

Markus Hallikainen

# Suklaamassakeittimen vastaanottovärähtelymittaukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinööryö

11.5.2017

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Markus Hallikainen Suklaamassakeittimen vastaanottovärähtelymittaukset 25 sivua + 36 liitettä 11.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Pekka Salonen Koneteknikko Jarmo Nukarinen
<p>Tämän insinööriyön tilasi Fazer Makeiset Oy. Työ tehtiin uuden suklaamassakeittimen vastaanottoa varten. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää värähtelyn voimakkuus eri puolilla konetta erilaisten kuormien kanssa pyörimisnopeutta muuttamalla.</p> <p>Konetta käytettäessä havaitaan sähköpäämoottorin, vaihdelaatikon ja rummun akselin liikehdintää ja värähtelyä. Kuormituksen kasvaessa liikehdintä ja värähtely voimistuvat. Värähtely voi aiheuttaa koneen vikaantumisen sallitun värähtelytason ylittyessä. Tuotannon tehokkuuden vuoksi konetta halutaan kuitenkin käyttää mahdollisimman suurella kuormalla.</p> <p>Työn teoriaosassa käsitellään suklaamassakeittimen koneikon rakennetta ja toimintaa, sekä värähtelymittauksiin ja niiden analysointiin liittyviä asioita. Mittaukset suoritettiin Emerson CSI 2140-merkkisellä kannettavalla mittalaitteella ja siihen liitetyllä pietsosähköön perustuvalla kiihtyvyyssanturilla.</p> <p>Työn lopputulokseksi saatiin tietoa koneen turvallisesta käyttötasosta värähtelymittausten näkökulmasta. Tulevaisuudessa yritys jatkaa reittimittausten käyttöä osana koneen kunnossapitoa.</p>	
Avainsanat	Värähtely, värähtelymittaus, värähtelytaajuus

Author Title Number of Pages Date	Markus Hallikainen Vibration Measurements of a Chocolate Paste Maker 25 pages + 36 appendices 11 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Production Engineering
Instructors	Pekka Salonen, Senior Lecturer Jarmo Nukarinen, Machine Technician
<p>This Bachelor's thesis was made for a new chocolate paste maker using vibration research. This thesis was commissioned by Fazer Makeiset Oy (Fazer Confectionery). The objective of the study was to examine the levels of vibration frequency from different sides of the chocolate paste maker with a load and without a load.</p> <p>When using the chocolate paste maker, movement and vibration from the main electric motor, gearbox and drum shaft are detected. With the maximum load, the movement and vibration is higher. The vibration can cause failures for the machine if the permissible vibration level is too high.</p> <p>The measurements were performed with a portable measuring device called Emerson CSI 2140 and an accelerometer based on piezoelectricity.</p> <p>As a result, information on the chocolate paste maker's safe operation level was acquired. In future the company will continue performing route vibration measurements as part of the chocolate paste maker's maintenance process.</p>	
Keywords	Vibration, vibration route measurements, vibration frequency

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Fazer Oy	2
2.1	Historia	2
2.2	Yrityksen toiminta	3
3	Suklaamassakeittimen toimintaperiaate	4
4	Suklaamassakeittimen koneikko	5
4.1	Sähköpäämoottori	6
4.2	Vaihdelaatikko	6
4.3	Sekoitin	9
4.4	Murskaimet	12
5	Värähtelymittauslaitteisto	13
6	Värähtelymittauksen suorittaminen	15
6.1	Reittimittauspisteiden määrittäminen	15
6.2	Värähtelymittausohjelman luominen	18
6.3	Reittimittaus	20
6.4	Värähtelymittausten analysointi	20
6.4.1	4.4.2017 tehtyjen mittausten analysointi	22
6.4.2	7.4.2017 tehtyjen mittausten analysointi	23
6.4.3	26.4.2017 tehtyjen mittausten analysointi	23
7	Yhteenveto	24
	Lähteet	25

## Liitteet

Liite 1. Taulukko laakeritiedoista 1

Liite 2. Taulukko laakeritiedoista 2

Liite 3. Väriänmittaustulokset 230L01D001-1R

Liite 4. Väriänmittaustulokset 230L01D001-1RP

Liite 5. Väriänmittaustulokset 230L0D001-2R

Liite 6. Väriänmittaustulokset 230L01D001-2RP

Liite 7. Väriänmittaustulokset 230L01D001-2A

Liite 8. Väriänmittaustulokset 230L01D001-3R

Liite 9. Väriänmittaustulokset 230L01D001-3RP

Liite 10. Väriänmittaustulokset 230L01D001-4R

Liite 11. Väriänmittaustulokset 230L01D001-4RP

Liite 12. Väriänmittaustulokset 230L01D001-5R

Liite 13. Väriänmittaustulokset 230L01D001-5RP

Liite 14. Väriänmittaustulokset 230L01D001-6R

Liite 15. Väriänmittaustulokset 230L01D001-6RP

Liite 16. Väriänmittaustulokset 230L01D001-6A

Liite 17. Väriänmittaustulokset 230L01D001-6AP

Liite 18. Väriänmittaustulokset 230L01D001-7R

Liite 19. Väriänmittaustulokset 230L01D001-7RP

Liite 20. Väriänmittaustulokset 230L01D001-8R

Liite 21. Väriänmittaustulokset 230L01D001-8RP

- Liite 22. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D002-1R
- Liite 23. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D002-1RP
- Liite 24. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D002-2R
- Liite 25. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D002-2RP
- Liite 26. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D002-2A
- Liite 27. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D003-1R
- Liite 28. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D003-1RP
- Liite 29. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D003-2R
- Liite 30. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D003-2RP
- Liite 31. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D003-2A
- Liite 32. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D004-1R
- Liite 33. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D004-1RP
- Liite 34. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D004-2R
- Liite 35. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D004-2RP
- Liite 36. Väri­nä­mit­taus­tu­lo­kset 230L01D004-2A

## Lyhenteet

RMS Root Mean Square. Keskiarvoistettu tehollisarvo.

RPM Revolutions Per Minute. Kierrosnopeus [1/min].

## 1 Johdanto

Fazer makeiset Oy on hankkinut uuden suklaamassakeittimen, johon ei ole laadittu värähtelymittausohjelmaa, ja näin ollen täytyy suunnitella standardin mukaisesti mittauspisteet, jotka muodostavat reittimittausreitit.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli luoda mittausreitti suklaamassakeittimen värähtelymittaukseen ja mittaustulosten taltioiminen myöhempää kunnonvalvontaa varten. Värähtelymittauksella halutaan myös selvittää koneen sietokyky akseleilta mitattujen värähtelytaajuuksien ja niiden voimakkuuksien avulla.

Värähtelymittausten suurin ongelma on rummun hitaasti pyörivän akselin värähtelymittaaminen pyörimistaajuuden ollessa matala. Aluksi täytyikin miettiä, millaisella anturilla voitaisiin värähtelymittaus suorittaa. Anturilla täytyi pystyä mittaamaan moottorin päästä korkeammalla kierrosnopeudella pyörivä akseli, rummun hitaammin pyörivä akseli ja siltä väliltä olevat akselit.

Suklaamassakeitin koostuu suuresta ohjausjärjestelmästä ja koneikosta. Tässä työssä keskitytään koneikon värähtelyihin. Koneikkoon kuuluu sähkömoottori, vaihdelaatikko, rumpu ja kolme kappaletta murskaimia omilla sähkömoottoreilla. Koneikon osista halutaan tutkia laakereiden ja hammaspyörien värähtelyjä.

Suklaamassasekoitinta halutaan tuotannon tehokkuuden vuoksi käyttää turvallisesti mahdollisimman suurella kuormalla. Keittimen rummussa syntyy massan vaikutuksesta suuri rasitus rummun akselille maksimi kuormituksella, ja sen vaikutus siirtyy myös muihin koneen osiin.



## 2 Fazer Oy

### 2.1 Historia

Fazer Oy:n tarina alkoi, kun Karl Fazer avasi 17.9.1891 Helsingin Kluuvikadulle konditorian, jossa valmistettiin leivonnaisia (Tietoa meistä 2017).

Vuonna 1894 alkoi suklaalevyjen ja konvehtien valmistus Pursimiehenkadulla venäläisten suklaamestareiden avustuksella. Fazer valmisti melkein alusta lähtien myös makeisia ja nimesi ensimmäisen makeisen Keisarisekoitukseksi. Hyvin tunnettu Kiss-Kiss-karamelli on ollut myös mukana tuotevalikoimassa alkuajoista lähtien (Tietoa meistä 2017).

Makeisten kysynnän vuoksi Fazer Oy:llä tuli tarve laajentaa yritystään. Vuonna 1897 Fazer Oy juhli oman tehtaan avajaisia Tehtaankadulla (Tietoa meistä 2017).

Vuoteen 1898 tullessa Fazer Oy oli tullut tunnetuksi jo kansainvälisesti ja laajentanut tuotantoaan siihen mittakaavaan, että vienti oli mahdollistunut. Ensimmäisenä vientieränä vietiin Englantiin kreikkalaisia pastilleja. Marmeladia ja suklaakonvehteja toimitettiin Skandinaviaan, Saksaan, Belgiaan, Hollantiin, Englantiin, Amerikkaan, Afrikkaan ja Australiaan. Tässä vaiheessa saatiin olla ylpeitä saavutuksista, kun vientitavara varustettiin kirjoituksella ”Made in Finland” (Tietoa meistä 2017).

Fazer Oy:llä on myös leivänleivontatoimintaa, ja vuoteen 1952 saakka sillä oli ainoastaan omat leipämyymälät Helsingissä, mutta tästä eteenpäin se aloitti tuoreen leivän toimittamisen myös vähittäiskaupoille (Tietoa meistä 2017).

Fazer Oy laajensi toimintaansa entisestään vuonna 1958, kun se osti Oululaisen leipomon. Oululaisella leipomoyrityksellä oli laaja leipävalikoima, josta kaksi tuotetta oli ylitse muiden, jälkiuunileipä ja hapankorppu (Tietoa meistä 2017).

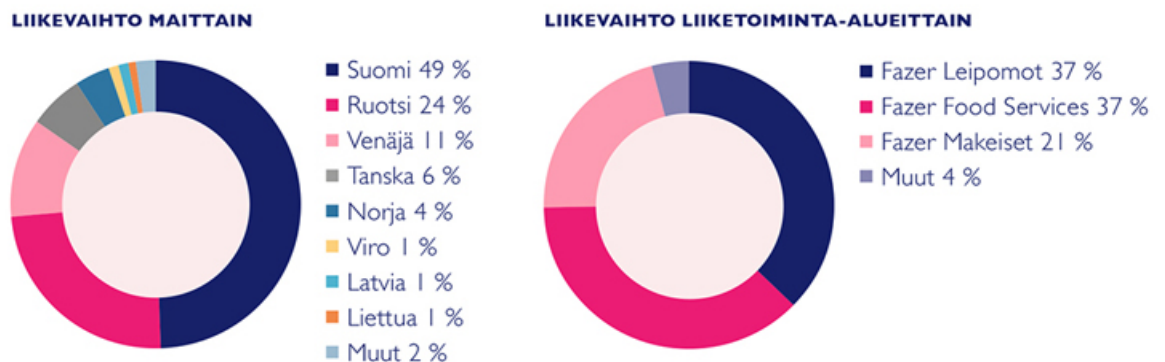
Fazer Oy laajensi taas toimintaansa ja perusti vuonna 1976 Fazer Cateringin osana yritystä, joka tunnetaan nykyisin nimellä Fazer Food Services (Tietoa meistä 2017).

