

Ohjelman avulla voidaan loppukäyttäjälle tehdä haluttu näkymä kytkinlaitteiden mittaustuloksista. Tulokset voidaan esittää graafeilla tai numeerisesti. Lisäksi datan visualisoinnin lopputyökaluun voidaan lisätä yksinkertaisempia keinoja ilmoittaa kytkinlaitteen kunto. Esimerkiksi värikoodeilla tai asteikolla, jolloin saadaan nopeaa tietoa laitteen kunnosta.



## 7 KYTKINLAITTEIDEN KEINOVIKATESTIT

Keinovikojen avulla tutkittiin muutoksia mittaustuloksissa kytkinlaitteiden vikaantuessa. Keinovikatestejä varten Fingrid rakennutti testikentän, joka sisälsi erottimen ja katkaisijan. Testien avulla saatiin luotettavaa mittaus-tietoa kytkinlaitteista, jonka avulla voidaan tutkia järjestelmän toimintaa ja kehittää mittaustekniikkaa.

Keinovikatestit tehtiin useampana päivänä ja jokaisen testin alussa tehtiin koeohjaukset kytkinlaitteisiin ilman vikoja. Tämän jälkeen laiteeseen tehtiin etukäteen suunniteltu vika. Keinoviat pyrittiin tekemään mahdollisimman tarkasti simuloimaan aitoa vikaa. Vikoja suunniteltaessa vertailtiin yleisimpiä vikoja, joita kytkinlaitteisiin on tullut.

Keinovikatestien järjestys suunniteltiin tarkasti, koska laitteiston vaurioituminen ennen viimeisen testin tekemistä keskeyttäisi koko testin ja mahdollisesti tekisi lopullisen analysoinnin tuloksista tarpeettomia. Keinovikojen suunnittelussa huomioitiin erityisesti henkilöturvallisuus, koska kytkinlaitteiden rikkoutuessa ympäristö voi muuttua nopeasti hengenvaaralliseksi.

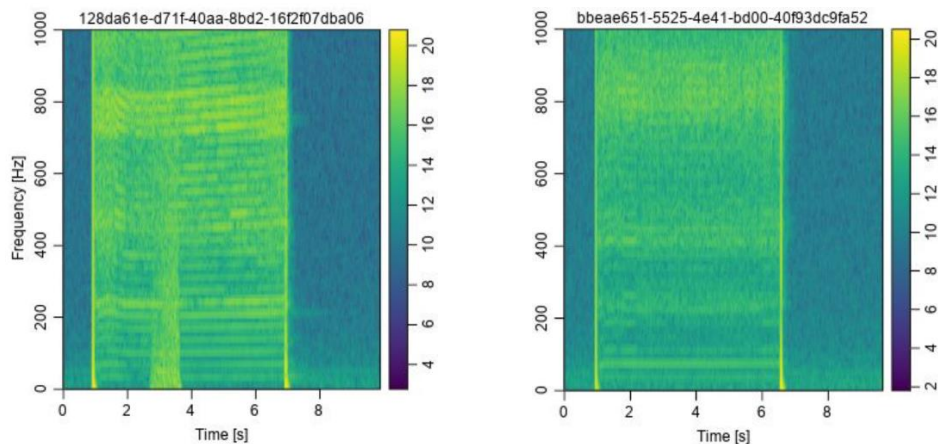
Keinovikatestien tunnuslukulaskennan laskemat numerot vaihtelevat tiettyjen testien välillä, koska järjestelmän mittaustekniikkaa parannettiin jatkuvasti kehitystyön varrella. Mittaustekniikan parantuessa tunnuslukulas-kenta muuttuu tarkemmaksi, jolloin lasketut arvot voivat poiketa aikai-semmalla tekniikalla mitatuista.

### 7.1 Kytkinlaitteiden vikojen analysointi

Vikojen havaitsemiseen ei riitä pelkästään taajuustason tunnuslukujen tutkinta spektristä. Taajuustason tunnuslukujen avulla lasketaan koko ohjauksen aikana tapahtuneita muutoksia taajuuksien amplitudien muutoksesta spektrissä. Ohjauksen aikana muutokset osataajuuksiin voivat olla pieniä, mutta tärkeitä tunnuslukujen laskennan kannalta.

Akustisen emission mittauksesta tulevalle wav-tiedoston raakadatalle tehdään FFT-muunnos eli nopea Fourier muunnos. FFT-muunnos on laskenta alustalla suoritettava algoritmi äänitiedostolle. FFT-muunnoksen tarkoitus on muuttaa signaali aikatasosta taajuustasolle. Vikojen analysoinnin kan-nalta on tärkeää nähdä aikatasolla tapahtuvat muutokset spektrogrammista. (Helsingin Yliopisto, 2011)

Spektrogrammi (kuva 4) on visuaalinen tapa esittää mittauksesta tulleita taajuuksia ajan funktiona. Spektrogrammissa näkyy ohjauksen aikana tulleen äänen osataajuudet ja ohjauksen taajuusrakenne aikatasolla. (Smith, 2018)



Kuva 4. Kahden eri erottimen spektrogrammi.

Spektrogrammeissa voi huomata toisenmallisen erottimen olevan äänispektriltään erilainen. Vasemmanpuoleisessa taajuudet ohjauksen ajalta ovat voimakkaampia lähes kaikilla osataajuuksilla.

Keinovikojen spektrianalysoinnissa käytetyt taajuustason spektrit ovat kärkeää analysointia muutoksesta, jossa ei näy ohjauksen aikana tapahtuvia muutoksia aikatasolla. Taajuustason spektri tuottaa nopean kuvan muutoksesta, mutta tarkemman lopputuloksen saamiseksi lasketaan myös aikatason tunnuslukuja sekä analysoidaan spektrogrammin muutoksia.

Vikaa etsiessä spektrogrammin ja aikatason tunnuslukujen laskenta on tärkeää, jolloin voidaan tutkia paremmin kaikkia osataajuuksia ohjauksen ajalta. Akustisen emission mittauksesta on paljon tutkimustietoa ja tämän pohjalta voidaan tulkita tiettyjen tunnuslukujen muutoksen johtuvan esimerkiksi laakeriviasta.

## 7.2 Erottimen keinovikatestit

Erottimen keinovikatestien suunnittelu aloitettiin tutkimalla aikaisempia vikoja erottimissa ja tämän pohjalta suunniteltiin keinovikojen työsuunnitelma. Erottimen keinoviat aloitettiin pienimmistä ja yleisimmistä vioista.

Erotimeen tehtiin kesän aikana useampi koeohjaussarja, joiden tarkoituksena oli saada enemmän dataa analysoitavaksi. Lisäksi pystyttiin seuraamaan järjestelmän toiminnan olevan riittävän toistettavaa tuloksien kanalta.

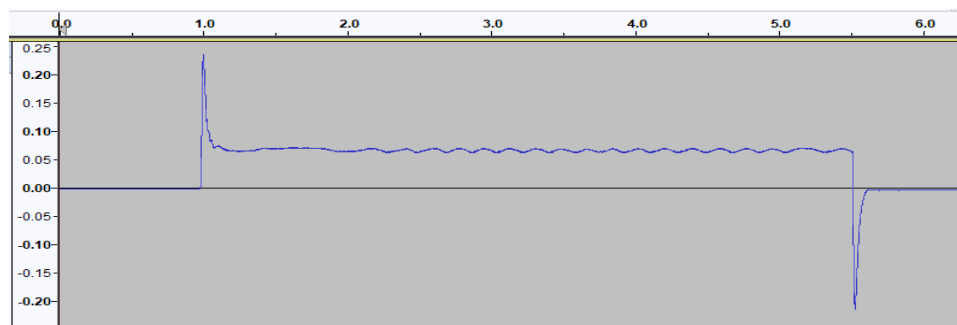
### 7.2.1 Koskettimien jäykistäminen

Ensimmäinen keinovika erottimeen oli erottimen koskettimien jäykistäminen. Koskettimien jäykkyys luotiin kumisilla lapuilla koskettimien päissä. Kumilappujen avulla koskettimien kosketuspinta kasvoi ja aiheutti vastusta. Erottimen avautuessa ja sulkeutuessa vastus oli hetkellinen.

Mittaustulosten perusteella havaittiin lievää muutosta tuloksissa, mutta erottimen voima on suuri. Tällöin jäykkyyden pitäisi olla vielä huomattavasti suurempaa, jotta se vaikuttaisi moottorin virran nousuun tai akustisen emission mittauksiin enemmän.

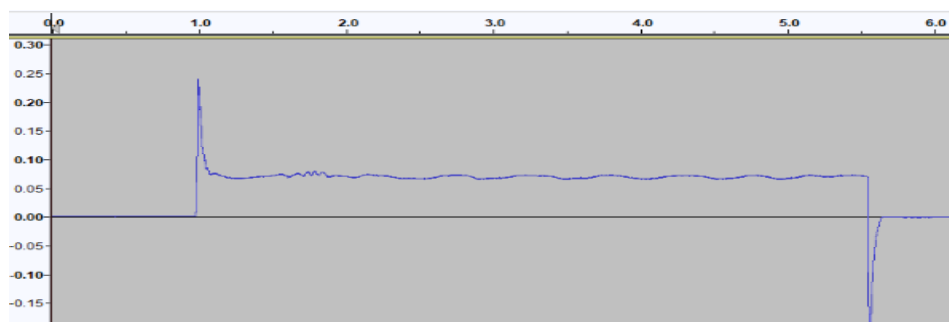
#### Keinovika 1 virtaprofiili

Koskettimien jäykistämisen vaikutukset ohjainmoottorin virtaprofiiliin on vertailtu alla olevissa kuvissa 5 ja 6. Virtaprofiilin alussa 70 ms kohdalla voi havaita lievää virran värähtelyä, joka johtuu koskettimien avautumisesta. Jäykistäminen muutti lievästi keinovialla olevaa profiilia alussa.



Kuva 5. Virtaprofiili auki ilman keinovikaa.

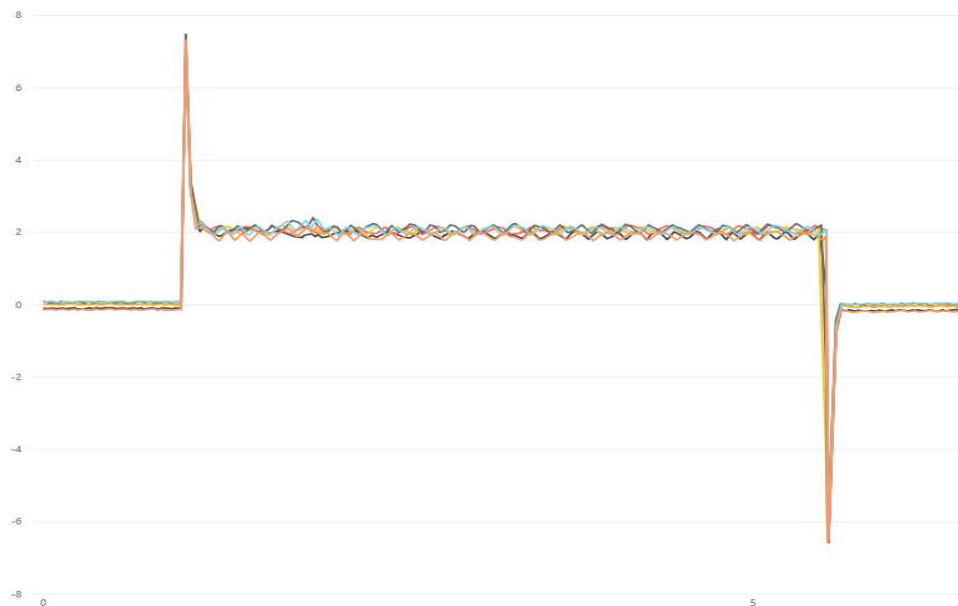
Virtaprofiilin tutkimisessa eri ohjauksien välillä huomaa liikkeen epäsäännöllisyyden ohjauksien välillä (kuva 7). Jokainen ohjaus ei ole täysin samanlainen, mikä vaikeuttaa pienempien vikojen havaitsemista. Virtaprofiilin tutkimisessa eri ohjauksien välillä huomaa liikkeen epäsäännöllisyyden ohjauksien välillä.



Kuva 6. Virtaprofiili auki keinovialla.

Kuvassa 7 on virtaprofiilit kuudelta eri ohjaukselta, joista kolme on ilman keinovikaa ja kolme keinovialla. Profiilissa harmaat ja punainen on ilman keinovikaa ja loput värilliset keinovialla. Kaikissa keinovialla olevissa virtaprofiilissa tapahtuu tasaisesti muutosta juuri erottimen avaushetkellä n. 70 ms kohdalla, jonka näkee kuvasta 7.

Virtaprofiilissa tapahtuva muutos johtuu koskettimien aukeamisen ajankohdasta, muuten virranprofiili on tasaisempi. Viivadiagrammin amplitudin vahvistuminen ja taajuusalueen tasoittuminen koko ohjauksen ajalta voidaan päätellä johtuvan alkuliikkeen hidastumisesta.



Kuva 7. Keinovika 1 kaikki ohjaukset auki-suuntaan.

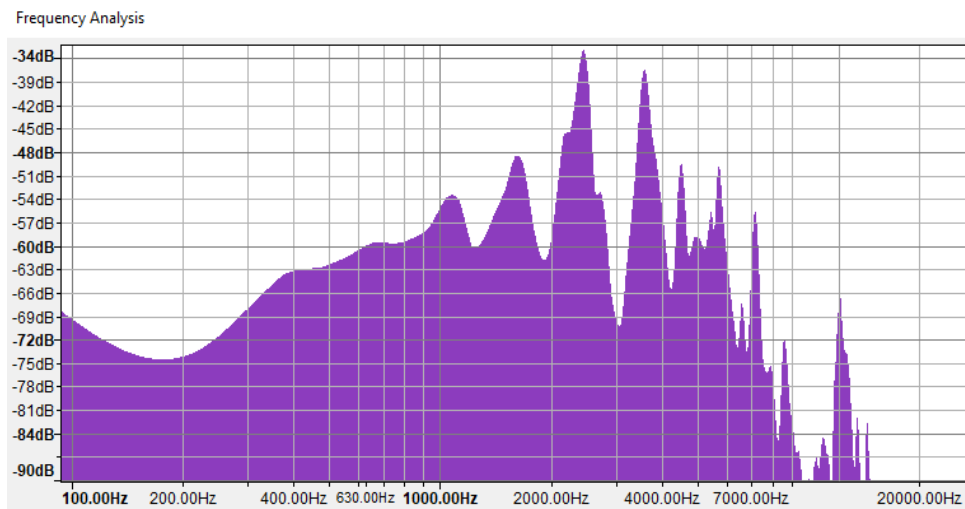
#### Keinovika 1 akustisen emission spektrianalyysi

Akustisen emission äänispektreissä havaitut muutokset ovat pieniä, jolloin pienemmän vian havaitseminen niistä suoraan ei onnistu, koska tunnuslukulaskenta vaatii suuremman muutoksen. Muutokset koskettimien jäykistämässä tapahtui 400-600 Hz taajuuden välillä. Muutokset olivat kuitenkin niin pieniä, ettei vikaa pysty kohdentamaan näin pienestä vastuksesta.

Myöhemmän vaiheen anturikehityksen jälkeen ei koskettimien jäykistämistä suoritettu, koska keinovian muutos oli pieni. Tällöin keinovian toistamiselle ei ollut riittäviä perusteita aikaisempien mittausten ja havaintojen perusteella. Järjestelmän kehitystyön jälkeisillä antureilla ja mittaus tekniikalla pienen keinovian toteaminen on tarkempaa, mutta keinovian ollessa silmämääräisesti lähes huomaamaton on keinovikaa turhaa toistaa.

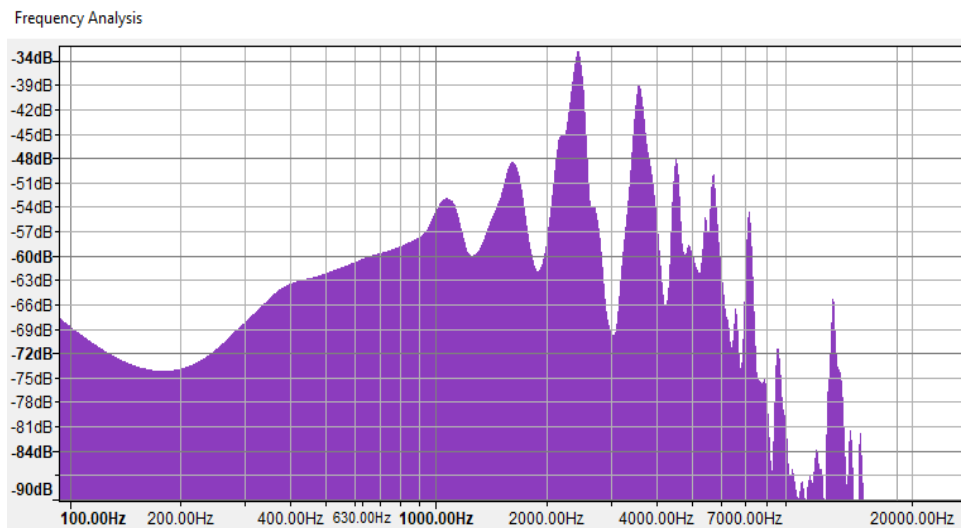
Ilman keinovikaa ohjauksen maksimi amplitudi oli 14,5 kHz (kuva 8). Keinovian aikana ei spektriin tullut suuria muutoksia. Spektrejä vertaillen

huomaa kuitenkin ohjauksien olevan lähellä toisiaan, jolloin järjestelmä toimii ja pystyy toistamaan mittauksia samoilla tuloksilla.



Kuva 8. Vaihteiston pietson spektri auki-suuntaan ilman keinovikaa.

Ohjauksien välinen yhdenmukaisuus on havaittavissa kaikissa saman valmistustavan antureissa ja käytetyissä mittauspisteissä. Antureiden sijoittaminen yhdenmukaisesti kaikkiin kytkinlaitteisiin vaikuttaa suuresti mitaustuloksien yhdenmukaisuuteen. Kuvan 9 spektristä pystyy havaitsemaan hyvin pienen muutoksen 670 Hz taajuudella. Äänitiedostoa kuunnellessa äänestä kuulee erona pienen hidastumisen ohjauksen alkupäässä. Keinovian maksimitaajuus auki-ohjauksessa oli 14,5 kHz.



Kuva 9. Vaihteiston pietson spektri auki-suuntaan keinovialla.

### Tunnuslukujen tarkastelu keinovika 1

Moottorin ohjaukselle tai virralle ei tapahdu isoja muutoksia (taulukko 2), jolloin vian hakeminen kytkinlaitteesta täytyy hakea toisten tunnuslukujen perusteella kuin virran. Moottorin virran muutos vaatii kovan vastuksen erottimen ohjauksessa, koska vaihteiston välitys on suuri, jolloin koskettimien päissä on suuri voima.

Taulukko 2. Keinovika 1 auki ja kiinni ohjauksien ohjauksajat ja virta.

<b>operation_duration (s)</b>	Auki	Kiinni
average ilman keinovikaa	4,54	4,63
average keinovian kanssa	4,662	4,572
average keinovian jälkeen	4,55	4,58

<b>motor_current_integral (As)</b>	Auki	Kiinni
average ennen keinovikaa	10,41	10,97
average keinovian kanssa	10,92	10,74
average keinovian jälkeen	10,46	10,54

Koskettimien jäykistäminen ei suoraan vaikuta moottorin tunnuslukuihin (taulukko 3), mutta pelkästään moottorin tunnuslukujen keskiarvon vertaaminen ei ole riittävä analysointi periaate. Tunnusluvut muuttuvat vaihteistossa hyvin vähän, mutta keinovian silmämääräinen vaikutus oli myös pieni.

Taulukko 3. Keinovika 1 vaihteiston tunnusluvut auki-suunta.

<b>Ohjaus</b>	<b>Crest factor gear vibration</b>	<b>Kurtosis Gear vibration</b>	<b>Peak to peak gear vibration</b>	<b>RMS Gear vibration</b>
Ilman vikaa auki	12,78	3,21	1705	133,41
Ilman vikaa auki	10,99	3,18	1342	122,14
Ilman vikaa auki	9,91	3,23	1301	131,25
KEINOVIALLA AUKI	10,72	3,39	1365	127,34
KEINOVIALLA AUKI	11,59	3,46	1494	128,94
KEINOVIALLA AUKI	10,22	3,47	1279	125,21
KEINOVIALLA AUKI	9,55	3,26	1252	131,15
KEINOVIALLA AUKI	10,58	3,42	1262	119,3
Ilman vikaa auki	10,77	3,3	1444	134,05
Ilman vikaa auki	10,48	3,27	1309	124,87

Ennen keinovikaa auki keskiarvo	11,22667	3,206667	1449,333	128,9333
Keinovialla keskiarvo	10,532	3,4	1330,4	126,388
Keinovian jälkeen ilman vikaa keskiarvo	10,625	3,285	1376,5	129,46

Keinovian heikko vastus ei aiheuta suurta muutosta vaihteiston tunnuslukuihin tai ohjainkoteloon (taulukko 4). Yksittäisiä tunnuslukuja tutkiessa huomaa vaihteiston huipukkuuden eli kurtosis arvon muuttumista hieman ylöspäin. Laakerivikojen tutkinnassa seurataan kurtosis arvon nousua yli arvon 3, joka on keskimääräinen ehjän laakerin tunnusluku moottorissa.

Eroittimen mekaniikassa pitää ottaa huomioon sen eroavuus keskiverto sähkömoottoriin ja vaihteistoon. Eroittimen vaihteisto on avonainen ilman vaihteiston rattaiden rasvaa ja moottori on yksivaiheinen tasavirtamoottori. Tämän vuoksi tunnuslukujen arvot voivat olla hieman korkeammat tai poikkeavat kaikissa taulukoissa.

Taulukko 4. Keinovika 1 ohjainkotelon äänien tunnusluvut auki-suuntaan.

Auki ohjaus	Crest factor cabinet sound	Kurtosis Cabinet Sound	Peak to peak cabinet sound	RMS cabinet sound
Auki ilman keinovikaa	12,27	4,45	6435	524,35
Auki ilman keinovikaa	17,82	4,99	9946	557,99
Auki ilman keinovikaa	16,42	5,31	8901	542,06
AUKI KEINOVIALLA	16,5	5,69	10845	657,18
AUKI KEINOVIALLA	17,1	5,88	11156	652,36
AUKI KEINOVIALLA	19,05	6,19	12 809	672,36
AUKI KEINOVIALLA	15,91	5,2	10830	680,78
Auki ilman keinovikaa	13,44	4,84	7023	522,65
Auki ilman keinovikaa	14,51	5,67	10196	702,57
Auki ilman keinovikaa	17,55	6,04	12126	691,1
Ennen keinovikaa auki keskiarvo	15,50333	4,916667	8427,333	541,4667
Keinovialla keskiarvo	16,4	5,56	10532,6	637,066
Keinovian jälkeen ilman vikaa keskiarvo	16,03	5,855	11161	696,835

Ilmamikrofonin matalampi taajuusalue näkyy taulukon 4 tunnusluvuissa. Ilmamikrofoni pystyy erottelemaan paremmin matalia alle 6 kHz taajuuksia. Tästä syystä keinovikatestien aikana paikan päällä havaitut äänen muutokset on havaittavissa parhaiten ilmamikrofonilla, koska ihmisen on helppoin havaita 0,3-3,5 kHz taajuudella olevat äänet ja kyseinen muutos keinoviasissa tapahtui 0,67 kHz taajuudella.

Kuluneen laakerin korkea taajuus on ihmisen korvalle vaikeampi havaita, mutta kytkinlaitteiden akustisen emission mittaukseen käytettävät pietsanturit havaitsevat jopa 35 kHz taajuudet, jolloin kyseiset viat näkyvät paremmin kyseisillä antureilla.

Kuluneen laakerin taajuusalue on tyypillisesti 2-5 kHz, mutta vielä korkeammalla havaitut äänet auttavat ennustamaan laakerin rikkoutumista ja antaa paremman ennustettavuuden tilanteesta.

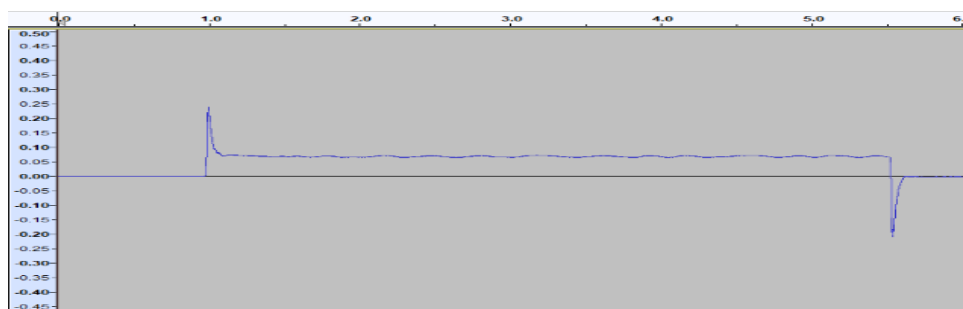
## 7.2.2 Erottimen jäykistäminen

Erottimen toisessa keinovikatestissä mallinnettiin erottimen käyttötankojen ja nivelien jäykistymistä. Käyttötankojen ja nivelien rasvat poistettiin täysin rasvanpoistoaineella ja koskettimien päät putsattiin. Tällä keinovialla pyrittiin mallintamaan pitkään kuivana ollutta erotinta.

Erottimen voitelun poistaminen aiheuttaa jäykkyyttä, mutta jäykistyminen vaatii pidempää kuivumista ja puhdistuksen laajuuden vuoksi pitäisi erotin purkaa pienempiin osiin. Tämän vuoksi jäykkyyttä lisättiin erillisellä vastuksella erottimen ohjaustangoissa. Tankoihin asennettiin kumivastus, joka venyi erottimen ohjauksessa auki suuntaan ja rajoitti liikettä.

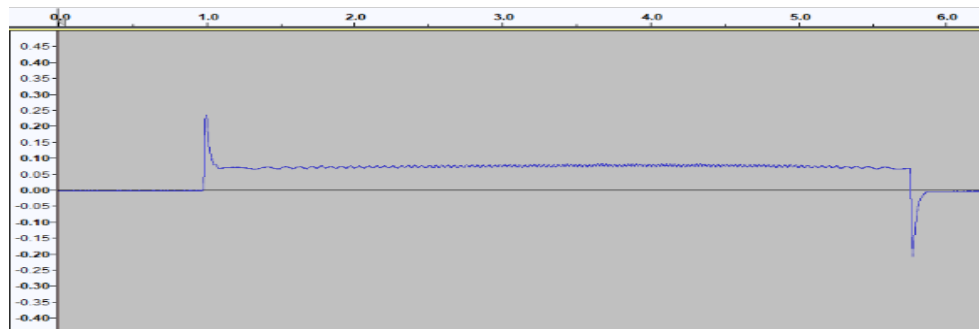
### Keinovika 2 virtaprofiili

Jäykkyyden todentaminen onnistui vain erottimen auki ohjaus suuntaan. Tästä syystä tunnuslukujen tutkimisessa ei huomioida kiinni ohjauksia, koska kumi kevensi kiinni liikettä, kun erotinta ohjattiin kiinni. Todellisudessa erottimen jäykistyminen näkyisi molempien suuntien mittauksissa, jos vika olisi todellinen.



Kuva 10. Virtaprofiili ilman keinovikaa auki-suunta.

Virtaprofiilien välinen ero ilman keinovikaa ja vialla on selkeästi havaittavissa kuvista 10 ja 11. Virtaprofiilin värähtelyn aiheuttaa keinovialla selkeä kuormituksen kasvu ohjainmoottorissa. Virtaprofiilin lopussa oleva piikki johtuu moottorin käämeihin indusoituneesta virrasta, joka pysäytys hetkellä ilmenee piikkinä mittauksessa.

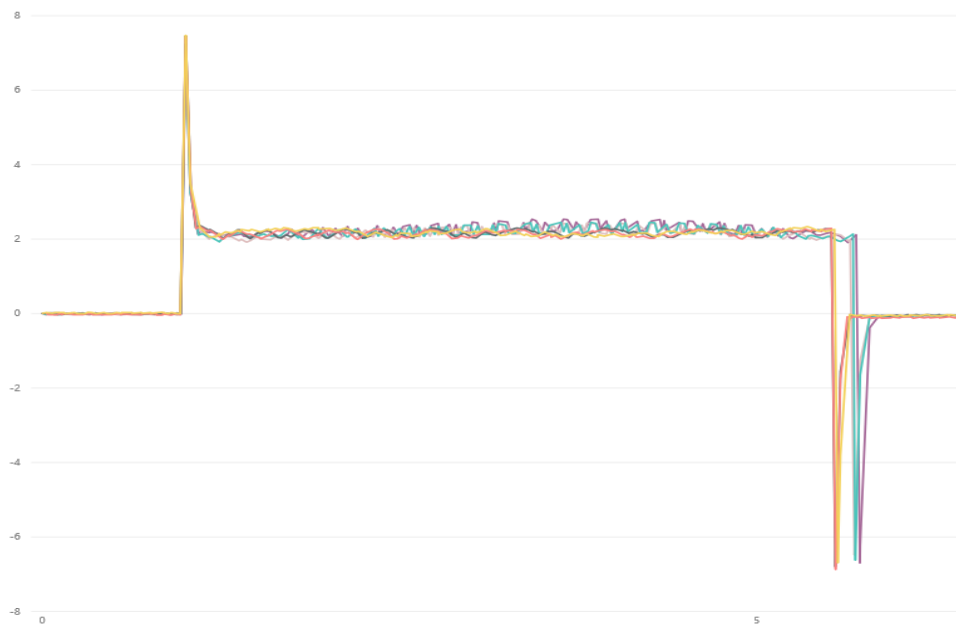


Kuva 11. Virtaprofiili keinovialla auki-suunta.