## 2.2 Yrityksen toiminta

Fazer Oy on kansainvälinen ja jatkuvasti kehittyvä yritys, joka haluaa panostaa tuotteiden ja palveluiden laatuun. Vuonna 2016 Fazer Oy on kehittänyt ja parantanut toimintaansa jokaisella liiketoiminta alueellaan säilyttäen tärkeitä asiakkaita, luomalla uusia sopimuksia, tekemällä uusia investointeja ja tehostamalla toimintaansa. Fazer Oy:llä oli vuoden 2016 lopussa 14876 työntekijää (Tietoa meistä 2017).

Nykyisin Fazer Oy on kahdeksassa eri maassa toimiva nykyaikainen konserni, jolla on vientiä jo yli 40:neen maahan (Tietoa meistä 2017).

Fazer-konsernin liikevaihto vuonna 2016 oli 1603 M€ ja liikevoitto oli 88 M€ ennen liikearvopoistoja (kuva 1). Liikevoitto on 5 % liikevaihdosta. Omavaraisuus oli 57 % (Tietoa meistä 2017).



Kuva 1. Liikevaihto maittain ja liiketoiminta-alueittain (Tietoa meistä 2017)

### 3 Suklaamassakeittimen toimintaperiaate

Suklaamassakeitin on varustettu rummulla, jonka sisällä sijaitsee sekoitin lavat, jotka sekoittavat suklaamassaa (kuva 2). (Vain työn tilaajan käyttöön)

Kuva 2. Suklaamassakeittimen rumpu

Suklaamassa, joka sekoitetaan rummun sisällä, on aluksi maidon, sokerin ja veden nestemäinen seos, josta halutaan haihduttaa vettä pois. Veden haihtuessa suklaamassa alkaa kiinnittymään sekoittimen akselille ja lapoihin, jolloin vastus kasvaa ja voimat kasvavat koneen osissa. Voimien kasvaessa myös värähtelytasot kasvavat.

Sekoitinta pyöritetään aluksi nopeammalla kierrosnopeudella, ja suklaamassan saavuttaessa tilan, jossa se alkaa kiinnittymään sekoittimen akselille, kierrosnopeutta lasketaan. Sekoittimen kierrosnopeus alkuvaiheessa on 41 RPM jännitteen taajuuden ollessa 50 Hz ja taajuusmuuttajalla muutettu jännitteen taajuus 30 Hz:iin, kierrosnopeus laskee 25 RPM:ään. Kierrosnopeutta lasketaan voimien ja värähtelyjen pienentämiseksi.

Vettä haihdutetaan aluksi nestemäisestä seoksesta kaakaon lisäsvaiheeseen, minkä jälkeen veden haihduttamista jatketaan ja lopputulokseksi saadaan jauhemainen suklaamassa. Veden haihduttamisen jälkeen suklaamassa johdetaan putkistoa pitkin edelleen tuotantoon, jossa siitä valmistetaan makeisia (Karekallas 2017).

#### **4 Suklaamassakeittimen koneikko**

Suklaamassakeittimen koneikko koostuu sähkömoottorista, vaihdelaatikosta, rummusta ja kolmesta murskaimesta. Murskaimet toimivat omina yksiköinä.

Suklaamassakeittimen koneikon sivulta kuvatussa rakennekuvassa 3 nähdään, kuinka koneikko rakentuu. (Vain työn tilaajan käyttöön)

Kuva 3. Suklaamassakeittimen koneikko sivulta (Käsikirja 2016)

#### 4.1 Sähköpäämoottori

Sähkömoottori tuottaa voiman ja pyörivän liikkeen vaihdelaatikolle, minkä seurauksena syntyy värähtelyä moottorin laakereista.

Sähkömoottorin värähtelymittauksia varten tarvittavat suureet:

- pyörimistaajuus Hz
- moottorin pyörimisnopeus RPM
- moottorin laakeritiedot.

Moottorin pyörimisnopeus löytyy moottorin tyyppikilvestä ja valmistajan laatimasta käsi-kirjasta. Moottorin laakeritiedot löytyvät valmistajan laatimasta vara- ja kulutusosaluettelosta liitteistä 1 ja 2.

Pyörimistaajuus saadaan laskettua kaavasta:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (1)$$

jossa  $f$  on pyörimistaajuus[Hz],  $1$  on pyörimisnopeus [m/s] ja  $T$  on aika [s].

#### 4.2 Vaihdelaatikko

Vaihdelaatikko välittää sähkömoottorilta syntyvän voiman ja pyörivän liikkeen sekoitinta pyörittävälle akselille, minkä seurauksena syntyy värähtelyä vaihdelaatikon laakereista ja hammaspyöristä.

Vaihdelaatikon värähtelymittauksia varten tarvittavat suureet:

- akseleiden pyörimistaajuudet Hz
- ryntötaajuudet Hz
- akseleiden pyörimisnopeudet RPM
- vaihdelaatikon välityssuhteet
- vaihdelaatikon laakeritiedot.

Vaihdelaatikon välityssuhdetiedot löytyvät valmistajan laatimasta osaluettelosta (taulukko 1).

Taulukko 1. Kokonaisvälityssuhde, hammaspyörien lkm ja jakohalkaisijat (Käsikirja 2016)

Gear set X.TA190 - iges= 36.14

Gear ratio 5983 / 165



	Part numbers / pinion shaft ends	No. of teeth	Pitch circle diameter d0
Pinion 1	14083167	15	124.85
Gear 4	14083175	34	283.0
PS5	20574304	22	89.966
Gear 6	14087669	89	363.953
PS7	20568835	17	138.098
Final gear	14091100	67	544.269

Vaihdelaatikon välityssuhteet voidaan myös laskea kaavasta:

$$i = \frac{Z1}{Z2}, i = \frac{\phi1}{\phi2}, \quad (2)$$

jossa i on välityssuhde, Z1 on ensimmäinen hammaslukumäärä ja Z2 on toinen hammaslukumäärä voiman välityssuuntaan nähden.  $\phi1$  on ensimmäisen hammaspyörän ja  $\phi2$  on toisen hammaspyörän jakohalkaisija [mm] voiman välityssuuntaan nähden.

Vaihdelaatikon akseleiden pyörimisnopeudet saadaan laskettua kaavasta:

$$n2 = n1 \times i, \quad (3)$$

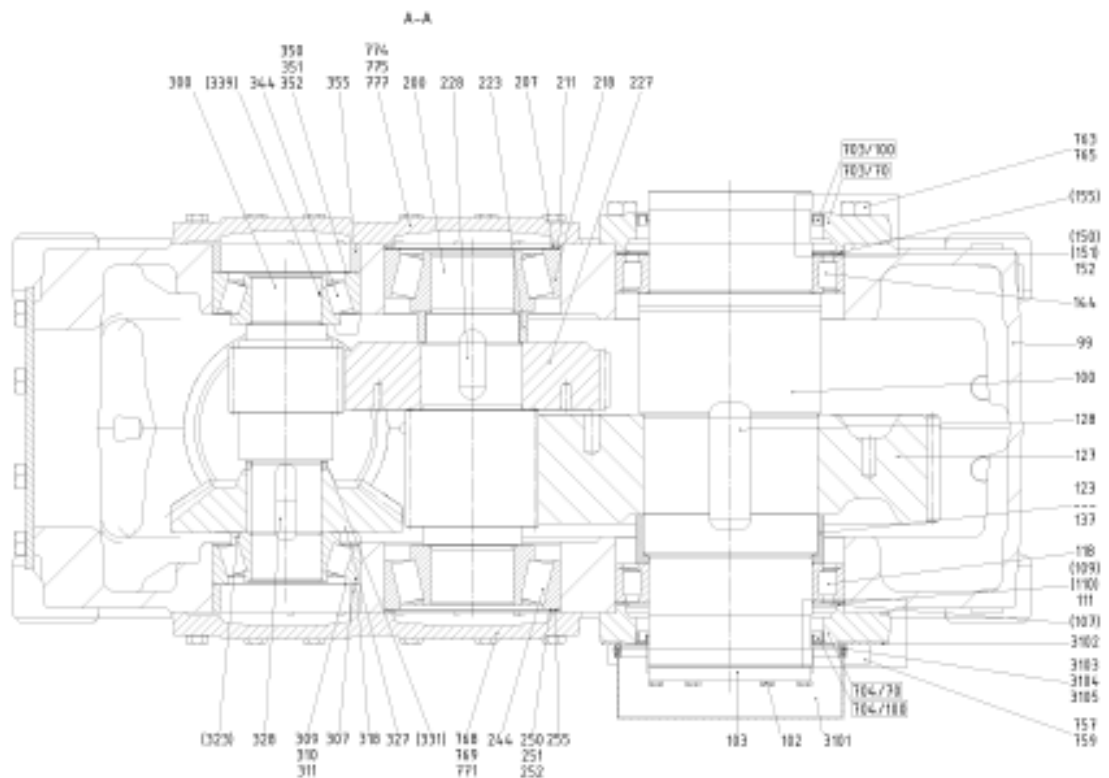
jossa n2 on vaihdelaatikon akselin pyörimisnopeus[m/s] välityksen jälkeen voiman välityssuuntaan nähden, n1 on vaihdelaatikon akselin pyörimisnopeus[m/s] ennen välitystä ja i on välityssuhde.

Ryntötaajuus saadaan laskettua kaavasta:

$$fR = n \times Z, \quad (4)$$

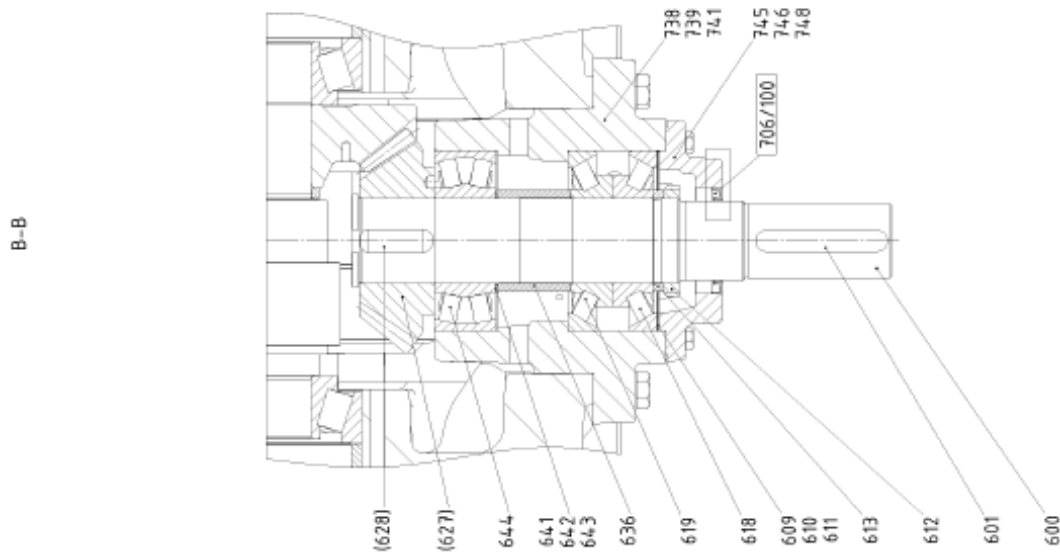
jossa  $fR$  on ryntötaajuus,  $n$  on pyörimisnopeus ja  $Z$  on hammaslukumäärä.