Virtaprofiilin muutos on havaittavissa tasaisenosan profiilin nousemisena sekä ohjausajan pidentymisenä. Viivadiagrammissa (kuva 12) keinovialla olevat ohjaukset ovat tummemmalla viivalla olevat.

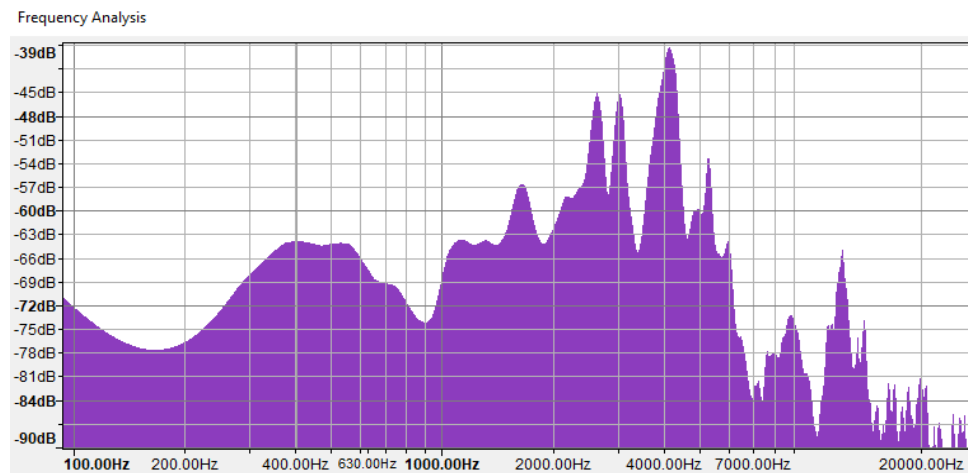
Moottorin virtaprofiiliin vaikutti vain suuret keinoviat, joten pienemmät muutokset eivät näy virtaprofiilissa. Moottorin kierrosnopeus 2300 rpm suhteessa erottimen koskettimien hitaaseen liikkeeseen johtuu vaihteiston suuresta välityksestä, joka keventää moottorin kuormaa. Kuvan 12 viivadiagrammissa näkee selkeästi kaikki keinovialla tehdyt ohjaukset. Viivadiagrammin x-akselilla on aika ja y-akselilla laskennallinen voimakkuus.



Kuva 12. Keinovika 2 ohjaukset auki-suunta.

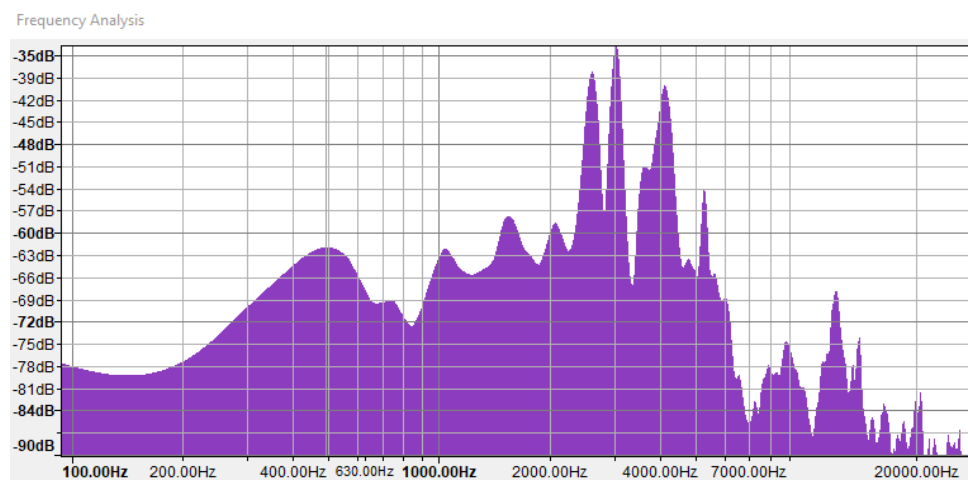
## Keinovika 2 akustisen emission spektri

Spektrissä tapahtuvat muutokset ovat havaittavissa silmämääräisesti, jolloin tunnusluku laskennan havaitsemat muutokset taajuustasolla voidaan todeta ennen varsinaisten tunnuslukujen tarkastelua. Spektrin profiili ei suuresti muutu, mutta tiettyjen taajuuksien amplitudi kasvaa keinovialla (kuva 14) verrattuna ilman keinovikaa olevaan (kuva 13).



Kuva 13. Moottorin äänispektri ilman keinovikaa, auki ohjaus.

Keinovian muutokset moottorin toimintaan aiheuttivat matalien äänitaajuuksien amplitudin kasvua. Alle 1 kHz pinta-alan muutos näkyy tunnusluvuissa ja kertoo moottorin hidastumisesta ja rasituksen kasvamisesta. Molemmissa ohjauksissa korkeimmat taajuudet sijoittuvat hieman alle 26kHz:siin. Keinovialla olevan ohjauksen äänen spektrissä huomaa hidastumisen aiheuttama amplitudin laskun kokonaisuudessa, vaikka muutamien taajuuksien amplitudi kasvaa.



Kuva 14. Moottorin äänispektri keinovialla, auki ohjaus.

## Tunnuslukujen tarkastelu keinovika 2

Keinovian aiheuttama vastus erottimen toimintaan oli huomattava ja tämän ansiosta tunnuslukujen muutokset olivat myös suuret ja selkeästi havaittavissa. Keinovian suurimmat muutokset olivat moottorin virran kasvu, jotka ovat taulukossa 5. Lisäksi moottorin akustisen emission tunnuslukujen muutokset taulukossa 7 on suuremmat verrattuna muihin tunnuslukuihin vian aikana.

Taulukko 5. Ohjausajat ja virrat keinovika 2.

<b>operation_duration (s)</b>	Auki	Kiinni
average ilman keinovikaa	4,55	4,58
average keinovian kanssa	4,79	4,56
average keinovian jälkeen	4,6	4,62

<b>motor_current_integral (As)</b>	Auki	Kiinni
average ilman keinovikaa	10,46	10,54
average keinovian kanssa	12,03	10,26
average keinovian jälkeen	10,75	10,75

Taulukoissa on esitetty kaikki keinovikatestin koeohjaukset. Taulukon kaksi ensimmäistä ilman keinovikaa ovat ennen keinovian tekemistä ja kolme viimeistä ovat keinovian jälkeen tehtyjen ohjauksien tunnuslukuja.

Vian jälkeen olevien tunnuslukujen tasoittuminen johtuu erottimen keinovian jälkeen suoritetusta rasvauksesta. Ensimmäinen ohjaus vian jälkeen on vielä hieman jäykempi, mutta öljyn levittyä paremmin alkaa erotin liikkumaan herkemmin.

Taulukko 6. Vaihteiston tunnusluvut keinovika 2.

Auki ohjaus	<b>Crest factor gear vibration</b>	<b>Kurtosis Gear vibration</b>	<b>Peak to peak gear vibration</b>	<b>RMS Gear vibration</b>
Ilman keinovikaa auki	10,77	3,3	1444	134,05
Ilman keinovikaa auki	10,48	3,27	1309	124,87
KEINOVIALLA AUKI	9,28	3,14	1368	147,35
KEINOVIALLA AUKI	10,53	3,11	1521	144,46
KEINOVIALLA AUKI	10,6	3,24	1 534	144,71
KEINOVIALLA AUKI	12,88	3,36	1771	137,45
Ilman keinovikaa auki	10,28	3,27	1443	140,4
Ilman keinovikaa auki	10,34	3,25	1336	129,15
Ilman keinovikaa auki	10,85	3,36	1391	128,15

Ennen keinovikaa auki keskiarvo	10,625	3,285	1376,5	129,46
Keinoviolla keskiarvo	10,8225	3,2125	1548,5	143,4925
Keinovian jälkeen ilman vika keskiarvo	10,49	3,293333	1390	132,5667

Vaihteiston RMS muutos (taulukko 6) erottimen jäykistämässä näkyy tunnusluvuista parhaiten, mikä johtuu äänen osataajuuksien voimakkuuden neliöllisen keskiarvon noususta suuren vastuksen vuoksi. Moottorin ääni keinovian aikana madaltui ja hidastui.

Moottorin pietsoanturin tunnuslukujen avulla voidaan tarkentaa kovimman rasituksen kohdistuneen jäykistämässä juuri moottorille. Moottorin tehollisarvon muutos on suuri ja keinovian jälkeen jäykistämisen päätyttyä tunnusluvun arvo laskee hiljalleen takaisin alkuperäiseen rasvan levittyessä tasaisemmin takaisin niveliin.

Taulukko 7. Moottorin tunnusluvut keinovika 2.

Auki ohjaus	Crest factor motor vibration	Kurtosis motor vibration	Peak to peak motor vibration	RMS Motor vibration
Ilman vikaa auki	11,44	3,54	8268	722,7
Ilman vikaa auki	14,5	3,81	10547	727,47
KEINOVIALLA AUKI	9,6	4,07	10746	1119,51
KEINOVIALLA AUKI	10,76	4,31	11710	1088,71
KEINOVIALLA AUKI	13,79	4,46	12 766	925,84
KEINOVIALLA AUKI	12,88	4,27	12308	955,95
Ilman vikaa auki	11,11	3,82	10444	940,35
Ilman vikaa auki	11,51	3,6	10902	947,1
Ilman vikaa auki	11,71	3,78	11081	946,26

Ennen keinovikaa auki keskiarvo	12,97	3,675	9407,5	725,085
Keinovialla keskiarvo	11,7575	4,2775	11882,5	1022,503
Keinovian jälkeen ilman vikaa keskiarvo	11,44333	3,733333	10809	944,57

Taulukoissa on esitelty ennen vikaa ehjän kytkinlaitteen tunnusluvut sekä vian jälkeiset tunnusluvut. Keinovialla auki ohjauksien jälkeen tulee välittömästi keinovian poistamisen jälkeen tehdyt ohjaukset. Tämän avulla voidaan tutkia laitteeseen mahdollisesti jääneitä vikoja.

Keinovian jälkeinen ongelma tunnusluvuissa oli rasvauksen poistaminen, joka palautui vasta normaaliksi useamman ohjauksen jälkeen, kun erotin oli rasvattu uudestaan. Lisäksi erottimen toiminta ei ole aina täysin samalaista johtuen asennosta mihin erotin pysähtyy. Tällöin ohjauksien välillä tulee pieniä eroja, jotka näkyvät hieman tunnusluvuissa.

Ohjainkotelon ilmamikrofonin äänen tunnuslukujen avulla (taulukko 8) pystytään havaitsemaan keinovian aiheuttama hidastuminen. Vian kohdistamisen kannalta suurin rasitus kohdistuu kuitenkin moottorin, jonka tunnusluvut muuttuvat eniten vian aikana.

Taulukko 8. Ohjainkotelon tunnusluvut keinovika 2.

Auki ohjaus	Crest factor cabinet sound	Kurtosis cabinet sound	Peak to peak cabinet sound	RMS Cabinet sound
Ilman vikaa auki	14,2	4,76	7249	510,49
Ilman vikaa auki	20,29	5,11	10493	517,25
KEINOVIALLA AUKI	13,47	3,99	8600	638,54
KEINOVIALLA AUKI	10,11	3,69	7044	697,08
KEINOVIALLA AUKI	14,43	4,8	9 115	631,49
KEINOVIALLA AUKI	16,53	4,81	10416	629,96
Ilman vikaa auki	16,4	5,71	11166	680,68
Ilman vikaa auki	15,22	4,72	10307	677,11
Ilman vikaa auki	15,26	5,15	10074	660,36

Ennen keinovikaa auki keskiarvo	17,245	4,935	8871	513,87
Keinovialla keskiarvo	13,635	4,3225	8793,75	649,2675
Keinovian jälkeen ilman vikaa keskiarvo	15,626	5,193	10515,66	672,716

Keinoviat toistettiin kahdesti samalla koe ohjaussarjalla molemmille kytkinlaitteille. Koeohjaussarjojen toistamisella saatiin mittaustietoa enemmän ja varmennettua muutoksen näkyvyyttä mittauksen tunnusluvuissa.

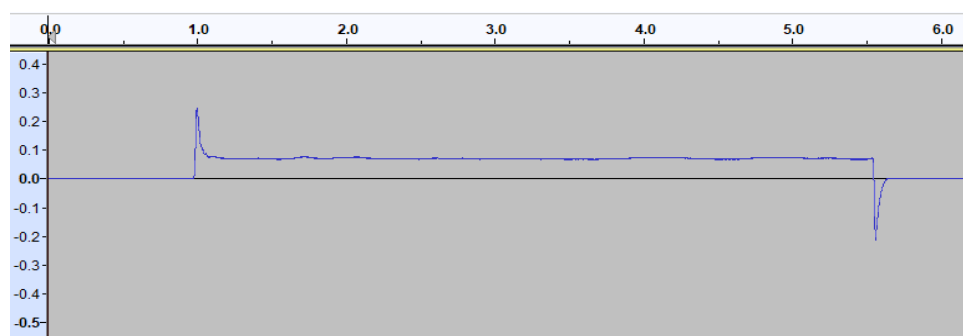
Keinovikatestien väliset erot olivat pieniä, jolloin voidaan päätellä mittaustekniikan olevan riittävän tarkka havaitsemaan vikoja. Keinovian avulla pystytään havaitsemaan ohjainkotelossa tapahtuvaa äänenvoimakkuuden muutosta, sekä moottorin RMS arvon nousua. Tunnuslukujen keskiarvoilla voidaan hakea raaka keskiarvoa siitä, miten keinovika on vaikuttanut mittaustietoon. Keskiarvolla tehtävä vertailu on kuitenkin raaka analysointia, koska keskiarvolla laskiessa ei huomioida kaikkia mittauksessa mahdollisesti tapahtuneita muutoksia. Keinovikatesteistä saatujen tunnuslukujen perusteella voidaan havaita tunnuslukujen muuttuneen ja tämän avulla todentamaan mittaustekniikan olevan riittävää havaitsemaan vikoja.

### 7.2.3 Moottorijarrun muokkaus

Kolmantena keinovikana haluttiin saada mittausdataa erottimen välitilaan jäämisestä. Erottimen moottorijarrun löystyminen aiheutti moottorin nopeamman liikkeen, jolloin erotin menee kovalla vauhdilla auki tai kiinni. Rajakytkimen sammuttaessa moottorin virran syötön on vauhti vielä niin kova, että erotin jää tai palaa välitilaan.

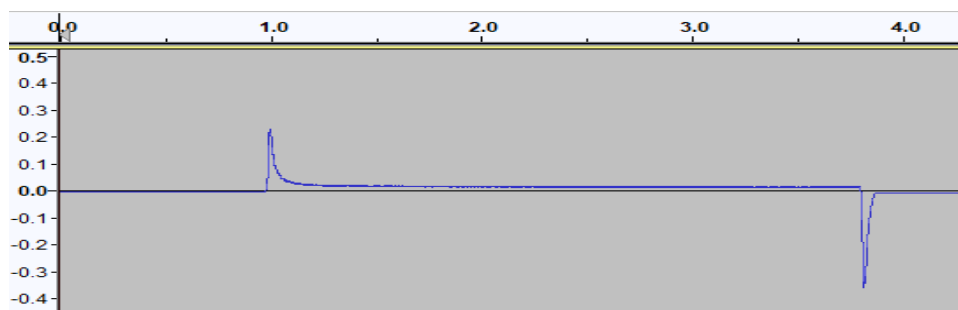
Keinovian aikana ei suoraan saatu mallinnettua haluttua tilannetta, mutta tunnuslukujen muuttumisen avulla voidaan todentaa joitakin vikoja. Tunnuslukujen perusteella voidaan selvästi osoittaa suurimmat muutokset moottoriin.

#### Keinovika 3 virtaprofiili



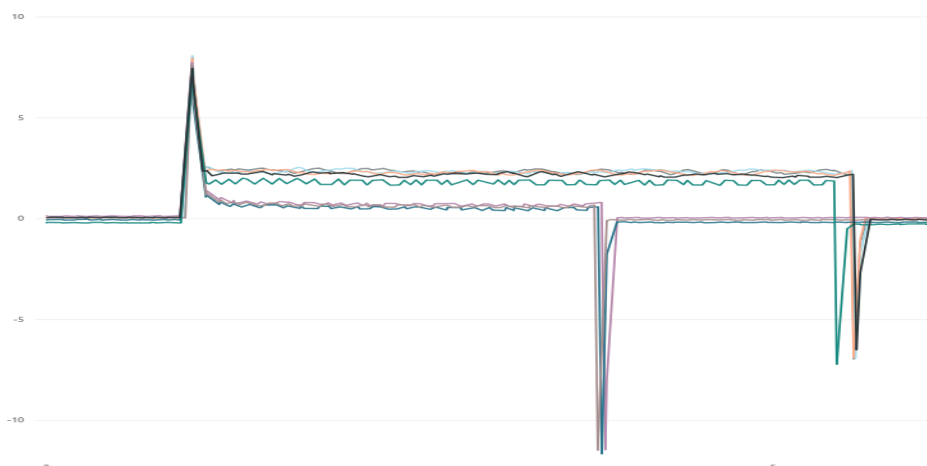
Kuva 15. Virtaprofiili ilman keinovikaa auki-suunta.

Kuormituksen putoamisen voi havaita virtaprofiilista nopeasti, jolloin virran tunnuslukujen arvoissa tapahtuu selkeitä muutoksia. Virtaprofiilien muutos on paremmin havaittavissa kuvasta 17. Kuvan 16 virtaprofiili keinovialla skaalaus on erilainen verrattuna kuvaan 15, johtuen keinovialla olevan ohjauksen virran suuresta muutoksesta. Keinovika aiheutti erottimen ohjausajan puolittumisen ja huomattavan muutoksen moottorin kuormitukseen. Moottorin virtaintegraali pieneni keskimäärin n.75 %, vastuksen pienentyessä huomattavasti.



Kuva 16. Virtaprofiili keinovialla auki-suunta.

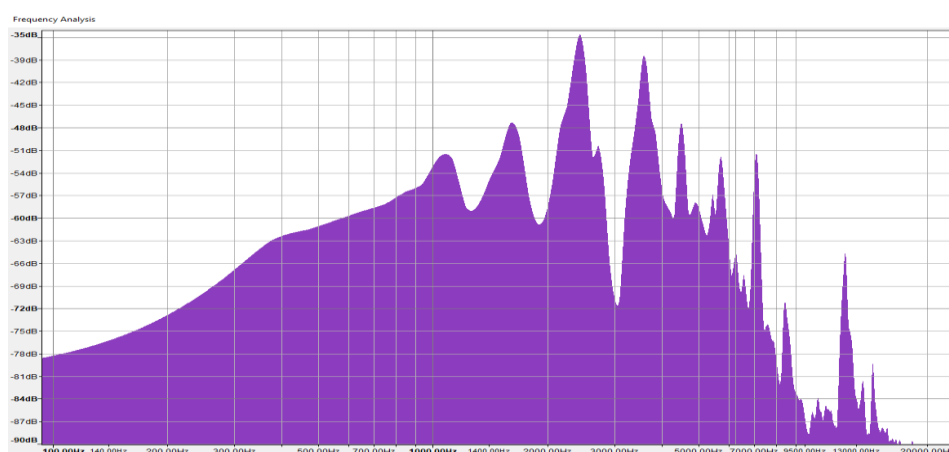
Ohjainmoottorin virtaprofiilin muutos moottorijarrun muokkauksessa näkyy selkeästi virran pienenemisessä ja ohjausajan huomattavana lyhentymisenä. Virtaprofiilin viivadiagrammista (kuva 17) keinovalilla olevat ohjaukset ovat matalammalla virralla eli lähempänä x-akselin suuntaista 0 viivaa olevat viivat.



Kuva 17. Keinovika 3 Moottorijarrun muokkaus virtaprofiilit auki ohjauksella.

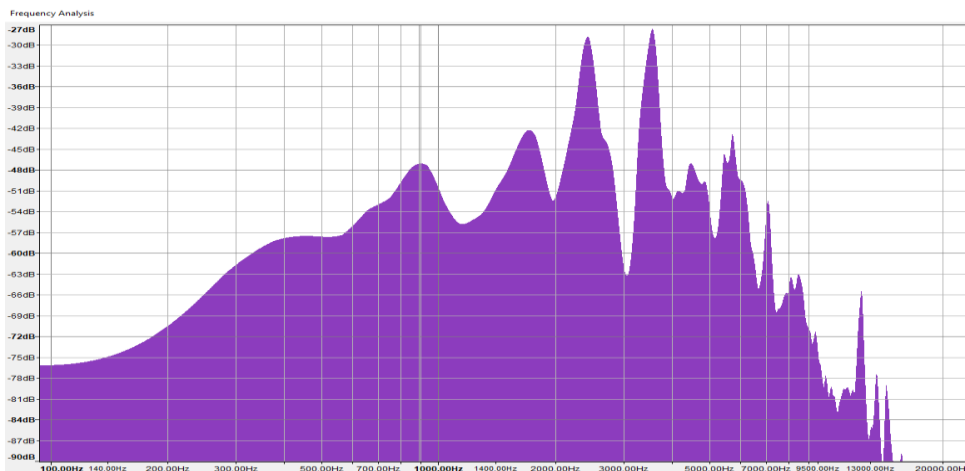
### Keinovika 3 akustisen emission spektrianalyysi

Vaihteiston pietson äänenspektrin amplitudin muutokset tapahtuivat alle 1,5 kHz taajuusalueella vaikuttaen amplitudiin noin 6 dB muutoksella (kuvat 18 ja 19). Erottimen ohjauksen aikana äänen amplitudi kasvoi nopean ohjauksen johdosta. Korvakuulolla ohjauksen aikana muutokset olivat selkeitä.



Kuva 18. Keinovika 3 ilman keinovikaa vaihteisto. Ohjaus auki.

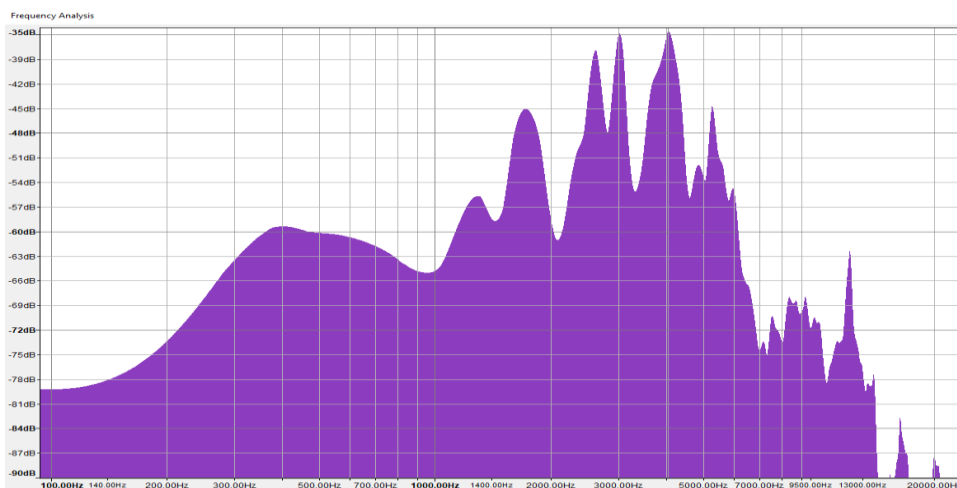
Muutokset vaihteiston spektrissä ovat havaittavia, mutta pieniä. Keinovian vaikutus vaihteistoon ei ole suuri, koska vaihteiston välitys on suuri. Kierrosnopeudet vaihteiston rattaissa kasvavat ohjausnopeuden muutoksen takia, mutta vaikutukset ovat pienet.



Kuva 19. Keinovialla vaihteiston ohjaus auki-suunta.

Vaihteiston spektriin vaikuttaa eniten kuormituksen nouseminen. Kuormituksen laskeminen tai pysyminen samana ei tuota suuria muutoksia vaihteiston mittaustuloksiin. Vaihteiston toiminta muuttuu siis eniten rasituksen kasvaessa.

Moottorin pietson spektrin muutokset keinovika kolmen aikana ovat selkeästi isompia kuin muiden antureiden mittaukset (kuva 20). Tämä johtui moottorin kierrosnopeuden huomattavasta kasvusta, koska moottorin pyörimistä ei rajoitettu kasvoi kierrosnopeus huomattavasti.

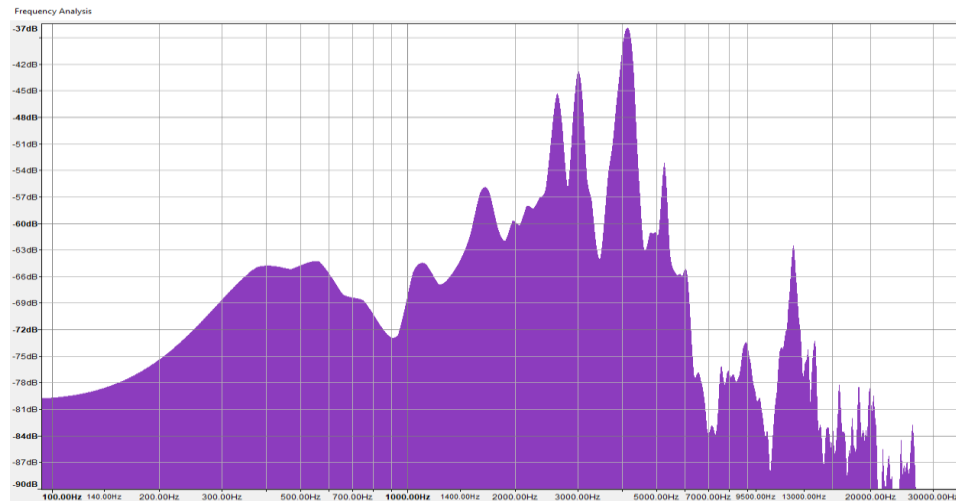


Kuva 20. Keinovialla moottorin ohjaus auki-suunta.

Ohjausajan pienentyminen 35%:lla vaikutti moottorin kierrosnopeuteen ja aiheutti moottorin äänessä selkeitä muutoksia. Tunnusluvuissa näkyvä



muutos on moottorin osalta huomattava. Ilman keinovikaa ohjauksessa korkeat taajuudet tulevat paremmin esille (kuva 21). Moottorin pietson spektrissä havaitsee muutoksia intensiteetin kasvussa ja korkeampien taajuuksien esiintymisenä. Korkeampien taajuuksien intensiteetti kasvaa kierroksien nopeutuessa ja tämän kautta moottorin värähtelyn kasvuna.



Kuva 21. Moottori ilman keinovikaa auki-suunta.

### Tunnuslukujen tarkastelu keinovika 3

Taulukoissa on esitetty kaikki keinovikatesti kolmen koeohjaukset. Ennen keinovikaa olevat ohjaukset taulukossa on tehty ennen vian tekemistä kytkinlaitteeseen ja vian jälkeen olevat ilman vikaa ohjaukset ovat vian poistamisen jälkeisiä ohjauksia.

Operation duration eli laitteen ohjausaika muuttui huomattavasti moottorijarrun poistamisen jälkeen. Myös vastuksen pienentyessä moottorin virta (taulukko 9) ja akustisen emission tunnusluvut muuttuivat huomattavasti.

### Taulukko 9. Moottorin tunnuslukuja keinovika 3.

<b>operation_duration (s)</b>	Auki	Kiinni
average ilman keinovikaa	4,5	4,5
average keinovian kanssa	2,8	2,8
average keinovian jälkeen	4,4	4,5

<b>motor_current_integral (As)</b>	Auki	Kiinni
average ilman keinovikaa	10,2	10,85
average keinovian kanssa	2,3	1,5
average keinovian jälkeen	8,2	9,7

Tunnuslukujen keskiarvon laskennassa on eritelty erottimen ohjaukset keinovian ennen ja jälkeen, koska erottimen moottorijarru puhdistettiin takaisin asennettaessa, joka muutti erottimen liikkeen tasaisemmaksi. Jarrupinnan puhdistaminen nosti jarrun kitkakerrointa, joka tasoitti erottimen liikettä ja muutti tunnuslukuja vian jälkeen aavistuksen (taulukko 10 ja 11).

Taulukko 10. Vaihteiston tunnusluvut keinovika 3.

Ohjaus suunta	Crest factor gear vibration	Kurtosis Gear vibration	Peak to peak gear vibration	RMS Gear vibration
Kiinni ilman keinovikaa	21,22	7,61	7233	650,43
Kiinni ilman keinovikaa	22,38	6,99	7280	601,94
Kiinni keinoviialla	20,43	7,14	11671	1151,69
Kiinni keinoviialla	16,83	6,43	11321	1335,26
Kiinni keinoviialla	18,85	6,57	13007	1379,58
Kiinni ilman keinovikaa	22,38	6,99	7280	601,94
Kiinni ilman keinovikaa	26,22	7,47	9121	614,02
Kiinni ilman keinovikaa	24,16	7,16	8382	615,54

Keskiarvo kiinni ilman keinovikaa	21,8	7,3	7256,5	626,18
Keskiarvo kiinni keinoviialla	18,7	6,71	11999,6	1288,8
Keskiarvo kiinni vian jälkeen	24,25	7,2	8261	610,5

Vaihteiston tunnuslukujen arvojen muutos johtui vaihteiston huomattavasti nopeammasta pyörimisnopeudesta, mikä muuttaa vaihteiston mekaanikan värähtelyä. Vaikka vian suunniteltu keinovika välitilan saavuttamiseksi ei toteutunut on tunnusluvuissa havaitut muutokset hyödyllisiä havainnoimaan järjestelmän toiminnan tarkkuutta.