Vaihdelaatikon rakennekuvasta 4 nähdään laakerit ja niiden numerointi alapuolelta kuvattuna.



Kuva 4. Vaihdelaatikon rakennekuva 1 (Käsikirja 2016)

Vaihdelaatikon rakennekuvasta 5 nähdään laakerit ja niiden numerointi sivusuunnasta kuvattuna. Vaihdelaatikon laakereiden tiedot löytyvät vara- ja kulutusosaluettelosta liitteistä 1 ja 2.



Kuva 5. Vaihdelaatikon rakennekuva 2 (Käsikirja 2016)

### 4.3 Sekoitin

Sekoitin koostuu akselistä ja kahdeksasta lavasta. Akseli välittää vaihdelaatikolta tulevan voiman ja pyörivän liikkeen kahdeksalle lavalle, minkä seurauksena syntyy värähtelyä akselin laakereista ja lavoista.

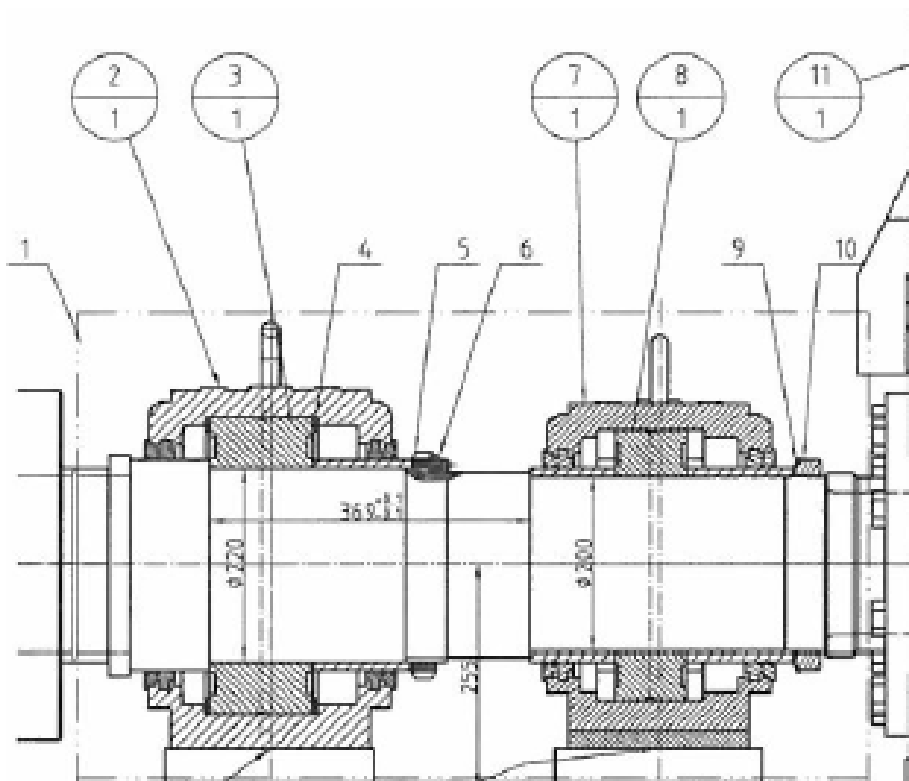
Sekoittimen värähtelymittauksia varten tarvittavat suureet:

- akselin pyörimistaajuus Hz
- akselin pyörimisnopeus RPM
- akselin laakeritiedot.

Sekoittimen akselin pyörimistaajuus ja pyörimisnopeus saadaan samalla tavalla kuin sähköpäämoottorin tapauksessa.



Sekoittimen akselin rakennekuva 6 näyttää laakereiden merkinnät 3/1 ja 8/1, joiden avulla voidaan etsiä osaluettelosta oikeat laakerit.



Kuva 6. Sekoittimen akselin rakennekuva (Käsikirja 2016)

Akselin osien osaluettelosta nähdään laakereiden tyyppimerkinnät (taulukko 2).

Taulukko 2. Sekoittimen akselin osaluettelo (Käsikirja 2016)

Pos.	Menge	Benennung	Werkstoff	Sach.-Nr.	Bemerkung
		Abmessungen	DIN.-Nr.	Zchg.-Nr.	Bemerkung
2 E	1	Stehlagergehäuse SNL 3044 G TS52	Labyrinth- dichtung		Fa.SKF RAL.5002
		Bearing housing			
3 E	1	Pendelrollenlager 24044 CC/W33			
		Bearing			
7 E	1	Stehlagergehäuse SNL 3040 G TS48	Labyrinth- dichtung		Fa.SKF RAL.5002
		Bearing housing			
8 E	1	Pendelrollenlager 23040 CC/W33			
		Bearing			
11 E	1	Kegelstirnradgetriebe X3TAI90/HU/T			SEW RAL.5002 mit Kupplung
		Gear box			

#### 4.4 Murskaimet

Murskaimet sijaitsevat rummun kyljessä ja niiden tehtävänä on hajottaa paakkuuntuvaa suklaamassaa. Murskaimilla on jokaisella oma sähkömoottorinsa.

Suklaamassakeittimen koneikon rakennekuvasta 7 nähdään, kuinka murskaimet on sijoitettu koneikkoon. (Vain työn tilaajan käyttöön)

Kuva 7. Suklaamassakeittimen koneikko ylhäältä (Käsikirja 2016)

Murskainten sähkömoottoreiden värähtelymittauksia varten tarvittavat suureet:

- moottorin pyörimistaajuus Hz
- moottorin pyörimisnopeus RPM
- moottorin laakeritiedot.

Moottorin pyörimistaajuus, moottorin pyörimisnopeus ja moottorin laakeritiedot saadaan samalla tavalla kuin sähköpäämoottorin tapauksessa.

## 5 Värähtelymittauslaitteisto

Suklaamassakeittimen värähtelymittausten tekemiseen käytettiin tietokonetta, johon oli asennettu värähtelymittausanalysointin kanssa toimiva tietokoneohjelma, jolla laadittiin värähtelymittausohjelma. Värähtelymittauksiin käytettiin myös kannettavaa Emerson CSI 2140-merkkistä värähtelymittausanalysointia, jota kutsutaan puhekielessä myös keräilijäksi.

Värähtelymittausanalysointiin on kytketty magneettisella kärjellä varustettu pietsosähköön perustuva kiihtyvyyssanturi (kuva 8).



Kuva 8. Värähtelymittausanalysointia

Magneettisella kärjellä varustettu anturi on nopea asettaa mittauspisteeseen ja myös irrottaa siitä, näin ollen se nopeuttaa reittimittausten tekemistä. (Mikkonen 2009: 246.)

Kiihtyvyyssanturin mallimerkintä on A0760GP, ja tällä anturilla pystyttiin suorittamaan värähtelyreittimittaukset, koska sen toimintataajuusalue on 0.5 - 10 000 Hz, ja näin ollen sillä pystyttiin mittaamaan suklaamassakeittimen matalataajuiset ja korkeataajuiset värähtelyt. Anturin tekniset tiedot löytyvät kuvasta 9.

Specifications	
Sensitivity ( $\pm 5\%$ )	100 mV/g (10.2 mV/m/s <sup>2</sup> )
Measurement Range	$\pm 50$ g ( $\pm 490$ m/s <sup>2</sup> )
Frequency Range ( $\pm 3$ dB)	0.5 to 10,000 Hz (30 to 600,000 cpm)
Transverse Sensitivity	$\leq 7\%$
Excitation Voltage/Current	18 to 28 VDC
Weight	51 grams (1.8 oz)
Operating Temperature	-54 to 121°C (-65 to 250°F)
Shock Limit	5,000g pk (49,050 m/s <sup>2</sup> )

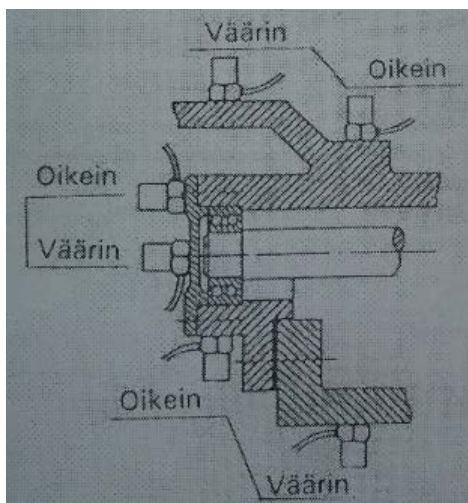
Kuva 9. Kiihtyvyyssanturin tekniset tiedot (Premium General Purpose 2017)

## 6 Värähtelymittauksen suorittaminen

### 6.1 Reittimittauspisteiden määrittäminen

Reittimittauspisteet määritettiin standardin PSK 5702 mukaisesti. Mittauspisteet merkittiin suklaamassakeittimen koneikkoon pysyvillä merkinnöillä. Merkinnät ovat yksiselitteiset ja tunnistettavat, jolloin niitä voivat jatkossa tulkita myös muut värähtelymittaajat. Reittimittauspisteet merkittiin voimansiirron kulkusuunnassa käyttävän laitteen vapaasta päästä lähtien, edeten käytettävän laitteen vapaaseen päähän. Mittauspisteet nimettiin tarkoituksenmukaisiksi, siten että numero tarkoittaa mittauspisteen juoksevaa numeroa. R tarkoittaa radiaalia, eli säteensuuntaista mittausta. A tarkoittaa aksiaalia, eli akselin suuntaisesti tapahtuvaa mittausta. RP tarkoittaa radiaali Peak Vue-mittausta, jossa Peak Vue on värähtelymittausmenetelmä, jolla havaitaan hyvin varhaisessa vaiheessa koneessa tapahtuvia muutoksia, kuten hammasvaihteissa ja vierintälaakereissa. Erityisesti Peak Vue-mittausmenetelmä soveltuu hitaasti pyörivien laakereiden mittaamiseen. (Mikkonen 2009: 252.)

Reittimittauspisteitä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon anturin paikka mitattaessa, jotta mittaustulokset olisivat oikeanlaiset. Anturin paikan tulisi sijaita mahdollisimman lähellä tutkittavaa kohdetta, mutta kuitenkin oikealla tavalla sijoitettuna. Koneissa on paljon koneenosista johtuvia rajapintoja, jotka saattavat vääristää värähtelymittaustulosta, joten on tärkeää asettaa anturi oikealla tavalla mitattavaan kohteeseen. Kuvasta 10 nähdään oikein ja väärin asetetut anturit.



Kuva 10. Anturin paikat (PSK standardisointi 2009: 27)

Sähköpäämoottorin kuvasta 11 nähdään kuinka mittauspisteet 1R, 2R ja 2A on merkitty.