Suurin muutos tapahtuu tehollisarvoissa ja huipusta huippuun arvoissa. Moottorin akustisen emission tunnuslukujen muutos oli huomattava keinovian aikana. Kyseisten arvojen muutos johtuu kierrosnopeuden muutoksesta moottorissa, joka muuttaa erottimesta lähtevien äänien tasoja täysin.

Huipusta huippuun (peak-to-peak) arvon nousu johtuu kytkinlaitteen ohjauksen aikana tapahtuneista pyörintänopeuksien muutoksista. Ohjauksen aikana moottorin kierrosnopeudet kasvoivat, jolloin anturin mittaama värähtely kasvoi ja kasvatti värähtelyn laskennallista huippuarvoa. Tehollisarvon (rms) arvon nousu johtuu mittauksen huippuarvon noususta.

Taulukko 11. Moottorin tunnusluvut keinovika 3.

Ohjaus suunta	Crest factor motor vibration	Kurtosis Motor vibration	Peak to peak motor vibration	RMS Motor vibration
Kiinni ilman vikaa	10,76	3,50	6474	601,66
Kiinni ilman vikaa	10,60	3,58	4614	435,19
Kiinni keinovialla	10,12	3,53	15934	1574,15
Kiinni keinovialla	9,06	3,43	13735	1516,77
Kiinni keinovialla	8,62	3,45	13371	1550,58
Kiinni ilman vikaa	10,60	3,58	4614	435,19
Kiinni ilman vikaa	11,36	3,53	4756	418,63
Kiinni ilman vikaa	12,45	3,57	5250	421,71

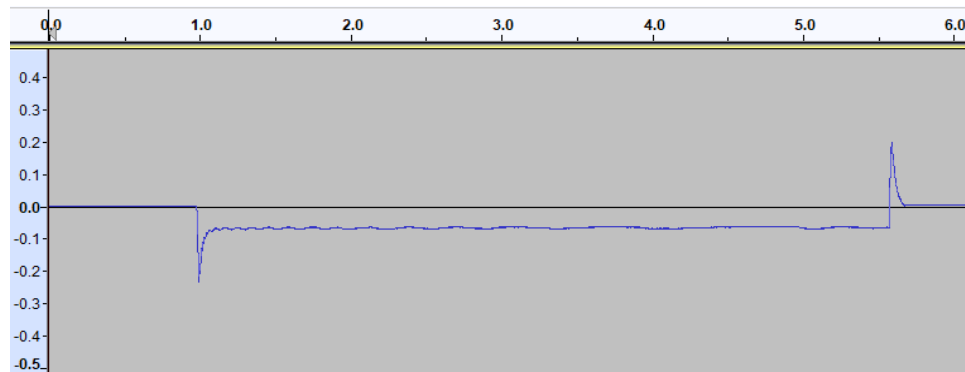
Keskiarvo kiinni ennen keinovikaa	10,68	3,54	5544	518,4
Keskiarvo kiinni keinovialla	9,26	3,47	14346,6	1547,16
Keskiarvo kiinni vian jälkeen	11,47	3,56	4873,3	425,17

#### 7.2.4 Vaihteiston jäykistäminen

Neljäntenä keinovikana tutkittiin erottimen vaihteiston jäykistymistä. Vaihteiston alumiinisten rattaiden väliin asennettiin lisävastuksena alumiinia, joka hidastutti vaihteistoa. Jäykistymisellä kuvattiin vaihteiston rattaiden laakereiden jäykistymistä ja vaihteiston akustisen emission mittauksessa havaittiin hyvin ongelman olevan vaihteistossa.

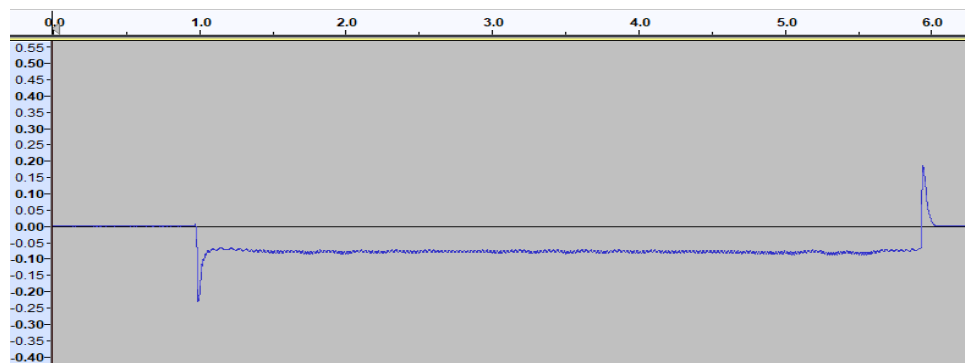
### Keinovika 4 virtaprofiili

Muutos näkyy virtaprofiilin värähtelynä, sekä nousuna (kuva 22 ja 23). Virran kulutus nousi huomattavasti keinovialla ohjatessa. Keinovikojen vertailussa huomaa virtaprofiilin värähtelyn aina kun keinovian rasitus on suuri.



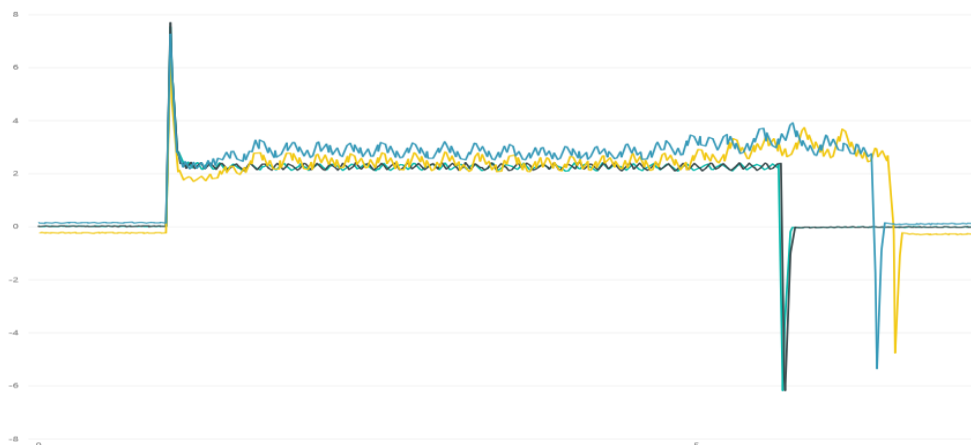
Kuva 22. Virtaprofiili ilman keinovikaa kiinni-suunta.

Ohjausaika keinovian aikana muuttui myös hieman. Tämän pystyy havaitsemaan paremmin kuvasta 24 seuraavalla sivulla. Erillisten virtaprofiilien vertailussa havaitsee myös muutoksen, mutta virtaprofiilien ollessa vierekkäin on ero selkeämpi. Virtaprofiilin negatiivinen arvo ohjauksen alussa johtuu ohjauksen suunnasta. Kiinni ohjauksessa virtaprofiili alkaa negatiivisena, koska virran kulkua johtimessa mittaava HALL-anturi mittaa yhdellä anturilla molemmat ohjaukset.



Kuva 23. Virtaprofiili keinovialla kiinni-suunta.

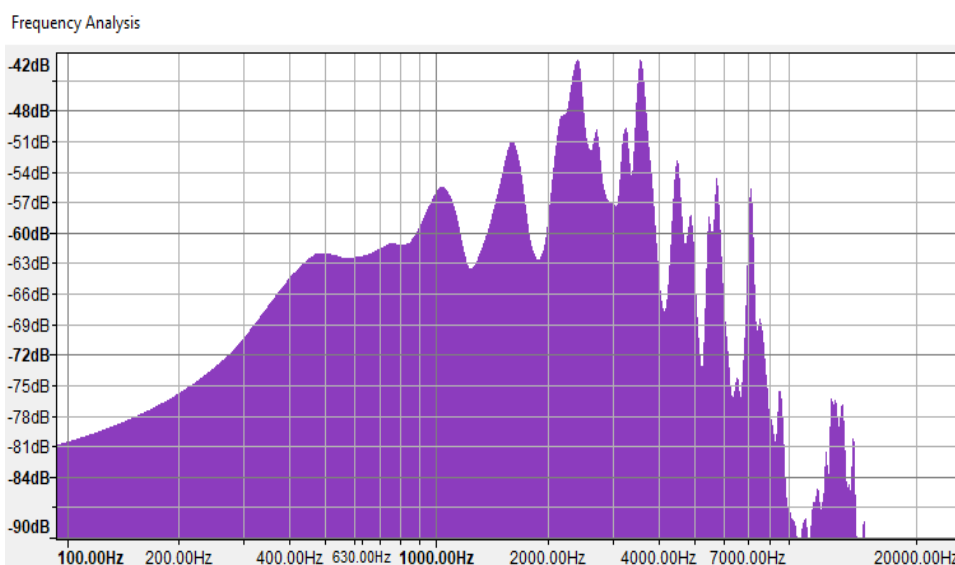
Alla olevan viivadiagrammin (kuva 24) korkeammalla virralla olevat keltainen ja sininen viiva ovat keinoviialla tehtyjä ohjauksia. Virtaprofiilista todentuu ohjausajan pidentyneen ja virran nousseen vaihteiston rasituksen kasvaessa. Kuvaaja on käännetty negaatiosta havainnollistamisen vuoksi.



Kuva 24. Vaihteiston muokkaus virtakuvaaja.

#### Keinovika 4 akustisen emission spektrianalyysi

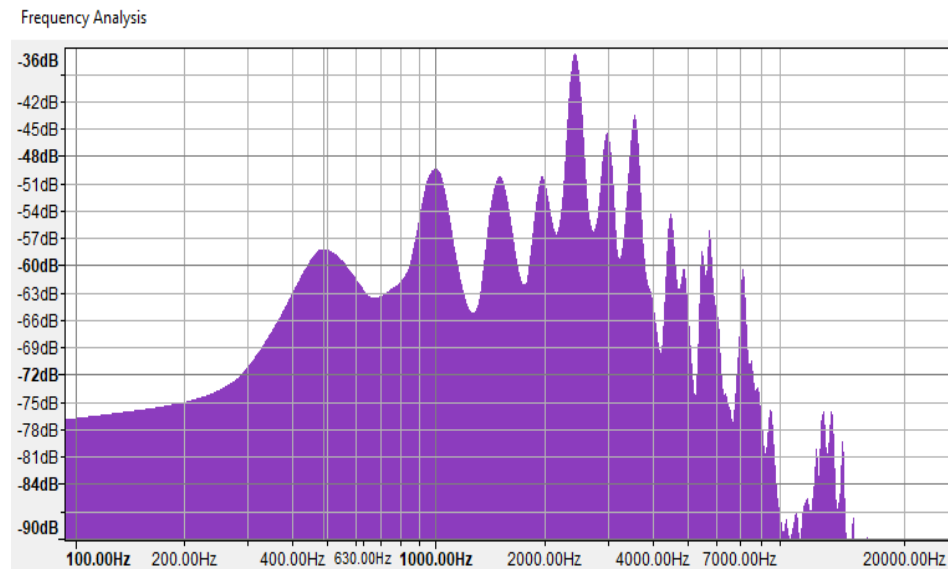
Vaihteiston jäykistämisen aikana muuttuneiden spektrien ero on huomattava ja suurin muutos tapahtuu lähimpänä vikaa olevan vaihteiston pietson arvoissa (kuva 25 ja 26). Tämä perustelee hyvin erillisten antureiden käyttämistä ohjainkotelon sisällä, jolloin tietyt viat kohdistuvat paremmin tietyille komponenteille ohjainkotelon sisällä.



Kuva 25. Vaihteisto ilman keinovikaa kiinni-suunta.

Vaihteiston jäykistäminen hidasti erottimen liikettä ja aiheutti nykivää liikettä erottimen toimintaan. Keinovian aikana ohjauksen nopeus vaihteli ja

välillä tuntui pysähtyvän kokonaan, jolloin rasitus vian aikana oli suurta. Vaihteiston spektriä tulkittaessa huomaa keinovian aikana 500 Hz taajuudella tapahtuvaa amplitudin muutosta. 500 Hz taajuus on tyypillinen taajuus mihin laakerivikojen aiheuttamat amplitudin nousut vaikuttavat spektrissä.



Kuva 26. Vaihteisto keinoviialla kiinni-suunta.

#### Tunnuslukujen tarkastelu keinovika 4

Vaihteiston jäykistäminen vaikutti moottorin virtaan (taulukko 12). Silmämääräinen havainto keinovian aikana aiheutti nykivää liikettä erottimen ohjaukseen. Lisäksi vaihteiston jäykistämiseen käytetty alumiini vastus ajettiin erottimen vaihteiston väliin kiinni ohjauksen aikana, jolloin auki suuntaan ajettaessa alumiinivastus oli kerran ajettu rattaiden välistä.

Taulukko 12. Keinovika 4 auki ja kiinni ohjauksien virran tunnusluvut.

<b>operation_duration (s)</b>	Auki	Kiinni
average ilman keinovikaa	4,664	4,65
average keinovian kanssa	4,708	5,328
average keinovian jälkeen	4,676	4,658

<b>motor_current_integral (As)</b>	Auki	Kiinni
average ilman keinovikaa	9,656863	9,037935
average keinovian kanssa	10,39046	14,59911
average keinovian jälkeen	9,814001	9,072588

Kerran rattaiden läpi ohjattu alumiinivastus vaikutti vähemmän auki suuntaan ajettuihin tunnuslukuihin, koska rasitus auki suuntaan oli pienempi kuin kiinni suuntaan. Kiinni suuntaan keinoviialla ohjatessa moottorin virta kasvoi ja erottimen liike hidastui silmämääräisesti huomattavasti.

Taulukko 13. Vaihteiston tunnusluvut keinovika 4.

Ohjaus suunta	Crest factor gear vibration	Kurtosis gear vibration	Peak to peak gear vibration	RMS gear vibration
Kiinni ilman vikaa	11,05	4,46	12732	1151,43
Kiinni ilman vikaa	12,82	4,43	14506	1131
Kiinni ilman vikaa	13,15	4,03	12416	944,143
Kiinni keinovialla	11,83	3,91	10166	859,05
Kiinni keinovialla	16,08	4,39	14653	910,90
Kiinni keinovialla	13,20	4,36	11746	889,37
Kiinni ilman vikaa	14,53	6,28	16538	1137,51
Kiinni ilman vikaa	16,13	7,11	18006	1116,089
Kiinni ilman vikaa	16,27	5,72	16651	1022,80
Keskiarvo kiinni ennen keinovikaa	12,34	4,33	13218	1075,52
Keskiarvo kiinni keinovialla	13,7	4,22	12188,33	886,44
Keskiarvo kiinni vian jälkeen	15,64	6,37	17065	1092,13

Vian kohdistuessa vaihteistoon tunnuslukujen muutos oli parhaiten havaittavissa vaihteiston tunnusluvuissa. Vaihteiston vastuksen lisääminen kasvattaa myös moottorin kuormaa, jolloin tunnusluvut alkavat muuttua myös moottorissa.

Vikojen havaitsemiseksi ja vertailuksi moottorin tunnusluvut taulukossa 14 kertovat moottorin pyörimisnopeuden laskemisesta ja kuorman lisääntymisestä. Kierrosnopeuden laskeminen ilmenee tunnusluvuissa huipusta huippuun (peak to peak) arvon laskuna, koska osataajuuksien taajuuden voimakkuus laskee. Lisäksi neliöllinen huippuarvo pienenee samasta syystä.

Taulukko 14. Moottorin tunnusluvut keinovika 4.

Ohjaus suunta	Crest factor motor vibration	Kurtosis Motor vibration	Peak to peak motor vibration	RMS Motor vibration
Kiinni	11,55	3,7	12414	1074,56
Kiinni	10,84	3,54	11707	1079,95
Kiinni	9,62	3,21	8945	929,49
Kiinni keinovialla	11,67	3,46	8982	769,32
Kiinni keinovialla	11,18	3,37	8760	783,04
Kiinni keinovialla	11,57	3,49	9223	797,03
Kiinni	10,84	3,55	12021	1107,56
Kiinni	10,78	3,33	11170	1035,61
Keskiarvo kiinni ennen keinovikaa	10,84	3,48	11022	1028
Keskiarvo kiinni keinovialla	11,67	3,44	8988,33	783,13
Keskiarvo kiinni vian jälkeen	10,75	3,43	11668	1076,89

Keinovian ollessa suuri, huomaa järjestelmän jokainen anturi poikkeamia. Vaihteiston jäykistämisen muutos näkyy myös ilmamikrofonin tunnusluvuissa. Tunnuslukujen tarkastelussa huomaa muutoksien kuitenkin olevan pienempiä kuin esimerkiksi vaihteiston pietson tunnusluvut.

Ohjainkotelon äänissä tapahtuu pieniä muutoksia tunnusluvuissa, jotka ovat esitetty taulukossa 15. Keinovian jälkeisten ohjauksien tunnuslukujen muutokset johtuvat vaihteiston puhdistamisesta keinovian jälkeen.

Taulukko 15. Ohjainkotelon tunnusluvut keinovika 4.

Ohjaus suunta	Crest factor cabinet vibration	Kurtosis Cabinet vibration	Peak to peak cabinet vibration	RMS Cabinet vibration
Kiinni	22,66	3,31	311	13,71
Kiinni	23,37	3,51	309	13,22
Kiinni	22,7	3,42	310	13,61
Kiinni keinoviolla	21,87	3,57	290	13,25
Kiinni keinoviolla	19,47	3,38	285	14,63
Kiinni keinoviolla	20,35	3,28	296	14,54
Kiinni	25,79	3,75	314	12,17
Kiinni	25,74	3,91	315	12,23
Kiinni	26,5	3,99	298	11,24

Keskiarvo kiinni ennen keinovikaa	22,91	3,41	310	13,51
Keskiarvo kiinni keinoviolla	20,35	3,41	290,3	14,14
Keskiarvo kiinni keinovian jälkeen	26,5	3,88	309	11,88

Ilmamikrofonin havaitsemat muutokset järjestelmässä vaihteiston jäykistämisen aikana ovat selkeästi havaittavissa huippukertoimen laskuna. Lasku johtui vaihteiston kierrosnopeuden pienentymisestä, jonka seurauksena ohjauksen taajuuksien voimakkuudet muuttuvat.

Erottimen keinovioista vaihteiston jäykistäminen oli kaikkein raskain erottimen ohjainlaitteistolle. Tämä näkyy tunnuslukujen selkeänä muutoksena. Keinovikojen aikana tapahtuvat muutokset eri komponentteihin ohjainkotelossa on helposti havaittavissa ja tunnuslukujen tulokset tukevat tulosta.



### 7.3 Katkaisijan keinovikatestit

Katkaisijan keinovikatestit aloitettiin pienemmän vian mallintamisella. Katkaisijan mekaanisten voimien vuoksi kovemman rasituksen keinovikatesti tehtiin viimeiseen koeohjaussarjaan, koska laitteen rikkoutuminen olisi keskeyttänyt keinovikatestit.

Katkaisijan keinovikatestejä tehtiin kolmena kertana ja keinovikojen tarkoituksena oli pystyä kehittämään erikseen niiden antureiden mittaustekniikkaa, jotka olivat erityisesti katkaisijan mittaukseen suunnattu.

Vertailua haluttiin tehdä MEMS-kiihtyvyyssanturin muutoksille, jonka avulla voidaan havaita iskunvaimentimessa tapahtuvat muutokset. Lisäksi haluttiin selvittää katkaisijan ohjainkotelon sisällä olevan ilmamikrofonin toimintaa. Katkaisijan ohjainkotelon äänet ovat huomattavasti erottimen ohjainkoteloa kovempia, jolloin ilmamikrofonin täytyy olla malliltaan kovempaa ilmanpainetta kestävämpi.

Katkaisijan ensimmäisissä keinovikatesteissä havaittiin tarvetta ilmamikrofonin laadun parantamiselle. Aikaisempi ilmamikrofoni ei yltänyt riittävän korkeisiin taajuuksiin, mikä aiheutti ongelmia ilmamikrofonin kohdentamisessa eri taajuusalueille vastamaan paremmin ilmassa tapahtuvan värähelyn muutoksia.

Katkaisijan ilmamikrofoni on paineen sietokyvyltä suurempi kuin erottimessa, jolloin ilmamikrofonin herkkyys voi olla heikompi. Tämän vuoksi oli tärkeää selvittää ilmamikrofonin riittävyys tunnistamaan vikoja. Ilmamikrofonin laatua parantamalla pystyttiin herkkyyttä kasvattamaan.

Katkaisijan tunnuslukujen vertailussa on myös samoja eroavaisuuksia kuin erottimen tunnusluvuissa keinovikojen välillä. Tämä johtuu järjestelmän kehityksen aikaisesta mittaustuloksien tarkentumisesta ja kanavien vahvistuksien muutoksista.

Tärkeintä tunnuslukujen tutkinnassa on tehdä ero kyseisen keinovian aikana tapahtuneisiin muutoksiin. Keinovikatestien välinen ilman keinovikaa ohjauksen tunnusluvuissa voi olla eroja riippuen laitteisiin tehdyistä muutoksista kehitystyön aikana.

Tunnuslukujen vertailusta on myös jätetty laskettuja tunnuslukuja pois ja esille on tuotu ne tunnusluvut, jotka ovat keinovian kannalta olennaisia tutkia.

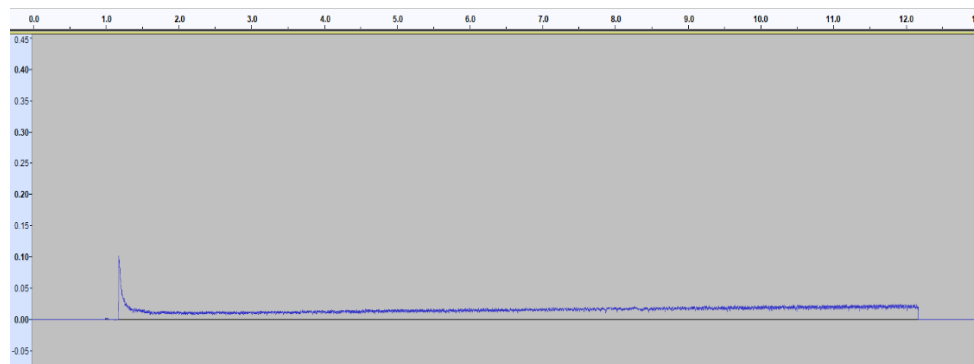
### 7.3.1 Viritysmoottorin käyttöjännitteen säätäminen

Ensimmäisenä keinovikana katkaisijaan oli viritysmoottorin käyttöjännitteen muutokset, jotka voivat aiheutua komponenttien vioista tai varmennetun sähkön jännitteen alentumisesta. Käyttöjännitteen laskeminen aiheutti virtaprofiilin muutoksen ja viritysjajan pidentymisen, jotka on esitetty kuvissa 27 ja 28.

Käyttöjännitteen pienentämisellä voitiin mallintaa viritysmoottorin kierosnopeuden pienentymistä. Tämän avulla pystyttiin tutkimaan muutoksia moottorin pietson arvoissa sekä viritysjajan muutoksissa.

#### Virtaprofiilin muutos katkaisijan keinovika 1

Virtaprofiilin muutos katkaisijan viritysmoottorissa on helposti havainnollistava mittaus virityksen yleisestä tapahtumasta. Kaikki jäykkyys ja vastus näkyvät välittömästi virityksen ohjausajassa, mutta tarkentaviin syihin muutoksessa ei virtaprofiili välttämättä auta.

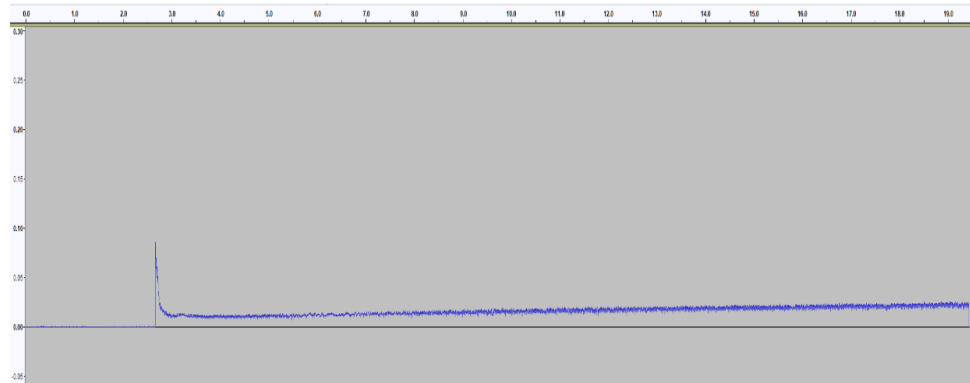


Kuva 27. Viritysmoottorin virtaprofiili normaali 220VDC jännitteellä.

Käyttöjännitteen pudottaminen 160VDC aiheutti viritysmoottorin viritysjajassa muutoksen. Tästä johtuen viritysaika muuttui 11 sekunnista 18,5 sekuntiin. Muutos toimintaan on suuri, mutta katkaisija kykenee toimimaan vielä normaalisti näillä arvoilla.

Tämä johtuu vaihteiston suuresta välityksestä, jonka välityssuhteen avulla voidaan operoida laitetta pienemmällä jännitteellä. Suuri välistyssuhde on suunniteltu suureksi katkaisijan viritysjousien kovan voiman takia.

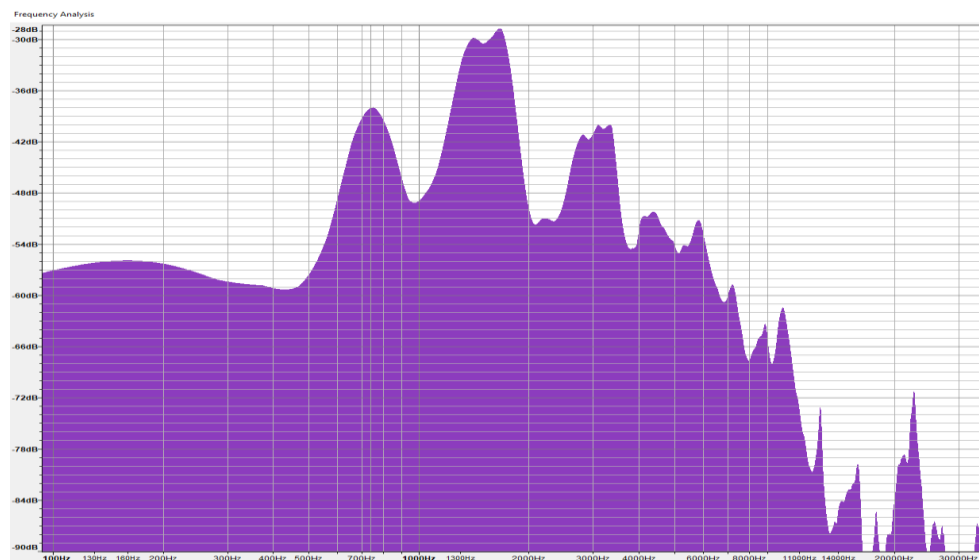
Virtaprofiiliin tuli säädettävän jännitelähteen takia lievää kohinaa, joka johtuu jännitelähteen tavasta muuttaa vaihtojännite tasajännitteeksi. Säädettävä jännitelähde hyödyntää DC muunnoksessa hakkuritehonlähdettä, joiden laadussa muuttaa jännitettä on eroja riippuen mallista.



Kuva 28. Viritysmoottorin virtaprofiili 160VDC jännitteellä.

### Katkaisija keinovika 1 spektrianalyysi

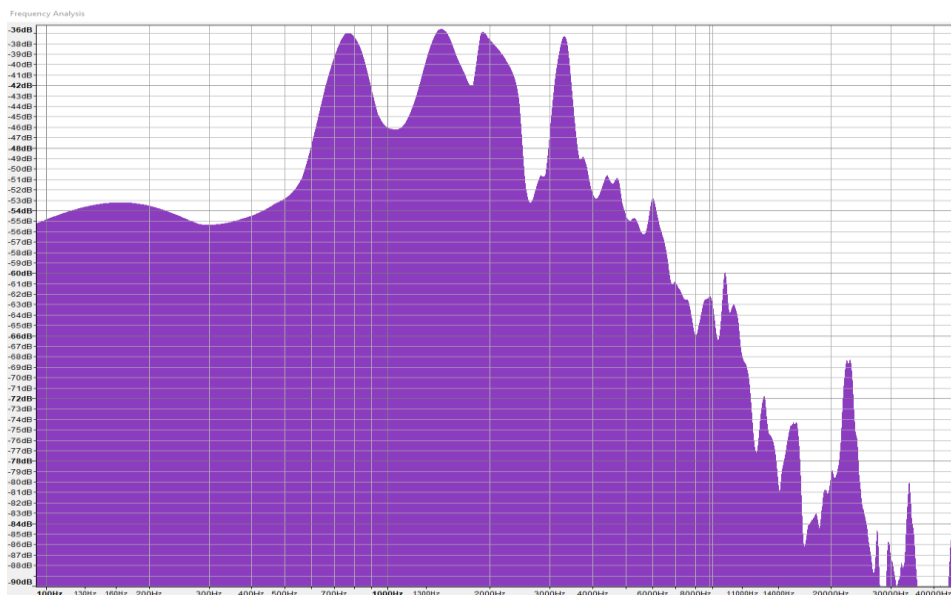
Ohjausjännitteen pudottamisen seurauksena muutokset viritysaikaan olivat suuret. Tämä oli seurausta viritysmoottorin kierrosnopeuden laskusta. Moottorin nopeuden lasku vaikuttaa suoraan akustisen emission amplitudin voimakkuuteen alentavasti. Matalien taajuuksien amplitudi kasvaa, mutta korkeiden taajuuksien laskee. Nämä muutokset näkyvät kuvissa 29 ja 30.