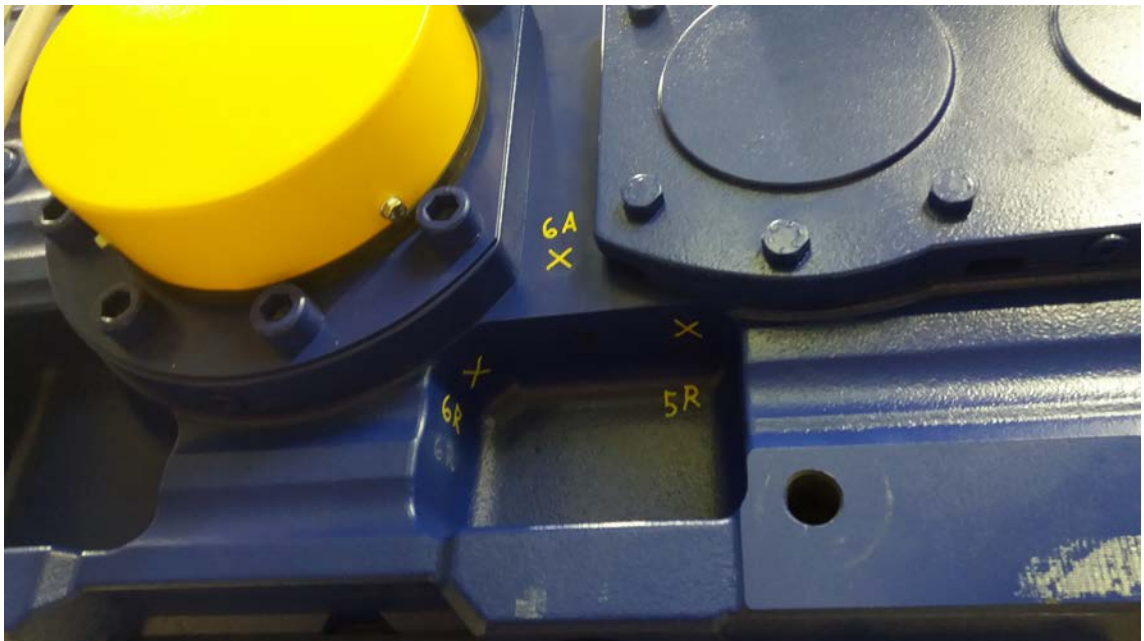
Kuva 11. Sähköpäämoottorin mittauspisteet.

Sivusuunnasta kuvatusta vaihdelaatikon kuvasta 12 nähdään mittauspisteiden 3R ja 4R merkinnät.



Kuva 12. Vaihdelaatikon mittauspisteet.

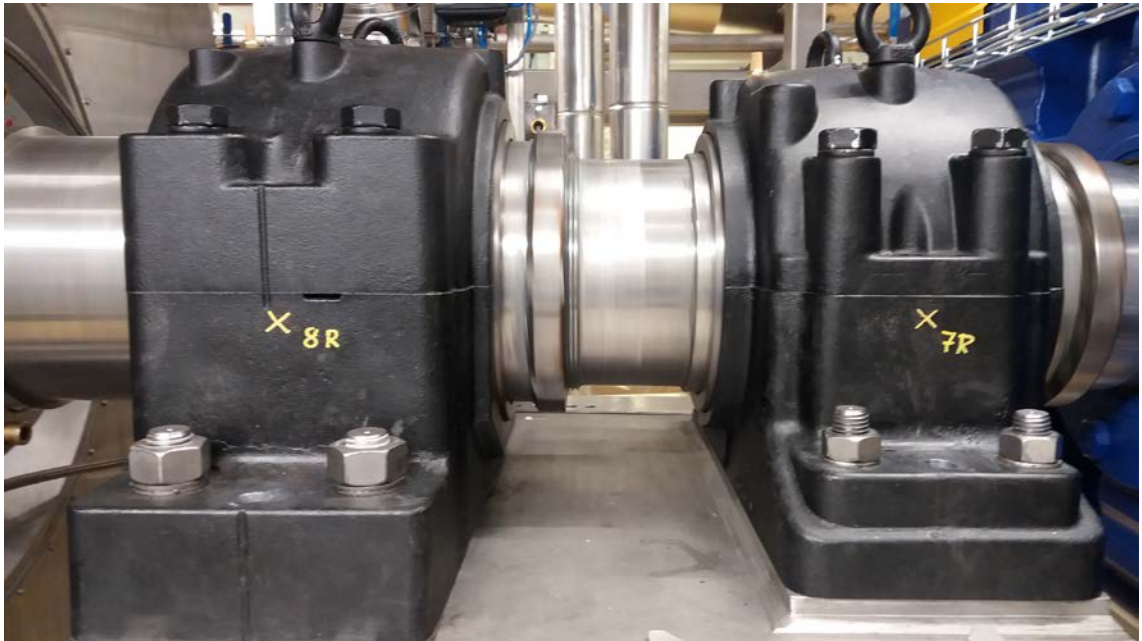
Alaviistosta kuvatussa vaihdelaatikon kuvasta 13 nähdään mittauspisteiden 5R, 6R ja 6A merkinnät.



Kuva 13. Vaihdelaatikon mittauspisteet.



Sivusuunnassa kuvatusa sekoittimen akselin kuvasta 14 nähdään mittauspisteiden 7R ja 8R merkinnät.

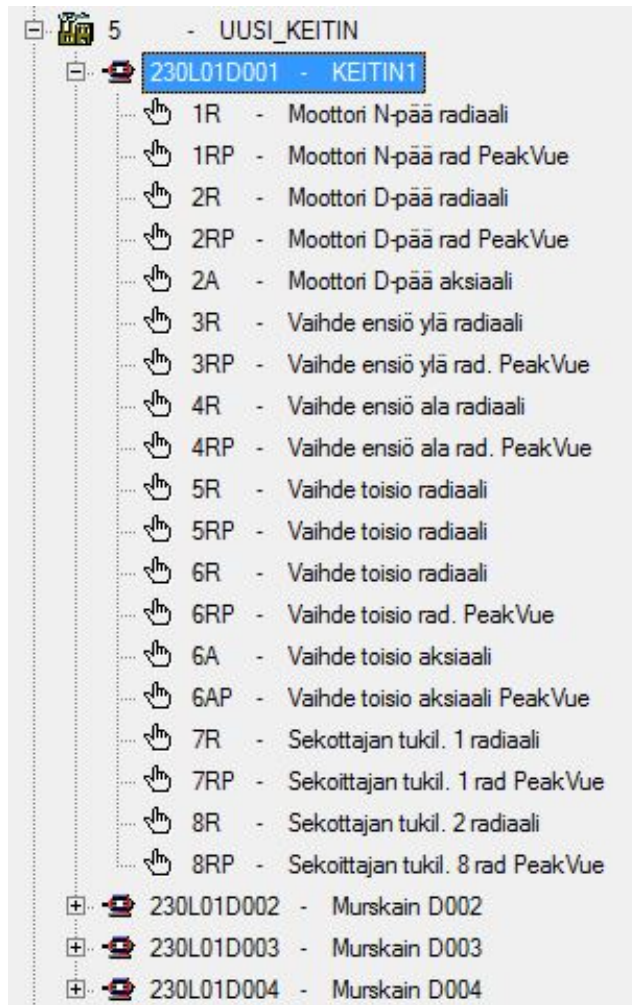


Kuva 14. Sekoittimen akselin mittauspisteet

## 6.2 Värähtelymittausohjelman luominen

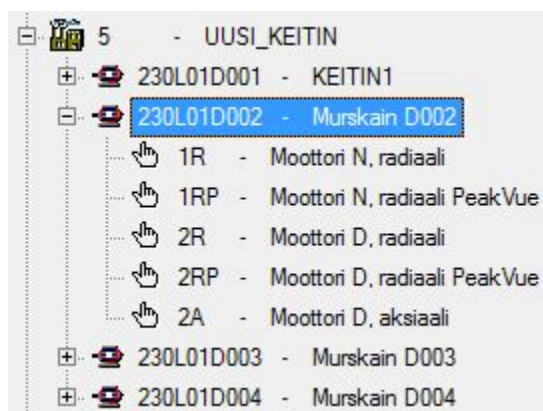
Värähtelymittausohjelma luotiin tietokoneella ja sen luomiseen käytettiin AMS Machinery Manager-tietokoneohjelmaa. Jokaisen mittauspisteen kohdalle syötettiin tietokoneohjelmaan akseleiden pyörimisnopeudet ja laakeritiedot sekä määritettiin halutut rajat, joilla mittaukset suoritettiin, kuten hälytys- ja vauriorajat ja taajuudet.

Tietokoneohjelma luo tietokantapuun, josta nähdään mittauspisteiden merkinnät ja paikat, joista mittaukset otetaan. Tietokanta nimettiin UUSI\_KEITIN-nimiseksi ja kuvasta 15 nähdään sähköpäämoottorin, vaihteiston ja sekoittajan mittauspisteet.



Kuva 15. AMS Machinery Manager tietokantapuu 1

Kuvasta 16 nähdään Murskain D002:n mittauspisteet ja mittauspaikat. Murskainten D003 ja D004 mittauspisteet ja mittauspaikat on tehty samalla tavalla kuin D002:ssa.



Kuva 16. AMS Machinery Manager tietokantapuu 2

### 6.3 Reittimittaus

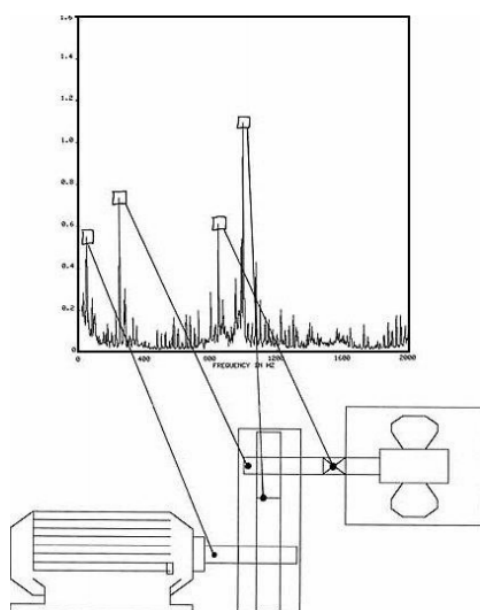
Reittimittaukset suoritettiin kannettavalla Emerson CSI 2140-merkkisellä värähtelymittausanalysointilaitteella, johon mittaustulokset aluksi tallennettiin. Reittimittausten jälkeen mittaustulokset siirrettiin tietokoneelle, jossa mittaustulokset analysoitiin AMS Machinery Manager-tietokoneohjelmalla.

### 6.4 Värähtelymittausten analysointi

Värähtelymittausten järjestyksellinen käsittely ja dokumentointi ovat tärkeä osa koneen kunnonvalvontaa, koska ilman niitä ei pystytä havaitsemaan vauriokehitystä, eikä myöskään vaurioitumisen ajankohtaa pystytä arvioimaan. (Lumme & Nohynek 2004: 19.)

Suklaamassakeitin on monimutkainen kone, koska siinä on useita eri laitteita ja näin ollen siitä syntyy eri osataajuuksia, värähtelytaajuuksia kuvaavan kuvan 17 mukaisesti. Näitä osataajuuksia ovat eri akselilta syntyvät pyörimistaajuuudet ja eri hammaspyöräpareilta syntyvät ryntötaajuuudet.

Analysoidessa värähtelymittausten tuloksia, niitä verrataan värähtelymittausstandardiin PSK 5704.



Kuva 17. Kuva erilaisista värähtelytaajuuksista (Lumme & Nohynek 2004: 19)

### Koneryhmät:

- Ryhmä 1:een kuuluvat suuret koneet, jotka ovat nimellisteholtaan suurempia kuin 300 kW ja sähkökoneet, jotka ovat akselikorkeudeltaan vähintään 315 mm.
- Ryhmä 2:een kuuluvat keskikokoiset koneet, jotka ovat nimellisteholtaan enintään 300 kW ja sähkökoneet, jotka ovat akselikorkeudeltaan välillä 160 mm ja 315 mm.
- Ryhmä 3:een kuuluvat pumput, puhaltimet ja kompressorit, jotka ovat nimellisteholtaan suurempia kuin 15 kW ja niillä on erillinen akseli moottorin kanssa.
- Ryhmä 4:een kuuluvat pumput, puhaltimet ja kompressorit, jotka ovat nimellisteholtaan suurempia kuin 15 kW ja niillä on yhteinen akseli moottorin kanssa.