Kuva 29. Moottori keinovialla 160VDC jännitteellä.

Viritysmoottorin kierrosnopeuden pudotessa tapahtuu muutoksia, jotka vaikuttavat kaikkien antureiden mittaustuloksiin. Viritysmoottorin pietson muutos on kaikista suurin, muutoksen tapahtuessa kyseisessä komponentissa. Suurin muutos tapahtuu 700-2000Hz alueella. Spektrin pinta-ala ja

amplitudin intensiteetin muutokset ovat selkeitä tunnuslukulaskentaan vaikuttavia tekijöitä. Tunnuslukulaskennassa ja spektrianalyysissä pystytään hakemaan jokainen pienempikin muutos.



Kuva 30. Moottori ilman keinovikaa 220VDC jännitteellä.

#### Katkaisijan viritysmoottori keinovialla

Tunnuslukujen tarkkailussa katkaisijan ensimmäisen keinovian kohdalla tärkeimmät tunnusluvut ovat viritykseen liittyviä, joiden muutos on helposti todennettavaa ja vikojen kannalta tärkeitä laskea.

Tärkeintä viritysmoottorin käyttöjännitteen keinoviassa on tutkia viritysmoottorin pietson tunnuslukuja. Lisäksi tulisi tutkia viritysmoottorin HALL-anturin mittaaman virran arvoja taulukosta 16. Kelamekaniikan muutoksia ei keinovian aikana tapahtunut eikä iskunvaimentajan MEMS-kiihtyvyyssanturin arvot ole muuttuneet.

Taulukko 16. Katkaisijan viritysmoottorin tunnusluvut keinovika 1.

<b>operation_duration (s)</b>	Kiinni ohjaus viritys
average ilman keinovikaa (220 VDC)	11,01
average keinovian kanssa (160 VDC)	16,73
average keinovian jälkeen (220 VDC)	11,31
<b>motor_current_flat_mean (A)</b>	Kiinni ohjaus viritys
average ilman keinovikaa (220 VDC)	4,81
average keinovian kanssa (160 VDC)	5,05
average keinovian jälkeen (220 VDC)	4,77

Katkaisijan viritysaika keinovian aikana nousi n. 11 sekunnista melkein 16 sekuntiin ja viritysmoottorin käyttämä virta kasvoi noin kolmas osa ampeeria. Esitetty virta on virtaprofiilin tasaisen osan virran arvo. Näiden arvojen perusteella voi laskea tehon pienentyneen reilun viidenneksen. Tehon pientyminen näkyy viritysaajan pidentymisenä.

Katkaisijan ohjainkotelon ilmamikrofonin arvojen tutkinnan avulla voidaan vertailla viritysmoottorin pietsoanturin ja ohjainkotelon ilmamikrofonin kykyä erotella vian aikana tapahtuvat muutokset. Keinovikatestien aikana suurin osa ohjauksista tehtiin ilman ilmamikrofonia, koska ilmamikrofonin kanavaa käytettiin moottorin pietsoanturin tarkkuuden parantamiseksi referenssi kanavana toiselle pietsolle.

Moottorin pietsoanturit oli sijoitettu mittamaan samaa pintaa, jolloin voitiin varmistaa viritysmoottorin mittauksien olevan todellisia. Referenssi pietson tunnuslukuja ei ole tarvetta käsitellä erikseen, koska niiden tulokset vastaavat vaaditulla tarkkuudella IoT-päätelaitteen oman pietsoanturin mittausta.

Katkaisijan viritys tapahtuu kiinni ohjauksen aikana, jonka vuoksi auki suuntaan ohjatessa ei tunnuslukuja lasketa viritysmoottorin osalta. IoT-päätelaite tunnistaa ohjaussuunnan kelojen virtamittauksesta ja tämän avulla pystyy jättämään viritysmoottorin virran laskennan pois auki suuntaan ohjatessa.

Auki ohjauksen aikana ei pilvialustalle lähtevässä tiedosto kokonaisuudessa ole siis viritysmoottorin virtatiedostoa, koska tämä keventää lähetettävää tiedonmäärää. Mittausten optimointi ja ohjauksen kannalta turhien mittauksien vähentäminen nopeuttaa tiedonsiirtoa ja tekee järjestelmästä nopeamman.

Ensimmäisessä viritysmoottorin keinovikatestissä ei ollut käytössä ohjainkotelon ilmamikrofonia, eikä katkaisijan IoT2-päätelaitteessa ole vaihteiston pietsoanturia, jonka vuoksi ei tunnuslukuja kyseisiltä antureilta ole katkaisijan osalta.

Antureiden erot kytkinlaitteiden välillä ovat perusteltavissa mitattavien suureiden vuoksi. Katkaisijan mittauksessa on tärkeää tietää iskunvaimentimen kunto, koska sen ollessa viallinen on vaikutukset muulle mekaniikalle isommat. Ilmamikrofonin avulla pystyy kuuntelemaan mekaaniset viat riittävän tarkasti, jolloin vaihteiston pietsoanturin korvaaminen MEMS-kiihtyvyyssanturilla on perusteltua.

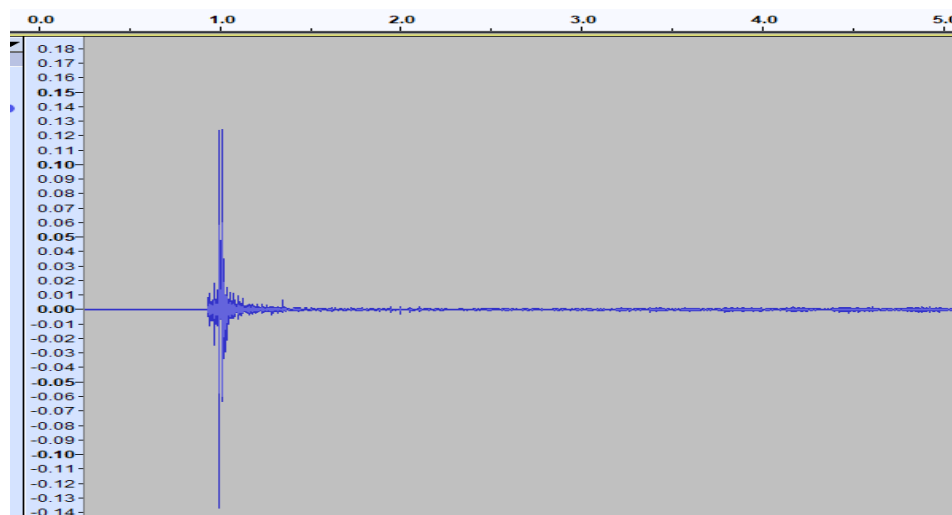
Viritysmoottorin käyttöjännitteen muutos vaikuttaa viritysaikaan, mutta muuhun katkaisijan toimintaan sillä ei ole vaikutusta. Katkaisija virittää

jouset joka tapauksessa tiettyyn säädettyyn pisteeseen asti mekaanisen raketyksen katkaistessa viritysmoottorin virran syötön. Tämän vuoksi tämän keinovian tuloksissa ei ollut olennaista tutkia kiihtyvyyssanturin tuloksia tämän keinovian osalta.

### 7.3.2 Iskunvaimentimen muokkaus

Katkaisijan toisena keinovikana oli vähentää katkaisijan iskunvaimentimen öljyä eli komponentin, joka vaimentaa katkaisijan liikettä ohjaustilanteessa jousien voiman vapautuessa. Iskunvaimentimen öljyvuoto aiheuttaa suuria voimia katkaisijan muille komponenteille ja mittaustuloksista pystyy kohdistamaan vian syyn sen suuren intensiteetin muutoksen vuoksi.

Öljymäärän vähentämisellä haettiin MEMS-kiihtyvyyssanturin avulla rajaa, mikä tulee vastaan iskunvoimakkuuden vahvistuessa. Tämän avulla voitiin varmistaa anturin sopivuus mittaamaan kiihtyvyyttä iskunvaimentajassa. Kiihtyvyyssanturin liian pieni skaalautuvuus olisi selvinnyt vikojen aikana ja tämän perusteella olisi voitu kehittää järjestelmää.

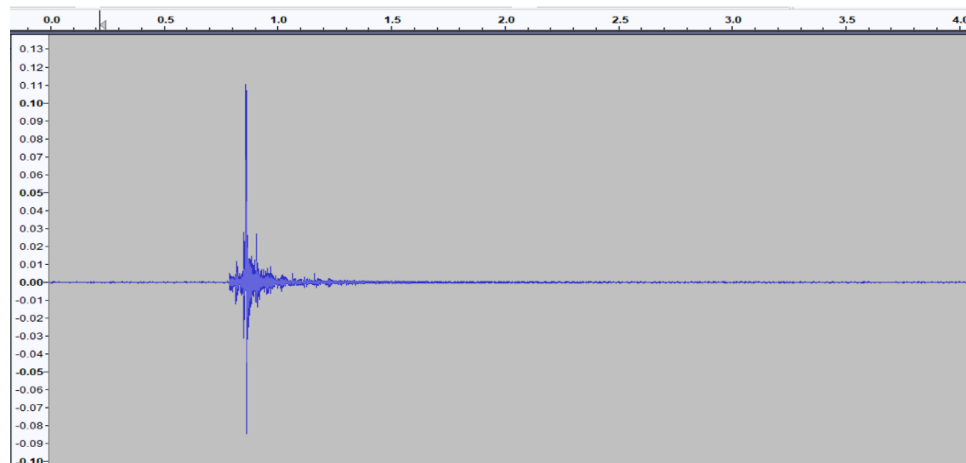


Kuva 31. Iskunvaimentajan MEMS-kiihtyvyyssanturi keinoviialla.

Huippuarvo 0,122 kuvassa 31 vastaa 19,52G:tä. 0,122 on 12,2% 160G arvosta, joka tulee laskennallisena jännitteenä suhteessa mitattuun arvoon. Kiihtyvyyssanturi pystyy mittaamaan  $\pm 200$  G, jolloin yli 160G:n voimat olisivat ääniprofiilissa yli 1 ylittäviä arvoja.

IoT-päätelaitteen vahvistuksen muutoksella voidaan vielä herkentää anturin toimintaa. Liian suuren vahvistuksen ongelmana on signaalin leikkaantumisen ylittäessä vahvistimen rajat. Tämän vuoksi vahvistus on maltillinen.

Katkaisijan iskunvaimentimessa olevan kiihtyvyyssanturin mittaama kiihtyvyys viallisella iskunvaimentimella oli keskimäärin 18-20 G paikkeilla. Iskunvaimentajan vaihtamisen jälkeen kiihtyvyys putosi 16-18 G:hen.



Kuva 32. MEMS-kiihtyvyyssanturin mittaus ehjällä iskunvaimentajalla.

Ehjän iskunvaimentimen huippuarvo oli 0,11, joka vastaa 17,6G:n kiihtyvyyttä, tämän näkee kuvasta 32. Tällöin ehjän iskunvaimentimen ja lievästi rikkoutuneen ero on hieman alle 2G:tä. Rikkoutuneen iskunvaimentimen vika oli iskunvaimentajan männän jäykistyminen sylinteriin nähden.

Vika aiheutti iskunvaimentimen jäykistymistä, mutta öljyn ollessa poissa kovensi iskua. Iskunvaimentaja ilman öljyä ja normaalisti liikkuvalla männällä aiheuttaisi huomattavasti nopeamman liikkeen, koska keinovikatesteissä käytetty viallinen iskunvaimentaja vaimensi edelleen jäykkyytensä vuoksi.

Katkaisijan iskunvaimennin vaimentaa katkaisijan ohjauksessa auki suunnan liikkeen loppupäätä. Kiinni suuntaan katkaisijaa ohjatessa liikettä vaimentaa auki suunnan jousien kiristyminen. Katkaisijan voimat ovat suuria, joka näkyy kiihtyvyyden mittaustuloksissa.

#### 7.4 Keinovikojen toteaminen lot-antureiden avulla ja järjestelmän kehittäminen

Keinovikatestien aikana analysoitiin jatkuvasti dataa, jolloin tiedettiin testien onnistuvan ja tulosten olevan realistisia. Keinovikatestin tulosten perusteella pystytään parantamaan tietoa mittausdatan muutoksesta, milloin järjestelmän pitäisi hälyttää tai raportoida laitteen puutteellisesta toiminnasta. lot-antureiden ja järjestelmän antama apu vikojen ennakointiin ja vikojen löytämiseen on erinomainen työkalu kunnonvalvontaan testien saamien tuloksien perusteella.

#### 7.4.1 Viritys- ja ohjausmoottorin toiminta

Moottoreiden mittauksessa tehtiin ensimmäisten testien jälkeen antureihin materiaali muutoksia, koska haluttiin saada yli 15 kHz taajuudet myös mittaustuloksiin paremman ennakoitavuuden kannalta. Ensimmäisen keinovikatestin koeohjaussarjan aikana käytetyn referenssipietson mittaamat taajuudet ylittivät 30 kHz, jonka perusteella päätettiin kehittää pietsoanturia.

Aluksi pietsoanturin elementti pysyi samana, mutta aikaisempi kovamuovinen kuori korvattiin alumiinisella kuorella, jonka avulla tavoiteltiin parempaa taajuusvastetta. Alumiininen ulkokuori johtaa paremmin pintavärähtelyä, koska kovamuovinen materiaali on elastisempaa ja vaimentaa värähtelyä.

Alumiinisen pietsoanturin elementti kiinnitettiin suoraan reunoilta anturin kehukseen, joka auttaa värähtelyä kulkemaan materiaalin pinnasta elementille. Kuitenkin mittaustuloksien perusteella voitiin todeta komposiittisen olevan herkempi, koska elementti oli kiinnitetty suoraan keskeltä elementtiä pintaa mittaavaan pulttiin.

Pietso-elementin kiinnittäminen keskeltä antoi pietso-elementille paremman värähtelykyvyn, mutta vähensi korkeita taajuuksia. Mittaustuloksien perusteella alumiinikehyksellä oleva pietsoanturi korvattiin ultraääni pietsoilla. Ultraääni pietson avulla saatiin huomattavasti parempi vaste ja päästiin samoihin arvoihin kuin referenssi pietsoilla. Ultraääni pietson avulla saavutettiin jopa 40 kHz taajuudet.

#### 7.4.2 Erottimen vaihteiston vikojen havaitseminen

Erottimen vaihteiston jäykistäminen ilmeni parhaiten vaihteiston pietson tunnuslukujen muutoksena. Lisäksi ohjainkotelon äänimikrofoni havaitsi muutoksia äänen intensiteetissä, mutta tehokkaampi kohdistus saatiin vaihteiston omasta mittauksesta.

Metallinen ääni vaihteistossa saatiin parhaiten esiin ohjainkotelon ilmiämikrofonilla, jonka seurauksena kehitettiin ohjainkotelon ilmiämikrofonian tunnistamaan korkeammat taajuudet ohjainkotelon äänestä. Tähän auttoi herkempi ilmiämikrofoni ja kanavan vahvistaminen. Tämän avulla saatiin parannettua ohjainkotelon akustisen emission mittausta.