Suklaamassakeitin kuuluu ryhmä 1:een, ja sen alusta on joustava.

### Tärinärasitusalueet:

- A alue on tärinärasitusalue, joka sallitaan koneen vastaanotossa.
- B alue on takuuajan jälkeen sallittu tärinärasitusalue.
- C alue on hälytysalue, jonka ylärajaa voidaan pitää alustavana vauriorajana.
- D alue on vaurioalue.

Tärinärasitusalueet eivät ole täysin tarkkoja arvoja, mutta suuntaa antavia kuitenkin, eikä niiden raja-arvojen ole tarkoitus toimia koneen vastaanoton hyväksymisrajoina. Raja-arvot tulisi aina sopia tilaajan koneen valmistajan kesken. (PSK standardisointi 2009: 46.)

Koneiden tärinärasitustaulukosta voidaan katsoa suuntaa antavasti, onko koneen rasitus järkevällä tasolla (kuva 18).

Tärinärasitus Vibration severity $V_{rms}$ (mm/s)	Koneryhmät 2 ja 4 Machine groups 2 and 4		Koneryhmät 1 ja 3 Machine groups 1 and 3	
	Jäykkä Rigid	Joustava Flexible	Jäykkä Rigid	Joustava Flexible
11				11,0 D
10		D	D	C
9				
8		7,1	7,1	7,1
7				
6				
5	D 4,5	C 4,5	C 4,5	B
4				3,5
3	C 2,8	B 2,3	B 2,3	
2	B 1,4			
1	A	A	A	A

Kuva 18. Tärinärasitustaulukko (PSK standardisointi 2009: 48)

#### 6.4.1 4.4.2017 tehtyjen mittausten analysointi

Liitteissä 3 - 36 on esitetty suklaamassakeittimen jokaisen mittauspisteen 4.4.2017 mitatut värähtelytulokset, joista nähdään akseleiden ryntö- ja pyörimistaajuuksilla olevat värähtelytasot. Värähtelytuloksissa nähdään myös koneen taustakohinasta johtuvia värähtelytasoja, joita syntyy normaalista koneen käymisestä, ja niiden värähtelytasot ovat hyvin pieniä. Ryntötaajuuudet näkyvät mittaustuloksissa taajuuksilla 372,3 Hz, 240,9 Hz ja 48 Hz. Pyörimistaajuuudet näkyvät mittaustuloksissa taajuuksilla 24,7 Hz, 10,9 Hz, 2,7 Hz ja 0.7 Hz.

Suklaamassakeittimen värähtelyanalyysissä oltiin kiinnostuneita RMS-tasosta, josta nähtiin värähtelymittausten keskiarvoistettu värähtelytaso. RMS-taso vaihteli 0,004 mm/s ja 0,7 mm/s välillä. Mittaustulokset olivat hyvin matalia, koska koneen kuormitus oli tällöin minimissään.

#### 6.4.2 7.4.2017 tehtyjen mittausten analysointi

7.4.2017 tehdyt värähtelymittaukset tehtiin koneen käydessä täydellä kuormituksella, jolloin värähtelytasot nousivat huomattavasti. Täydellä kuormituksella tarkoitetaan maksimi pyörimisnopeudella massan kanssa konetta ajettaessa. RMS-tasot nousivat jopa 9,8 mm/s, joka on tärinärasitustaulukon mukaan hälytysalueella. Hetkelliset värähtelyt nousivat, jopa yli 11 mm/s, joka on tärinärasitustaulukon mukaan jo vaurioalueella.

#### 6.4.3 26.4.2017 tehtyjen mittausten analysointi

26.4.2017 koneen kierrosnopeuksia laskettiin taajuusmuuttajalla 30 Hz:iin, ja näin ollen RMS värähtelytasot nousivat maksimissaan enää 2,09 mm/s, jolloin tärinärasitustaulukon mukaan värähtelytaso oli koneen vastaanotossa sallitulla alueella.

## 7 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää suklaamassakeittimen turvallinen käyttötaso koneen kierrosnopeuksia muuttamalla ja luoda värähtelymittausohjelma myöhempää koneen kunnonvalvontaa varten.

Mittaustuloksia analysoidessa tärkeimpänä asiana huomattiin värähtelytasojen koho-  
neen huomattavasti, kun konetta käytettiin ensimmäistä kertaa täydellä kuormalla ja suurimmalla kierrosnopeudella. Mittaustulokset johtivatkin siihen, että konetta ei voi turvallisesti käyttää niin suurella kuormituksella.

Suklaamassakeittimen värähtelymittauksia jatkettiin vielä 26.4.2017 jälkeenkin. Mittauksista saatiin tärkeää tietoa koneen turvallisesta käyttötasosta, ja lopputulokseksi löytyivät taajuusmuuttajalla sopivat kierrosnopeudet, jotka ovat 40 Hz ja 25 Hz.

Värähtelymittausohjelma suklaamassakeittimelle saatiin tehtyä ja ensimmäiset mittaus-  
tulokset taltioitua myöhempää kunnonvalvontaa varten.

## Lähteet

Karekallas P. 2017. Linjahoitaja. Fazer Makeiset Oy. Vantaa. Haastattelu. 5.5.2017.

Käsikirja. 2016. Fazer. Suklaamassakeittimen käsikirja.

Lumme V. & Nohynek P. 2004. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. Julkaisusarja n:o 11. Hamina: Kotkan kirjapaino Oy.

Mikkonen H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Käsikirja. Julkaisusarja n:o 13. Kerava: Savion Kirjapaino Oy.

Premium General Purpose. 2017. Verkkodokumentti. < <http://www.emerson.com/catalog/en-us/ams-a0760gp>>.2017. Luettu 9.5.2017.

PSK standardisointi. 2009. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. PSK-käsikirja. 13. painos.

Tietoa meistä. 2017. Fazer Oy. Verkkodokumentti. < <http://www.fazergroup.com/fi/tietoa-meista>>. Luettu 2.5.2017.



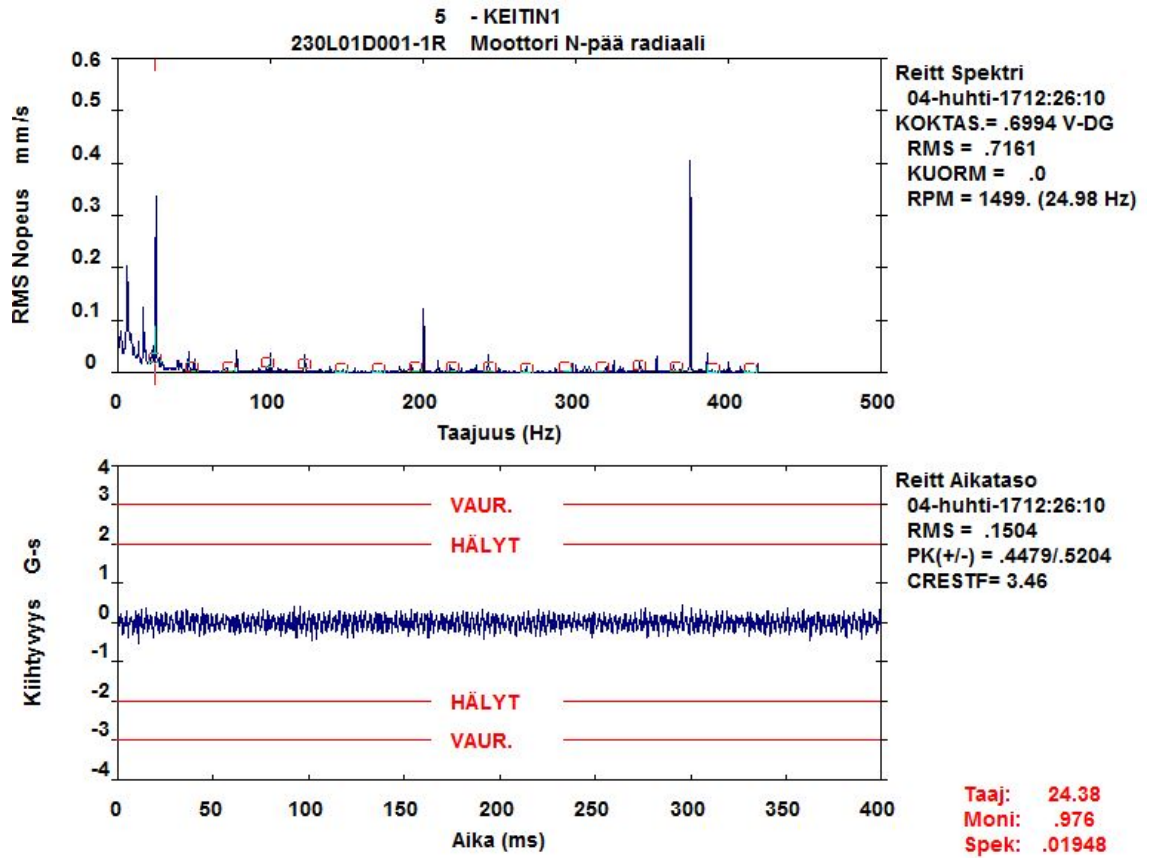
## Taulukko laakeritiedoista 1

Juoks. nro	Nimike	SEW-nimike	Tuotenro.	Kpl	Kulutusosa
0099	Vaihdekotelo		14551632	1	
0100	Holkkiakseli		14594676	1	
0102	Kuusikantaruuvi	ISO4017 M10x30-10.9-M3gy	13248847	6	
0103	Päätylevy		14597284	1	
0107	Tukilevy	W41.40 S250x280x3-FS	13253581	1	
0111	Säästölevy	W41.40 250x280x0.4-St	13249878	1	X
0118	Lieriönuljalaakeri	NCF2940V-C3#1	13251961	1	X
0123	Hela		14562359	1	
0127	Pyörä		14091100	1	
0128	Akselikilja	W4190 B50x28x123+QT+C	13244884	1	
0144	Lieriönuljalaakeri	NCF2940V-C3#1	13251961	1	X
0152	Säästölevy	W41.40 250x280x0.4-St	13249878	1	X
0155	Tukilevy	W41.40 S250x280x3-FS	13253581	1	
0200	Hammassakseli		20568835	1	
0207	Hela		14562472	1	
0211	Säästölevy	W41.40 185x215x0.4-St	08063524	1	X
0218	Karttulaakeri	32320	00121290	1	X
0223	Hela		14552477	1	
0227	Pyörä		14087669	1	
0228	Akselikilja	W4190 B32x18x52+QT+C	13247913	1	
0244	Karttulaakeri	32320	00121290	1	X
0250	Säästölevy	W41.40 185x215x0.1-St	00113360	1	X
0251	Säästölevy	W41.40 185x215x0.15-St	08063516	1	X
0252	Säästölevy	W41.40 185x215x0.4-St	08063524	1	X
0255	Hela		14562472	1	
0300	Hammassakseli		20574304	1	
0307	Hela		14552353	1	
0309	Säästölevy	W41.40 162x180x0.1-St	08063389	1	X
0310	Säästölevy	W41.40 162x180x0.15-St	08063397	1	X
0311	Säästölevy	W41.40 162x180x0.4-St	08063400	1	X
0318	Karttulaakeri	32317B	00121274	1	X
0323	Hela		14552442	1	
0327	Lautaspyörä		14083175	1	
0328	Akselikilja	DIN6885-1 B25x14x40+QT+C	13247859	1	
0331	Hela		14552957	1	
0344	Karttulaakeri	32317B	00121274	1	X
0350	Säästölevy	W41.40 162x180x0.1-St	08063389	1	X
0351	Säästölevy	W41.40 162x180x0.15-St	08063397	1	X
0352	Säästölevy	W41.40 162x180x0.4-St	08063400	1	X
0355	Hela		14552353	1	
0600	Kartiohammasp. käyttöakseli		14083167	1	
0601	Akselikilja	DIN6885-1 A20x12x125+C	00135313	1	
0609	Säästölevy	W41.40 150x170x0.1-St	00179167	1	X
0610	Säästölevy	W41.40 150x170x0.15-St	08063362	1	X
0611	Säästölevy	W41.40 150x170x0.4-St	08063370	1	X
0612	Uramutter		13238965	1	
0613	Hela		14551268	1	
0618	Karttulaakeri	31316	13251767	1	X
0619	Karttulaakeri	31316	13251767	1	X
0636	Hela		14551241	1	
0641	Säästölevy	W41.40 81x95x0.1-St	13260731	1	X
0642	Säästölevy	W41.40 81x95x0.15-St	13260758	1	X
0643	Säästölevy	W41.40 81x95x0.4-St	13260766	1	X

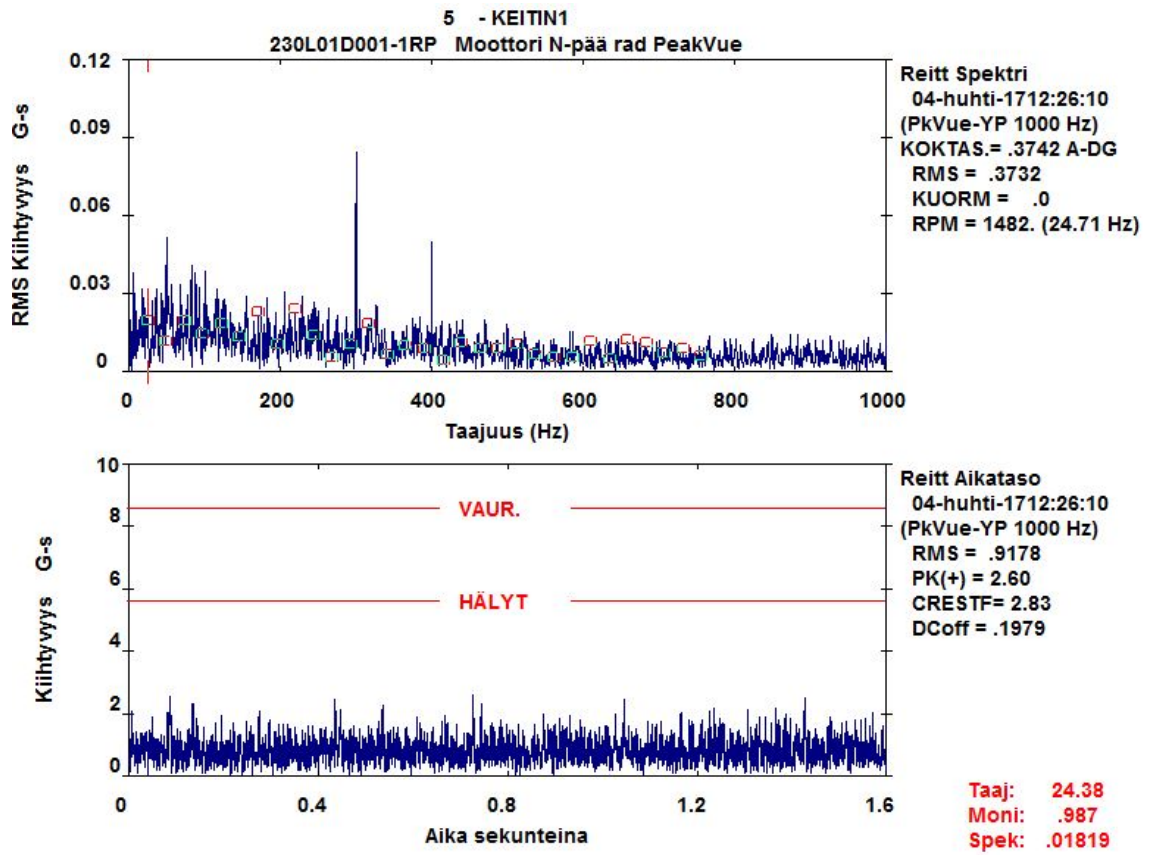
## Taulukko laakeritiedoista 2

Juoks. nro	Nimike	SEW-nimike	Tuotenro.	Kpl	Kulutusosa
0644	Palomainen rullalaakeri	22316-C3	13262270	1	X
0703/0070	Tiivistekanssi		18557007	1	
0703/0100	Akselitiiviste	W AS200x230x15-FKM	00176141	1	X
0704/0070	Tiivistekanssi		18557007	1	
0704/0100	Akselitiiviste	W AS200x230x15-FKM	00176141	1	X
0706	Akselitiiviste	W AS75x100x10-FKM	09444432	1	X
0707	Tarkistuskansi		14551837	1	
0708	Kuusiokantaruuvi	ISO4017 M12x60-8-8-A2F	13252747	18	
0712	Tarkistuskansi		14552078	1	
0713	Kuusiokantaruuvi	ISO4017 M20x35-8-8-A2F	13253980	8	
0738	kartiohammasakselin kotelo		14599708	1	
0739	Kuusiokantaruuvi	ISO4017 M20x65-8-8-A2F	13254820	8	
0741	Ruuvitulppa	W4085 B-G3/8A-St-VZ-NBR	13252879	2	
0745	Tiivistekanssi		18556264	1	
0746	Kuusiokantaruuvi	ISO4017 M12x35-8-8-A2F	00101230	8	
0748	Ruuvitulppa	DIN906 R1/4-St	08064482	2	
0757	Lieriökantaruuvi	ISO4762 M24x70-8-8-A2F	13254030	8	
0759	Ruuvitulppa	W4085 B-G3/8A-St-VZ-NBR	13252879	2	
0763	Kuusiokantaruuvi	ISO4017 M24x70-8-8-A2F	00108618	8	
0765	Ruuvitulppa	W4085 B-G3/8A-St-VZ-NBR	13252879	2	
0768	Suojakansi		18556892	1	
0769	Kuusiokantaruuvi	ISO4017 M16x50-8-8-A2F	00122637	12	
0771	Ruuvitulppa	W4085 B-G3/8A-St-VZ-NBR	13252879	2	
0774	Suojakansi		18556892	1	
0775	Kuusiokantaruuvi	ISO4017 M16x50-8-8-A2F	00122637	12	
0777	Ruuvitulppa	W4085 B-G3/8A-St-VZ-NBR	13252879	2	
0999	Ruuvitulppa	W4085 B-G1A-St-VZ-	08065209	15	
1000	Lititin	W4525 GE28LRFC	13253212	1	
1010/0005	Lititin	W4525 G1-54-V-St-VZ	19103174	1	
1010/0010	Lititin	W4525 GE28LRFCFX	13246666	1	
1010/0030	Lititin	W4525 EVGE28LREDCF	13246941	1	
1010/0040	Palloventtiili	W4526 1-DN25-PN32-CuZn-	13247042	1	
1010/0050	Ruuvitulppa	W4085 B-G1A-St-VZ-	08065209	1	
1012	Jäähdytyspatruuna		13250078	1	
1014/0010	Lititin	W4525 EVGE28LREDCF	13246941	1	
1014/0020	Lititin	W4525 EW28LOMDCF	13246836	1	
1014/0030	Lititin	W4525 GA28LROMDCF	13295187	1	
1014/0040	Ruuvitulppa	W4085 B-G1A-St-VZ-	08065209	1	
1015	Ruuvitulppa	W4085 B-G1-1/2A-St-VZ-	13239511	1	
1300	Tuuletin kotelot	XF180-190X3K180-190X4...	14553953	1	
1301	Tiiviste		16583833	1	
2000/0010	Paisuntasäiliö		18850502	1	
2000/0040	Levy	ISO7090 8-200HV-A2F	00129127	2	
2000/0050	Kuusiokantamutteri	W4109 M8-8-A-St-ADB3	00117781	2	
2000/0060	Kulma		14631172	1	
2000/0070	Kuusiokantaruuvi	ISO4014 M20x120-8-8-A2F	13253514	1	
2000/0080	Levy	ISO7090 20-200HV-A2F	00102423	1	
2000/0090	Kulma		14632543	1	
2000/0100	Kuusiokantaruuvi	ISO4017 M30x50-8-8-A2F	13272691	1	
2000/0110	Levy	ISO7090 30-200HV-A2F	00129151	1	
2000/0120	Keskityslevy		18851371	1	
2000/0130	Kuusiokantamutteri	ISO4032 M20-8-St-A2F	00102040	1	
2000/0150	Lititin	W4525 GE28LRFC	13253212	1	

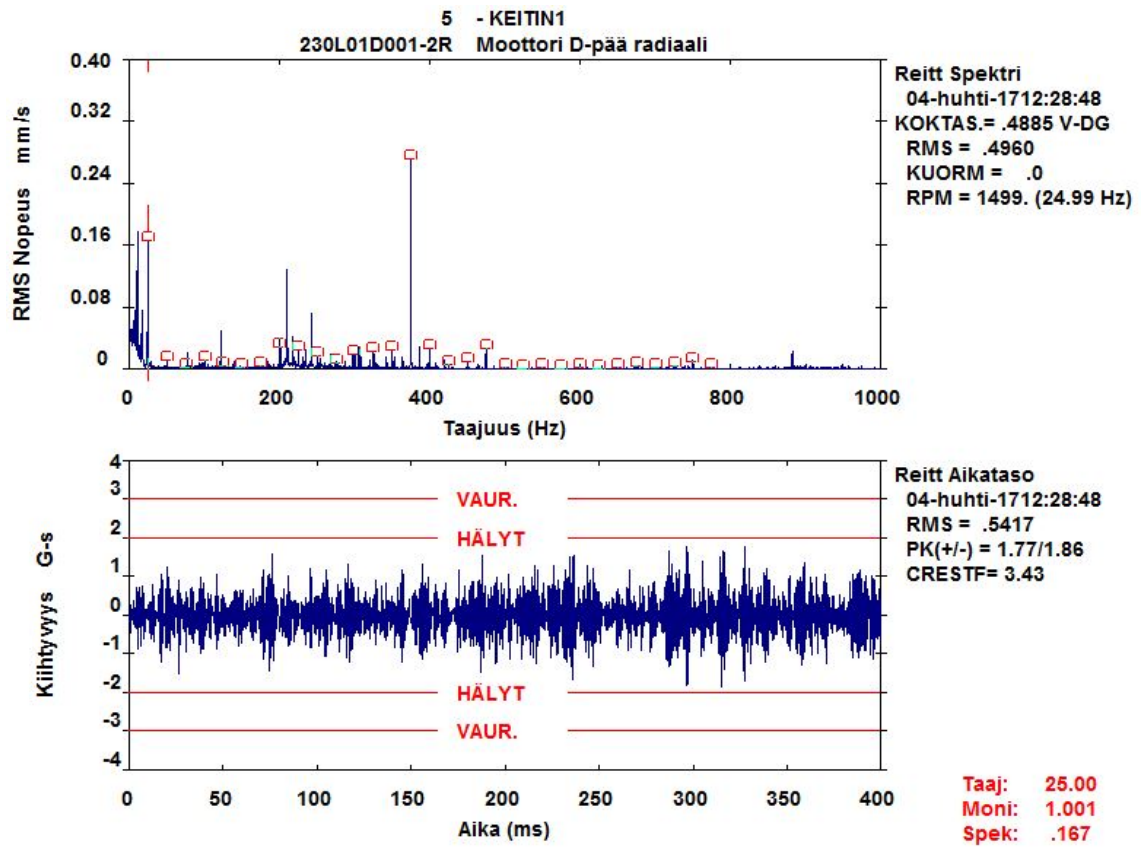
### Värähtelymittaustulokset 230L01D001-1R