Lisäksi uuden ultraääni pietsoanturin avulla pystyttiin havaitsemaan metalliset äänet vian aikana, joka paransi tunnuslukulaskennan tarkkuutta. Aikaisempi pietso erottimen vaihteistossa yletti 13kHz taajuuksiin. Tämän



jälkeen etsittiin tarkempi ja laadukkaampi pietso, jonka avulla 30kHz taajuudet saavutettiin. Tällöin päädyttiin vaihtamaan kaikki pietsoanturit ultraääni pietsoihin. Lisäksi IoT-päätelaitteen kanavan vahvistusta kasvatettiin, jonka avulla saatiin herkempi vaste anturille.

#### 7.4.3 Ohjainkotelon äänimittaus

Ilmamikrofonin kyky erotella tilanteet toisistaan oli hyvä, mutta korkeiden taajuuksien puuttuminen ilmamikrofonin äänispektristä aiheutti tarpeen herkemälle ilmamikrofonille. Herkemmän ilmamikrofonin ja hieman kovemman vahvistuksen jälkeen ohjainkotelon äänimittauksessa päästiin 30 kHz taajuuksille.

Katkaisijan ohjainkoteloon asennettavan ilmamikrofonin täytyy kestää kovempaa painetta, koska ohjainkotelon sisällä olevat viritysjousi vapautessaan aiheuttaa korkean paineen ohjainkoteloon. Tämän vaatimuksen takia katkaisijalla ja erottimella käytettävät ilmamikrofonit ovat eri tyyppisiä.

Ohjainkotelossa tapahtuvan äänen akustisen emission mittaaminen parantaa ja varmentaa vikojen havaitsemista aikaisemmin, koska ääni vastaa täysin vieressä kuultua ääntä toisin kuin pietsoantureiden mittaamat pintavärähtelyt. Tämän ansiosta pystytään tutkimaan kaikkia mekaanisia komponentteja ohjainkotelossa. Ohjainkotelon äänimittauksella pystyy havaitsemaan keinovikatesteistä kaikkien vikojen ajalta muutoksia. Vian yksilöimiseen tarvittiin kuitenkin erillisiä pietsoantureita.

#### 7.4.4 Katkaisijan iskunvaimentimen kiihtyvyyden mittaus

MEMS-kiihtyvyydianturin kyky erotella kiihtyvyyden muutosta on riittävä ottaen huomioon mahdolliset muutokset vian aikana. Keinovikatestien aikana iskunvaimentajan vaihtaminen aiheutti noin 4-8G eroja kiihtyvyyteen, mutta todellisuudessa iskunvaimentajan öljyvuoto aiheuttaa suurempia muutoksia laitteen kyvyssä hidastaa iskua. Iskunvaimentaja vaimentaa kiinni suuntaan olevaa ohjausta.

Katkaisijan iskunvaimentimen mittauksen tarve on välttämätöntä paremman näkyvyyden kannalta laitteisiin. Huonosti tai välttävästi toimiva iskunvaimentaja lyhentää usean komponentin käyttöikää kytkinlaitteessa, jolloin on tärkeää seurata jokaisen ohjauksen aikana tapahtuvaa muutosta iskunvaimentimessa.

Keinovikatestien ja tuotannollisten ohjauksien välillä tehty vertailu kohdensi lisäksi MEMS-anturin asennuksen merkitystä. Mittauksen onnistumi-

sen kannalta on hyvin tärkeää asentaa anturi niin, ettei se pääse joustamaan yhtään ja mittaa tarkasti iskunvaimentajan sylinterin iskua poikittais-suunnasta varren suuntaan nähden.

#### 7.4.5 Virtamittaus ja vikojen havainnointi

Vikojen havaitseminen virrasta on stabiilia ja arvon muuttuminen kertoo aina jostakin muutoksesta. Verrattuna pintavärähtelyn mittaukseen on virran nouseminen tai laskeminen huomattavasti helpompi suure mitata.

Toisaalta pelkästään virranmittaus ei riitä, koska kytkinlaitteiden vaihteistot antavat suuren välityksen. Suuren välityksen vaikutus vaihteistossa näkyi keinovikojen tunnusluvuissa. Erottimen jäykistämisessä virran nousu tapahtuu vasta suuremman rasituksen alla, kun pienempi muutos näkyy vaihteiston ja ohjainkotelon värähtelyssä aikaisemmin.

Virtamittauksen avulla voidaan tunnistaa useampi jäykistymiseen liittyvä vika ja seurata laitteen ohjauksen aikana tapahtuvia muutoksia virtaprofiilissa. Virtaprofiilin seuraaminen mahdollistaa kohdentamaan kohtaa, missä virta nousee ja tämän avulla helpottaa vian etsintää laitteesta.

## 8 YHTEENVETO

Kokonaisuutena opinnäytetyön aihe on tämän hetken yksi ajankohtaisimmista tekniikoista kunnossapidon ja kunnonvalvonnan kehityksessä. Työn kehitysprosessi tuotti reilusti hyvää ja tarpeellista dataa tulevaisuuden kehitystyölle. Sähkönjakelu infrastruktuuri on kehityksen murroskohdassa, jolloin uuden tekniikan tuleminen on väistämätöntä kehittymisen ja tehokkuuden kannalta.

Opinnäytetyön kokonaisuuden kannalta tekniikan ja järjestelmän toiminnan läpikäyminen tukevat hyvin toisiaan yhdessä keinovikatestien tuloksien läpikäymisessä. Keinovikatesteistä saatu data helpottaa kehitystyötä ja antaa tietoa, miten kytkinlaitteet käyttäytyvät vikaantuessa.

Työn tavoitteena oli kehittää järjestelmää keinovikatestien kautta ja mielestäni keinovikatestien antamat tulokset auttoivat parantamaan antureiden tekniikkaa ja selventämään minkä tasoista dataa valvontajärjestelmältä halutaan. Keinovikatestien mittaustulokset olivat käyttökelpoisia, koska järjestelmän tekniikkaa pystyttiin parantamaan niiden avulla. Käsitellessä kehitystyövaiheessa olevaa kokonaisuutta oli keinovikatestit kokonaisuuden kannalta ehdottoman tarpeelliset.

Loppu päätelmänä voi havaita, että tarkemman mittaustekniikan ansiosta voidaan tunnuslukujen ja datan analysointia parantaa huomattavasti, jolloin saadaan tarkempi järjestelmä ja parempi tieto kytkinlaitteiden kunnosta.

Jatkokehittämisen kannalta järjestelmän kehityksen määrää sen käyttötarpeiden laajentamisen mahdollisuudet. Sähköasemalla on useita kohteita, joissa voisi hyödyntää nykyistä pohjaa ja valmista toimivaa dataketjua.

## LÄHTEET

- Chapple, M. (2019). The Fundamentals of SQL. *About SQL*. Haettu 01.07.2019 osoitteesta <https://www.lifewire.com/sql-fundamentals-1019780>
- Fingrid Oyj. (2019). Fingrid esittely. Haettu 01.07.2019 osoitteesta <https://fingrid.fi/esittely>
- Fingrid Oyj. (2019). Suomen kantaverkko. Haettu 01.07.2019 osoitteesta <https://fingrid.fi/kantaverkko>
- Helsingin yliopisto. (2011). Sähkömagneettiset aallot. Haettu 01.07.2019 osoitteesta [http://www.courses.physics.helsinki.fi/astro/havaitseval/Radiomonte/liite\\_b.pdf](http://www.courses.physics.helsinki.fi/astro/havaitseval/Radiomonte/liite_b.pdf)
- Hovi, A. (2018). Data-alan termien selitykset ja kuvaukset. Blogijulkaisu 06.06.2018. Haettu 01.07.2019 osoitteesta <https://www.arihovi.com/3274-2/>
- Microsoft. (2019). Mitä Power BI on. Haettu 01.07.2019 osoitteesta <https://docs.microsoft.com/fi-fi/power-bi/power-bi-overview>
- Smith, J. (2018). Spectrograms. Haettu 01.07.2019 osoitteesta <https://ccrma.stanford.edu/~jos/mdft/Spectrograms.html>
- Tammi, J. (2018). Omaisuuden hallinnan ajankohtaisseminaari. *Kunnonhallinnan IoT-ratkaisut*. Haettu 01.07.2019 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/globalassets/lohkot/omaisuuden-hallinnan-ajankohtaisseminaari-2018-esitykset.pdf>

## Erottimen keinovikatestin työsuunnitelma

**FINGRID**

TYÖSUUNNITELMA

1 (4)

OHAE / Simpanen Joonas

26.4.2019

[Arkistotunnus]  
[Julkisuusaste]**TYÖSUUNNITELMA KYTKINLAITTEIDEN KEINOVIKATESTI ULVILA 2019**Laatija:  
Joonas SimpanenKeinovikatestiin osallistajat:  
Empower PN Oy  
IonSign Oy  
Fingrid Oyj**Työntoteutus**

Työssä noudatetaan sähköasemalle laadittua turvallisuus- ja ympäristösuunnitelmia. Asennustöitä ja kytkentöjä johtaa palveluntoimittajan kärkimies tilaajan antaman ohjeistuksen mukaisesti.

Keinovikatestin tavoitteena on saada luotettavia mittaustuloksia testiympäristössä olevien kytkinlaitteiden toiminnasta ja simuloida mahdollisimman hyvin mahdollisten oikeiden vikojen aiheuttamia muutoksia mittaustuloksissa.

**Toimenpiteet**

Kytkinlaitteiden keinoviat tehdään yksitellen ja vikojen välissä tehdään ohjaukset vähintään kolme kertaa molempiin suuntiin ja jokaisen ohjauksen välissä odotetaan vähintään viisi (5) minuuttia ja tarkistetaan tiedon siirtyminen ja varmistetaan kaiken tiedon tallentuminen. Keinoviat tehdään seuraavassa järjestyksessä.

**Erottimen keinovikatestit**

- 1. Koskettimien jäykkyyden simulointi. Jäykkyyden simulointiin käytetään mittauksessa vastuksia koskettimien päihin**  
Koskettimien päihin asennetaan keinotekoiset vastukset, jotka rajoittavat alkupään liikettä.
- 2. Erottimen jäykkyyden simulointi. Kuivataan erottimen kaikki nivelet ja asennetaan lisävastus auki suuntaan**  
Erottimen yhdystankojen rasvanpoisto ja auki suuntaan jäykkyyden simuloinnin vahvistaminen erillisellä vastuksessa (kumi, joka venyy)
- 3. Moottorijarrun jarrupalojen irrottaminen**

Erottimen moottorissa on mekaaninen jarrutus, joka poistetaan. Vian mahdollisena havaintona on erottimen väli tilan aiheuttanut syy, jonka pystyy kuulemaan erottimen toiminnasta.

#### 4. Vaihteiston jäykistäminen

Vaihteiston rattaiden väliin asetetaan ohjaustilanteessa lisävastus. Lisävastus voi olla esimerkiksi metalli- tai kumilevyn pala

#### 5. Ohjausjännitteen laskeminen

Erottimen ohjausjännitteen laskeminen erillisellä jännitelähteellä.

#### Katkaisijan keinovikatestit: (Suoritetaan 18-19.6.2019)

1. Apujännitteen laskeminen (erillinen jännitelähde)
2. Kiinnivirityksen jousen löystäminen
3. Iskunvaimentimen öljymäärän puolittaminen

#### Tarvittavat koneet ja tarvikkeet

- Kurottaja / henkilönostin (erottimen keinovikatestit)
- Työkonemaadoitukset
- Rasvanpoistoon liuotin
- Lisävastuksen tekemiseen kumia ja liina

#### Huomioitavaa

Asennuksien ja keinovikojen valmistelun aikana kytkinlaitteiden apusähköt ovat kytkettävä pois.

Katkaisijan ohjauksen aikana turvaetäisyys vähintään 30m.

**Keinovikatestit tulee pysäyttää välittömästi, jos havaitaan puutteita turvallisuudessa tai vakavia vikoja laitteiden toiminnassa.**

#### Aikataulu työn toteutukselle

- 4-5.6.2019 Erottimen keinovikatestit nro. 1
- 18-19.6.2019 Katkaisijan keinovikatestit nro. 1
- 16-17.7.2019 Erottimen keinovikatestit nro. 2
- 23-24.7.2019 Katkaisijan keinovikatestit nro. 2
- 12-13.8.2019 Erottimen keinovikatestit nro.3

## Katkaisijan keinovikatestin työsuunnitelma

**FINGRID**

Muistio

1 (2)

OHAE / Simpanen Joonas

19.6.2019

[Arkistotunnus]  
[Julkisuusaste]**TYÖSUUNNITELMA KYTKINLAITTEIDEN KEINOVIKATESTI ULVILA 2019**Laatija:  
Joonas SimpanenKeinovikatestiin osallistujat:  
Empower PN Oy  
IonSign Oy  
Fingrid Oyj**Työntoteutus**

Työssä noudatetaan sähköasemalle laadittua turvallisuus- ja ympäristösuunnitelmia. Asennustöitä ja kytkentöjä johtaa palveluntoimittajan kirkkimies tilaajan antaman ohjeistuksen mukaisesti.

Keinovikatestin tavoitteena on saada luotettavia mittaustuloksia testiympäristössä olevien kytkinlaitteiden toiminnasta ja simuloida mahdollisimman hyvin mahdollisten oikeiden vikojen aiheuttamia muutoksia mittaustuloksissa.

**Toimenpiteet**

Kytkinlaitteiden keinoviat tehdään yksitellen ja vikojen välissä tehdään ohjaukset vähintään kolme kertaa molempiin suuntiin ja jokaisen ohjauksen välissä odotetaan vähintään viisi (5) minuuttia ja tarkistetaan tiedon siirtyminen ja varmistetaan kaiken tiedon tallentuminen. Keinoviat tehdään seuraavassa järjestyksessä.

**Katkaisijan keinovikatestit:**

- 1. Apujännitteen laskeminen (erillinen jännitelähde)**
- 2. Iskunvaimentimen öljymäärän puolittaminen**

**Tarvittavat koneet ja tarvikkeet**

- Säädettävä jännitelähde AC DC
- Vara iskunvaimennin

**Huomioitavaa**

Asennuksien ja keinovikojen valmistelun aikana kytkinlaitteiden apusähköt ovat kytkettävä pois.

Katkaisijan ohjauksen aikana turvaetäisyys vähintään 30m.

**Keinovikatestit tulee pysäyttää välittömästi, jos havaitaan puutteita turvallisuudessa tai vakavia vikoja laitteiden toiminnassa.**

**Aikataulu työn toteutukselle**

4-5.6.2019 Erottimen keinovikatestit nro. 1

18-19.6.2019 Katkaisijan keinovikatestit nro. 1

16-17.7.2019 Erottimen keinovikatestit nro. 2

23-24.7.2019 Katkaisijan keinovikatestit nro. 2

12-13.8.2019 Erottimen keinovikatestit nro.3

20-21.8.2019 Katkaisijan keinovikatestit nro.3