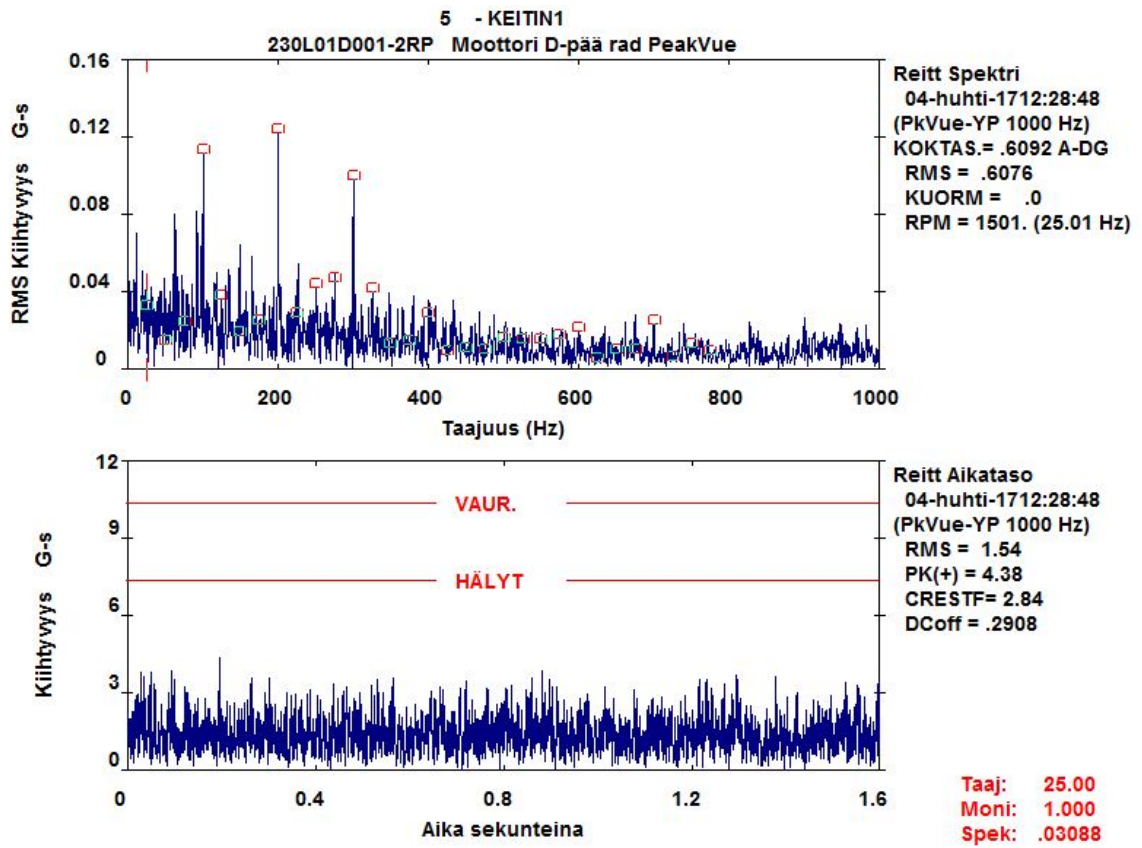
### Värähtelymittaustulokset 230L01D001-1RP



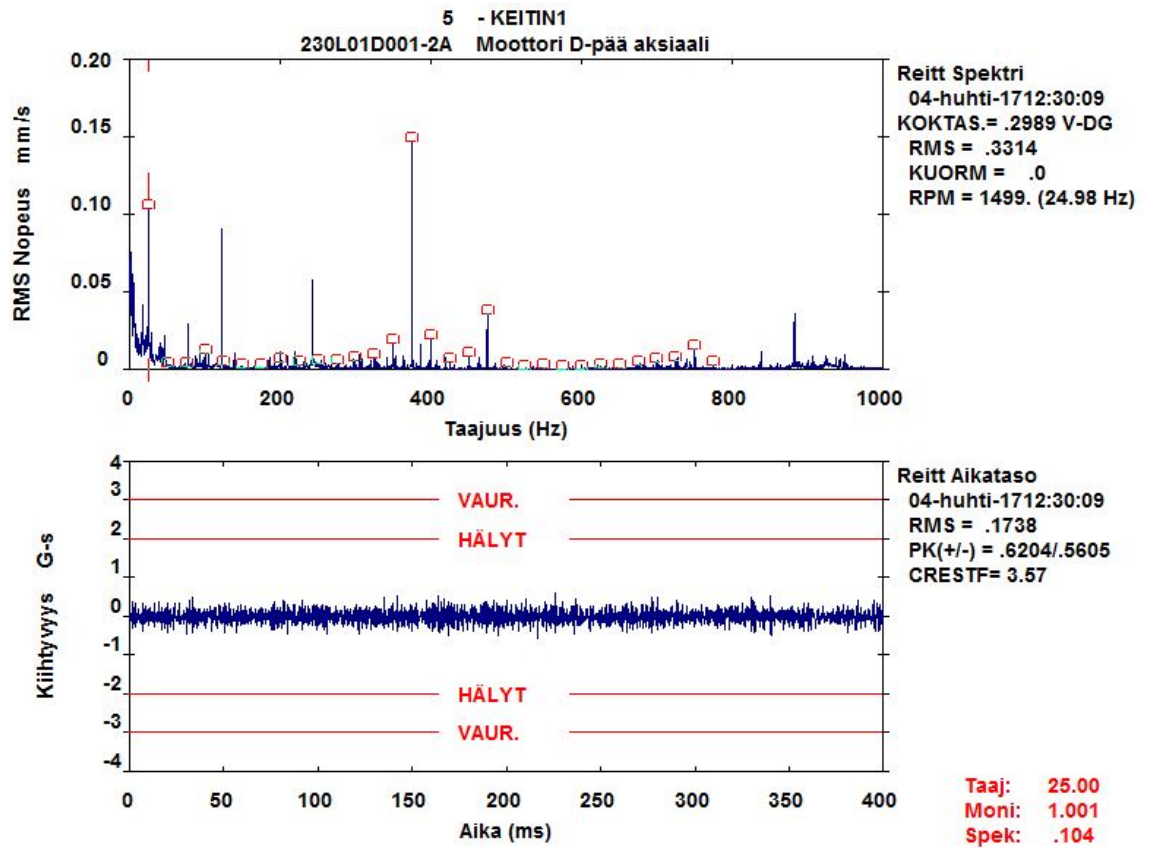
### Värähtelymittaukset 230L01D001-2R



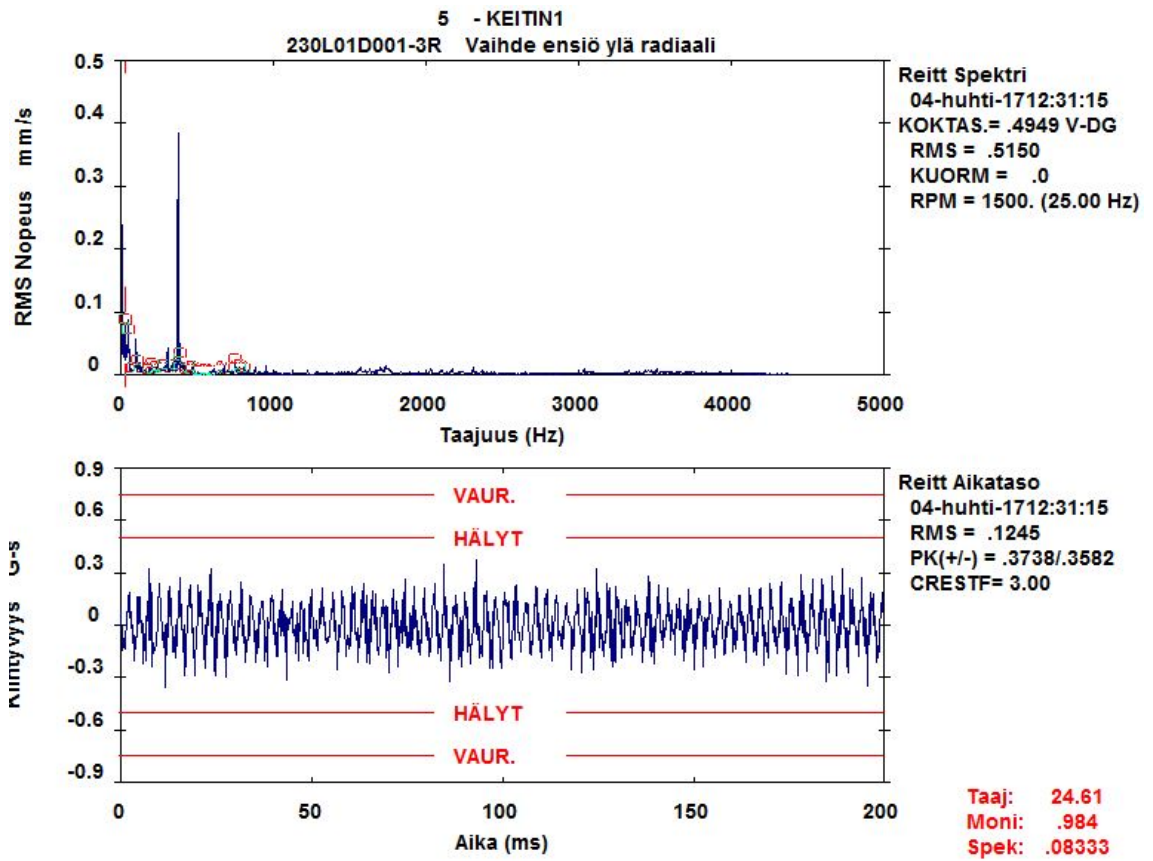
### Värähtelymittaukset 230L01D001-2RP



### Värähtelymittaustulokset 230L01D001-2A

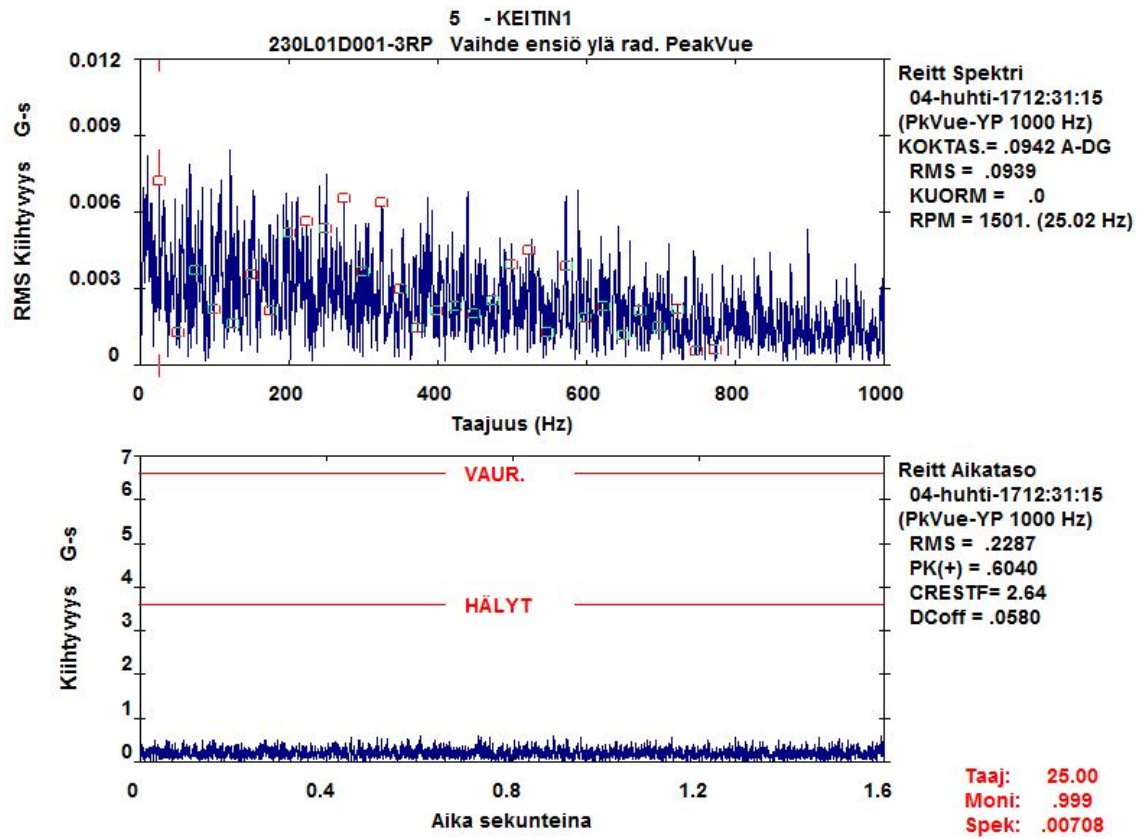


### Värähtelymittaustulokset 230L01D001-3R

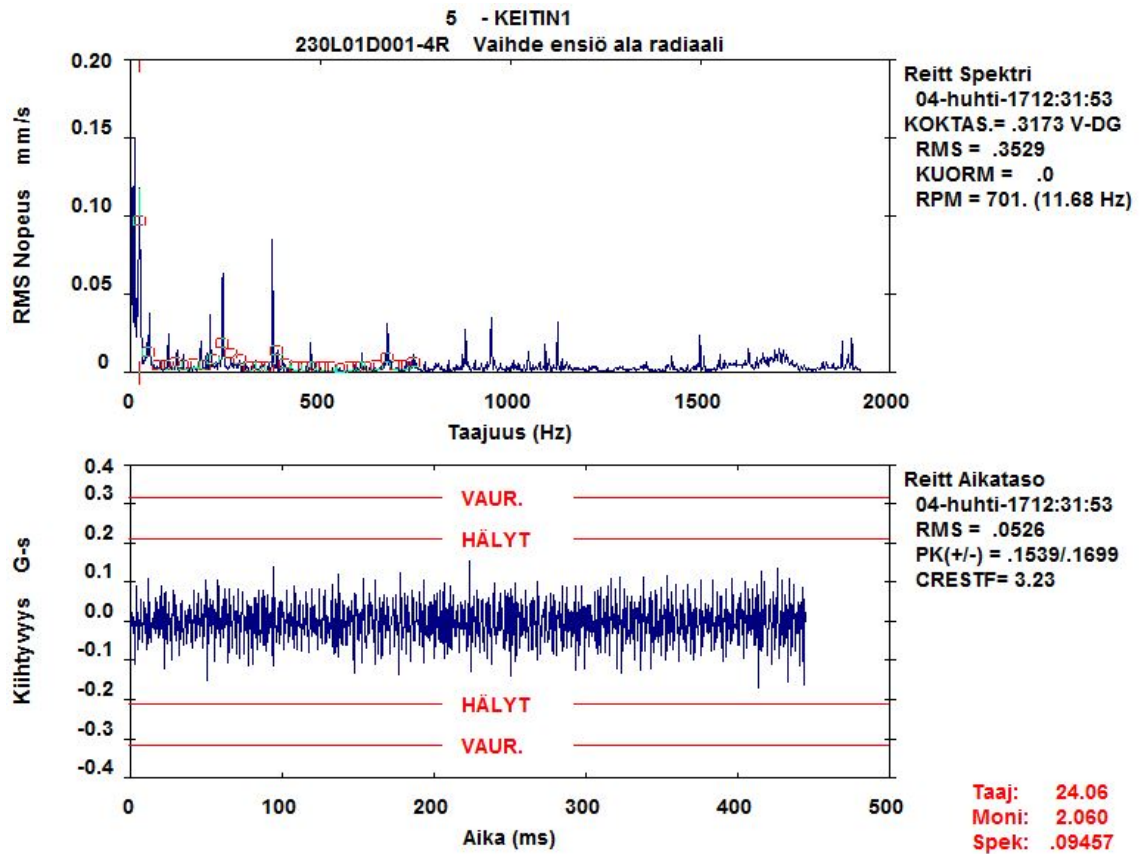




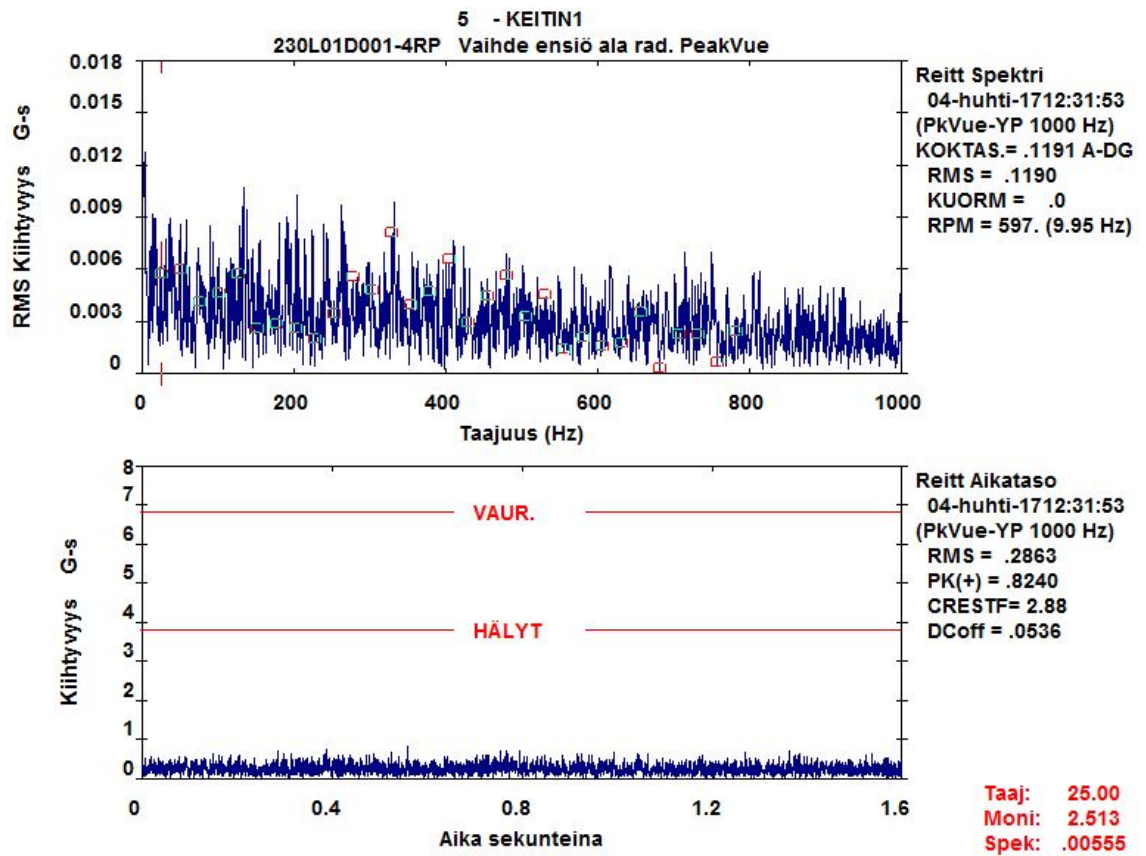
### Värähtelymittaustulokset 230L01D001-3RP



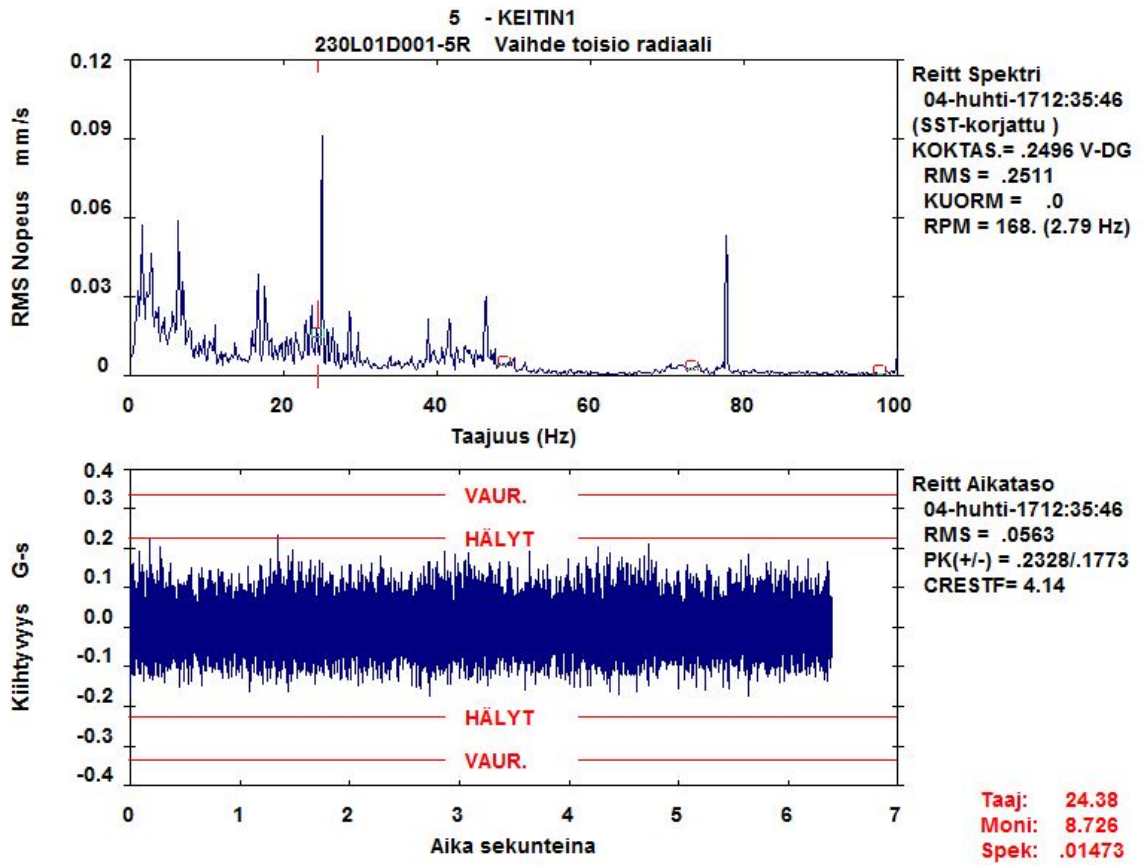
## Värähtelymittaustulokset 230L01D001-4R



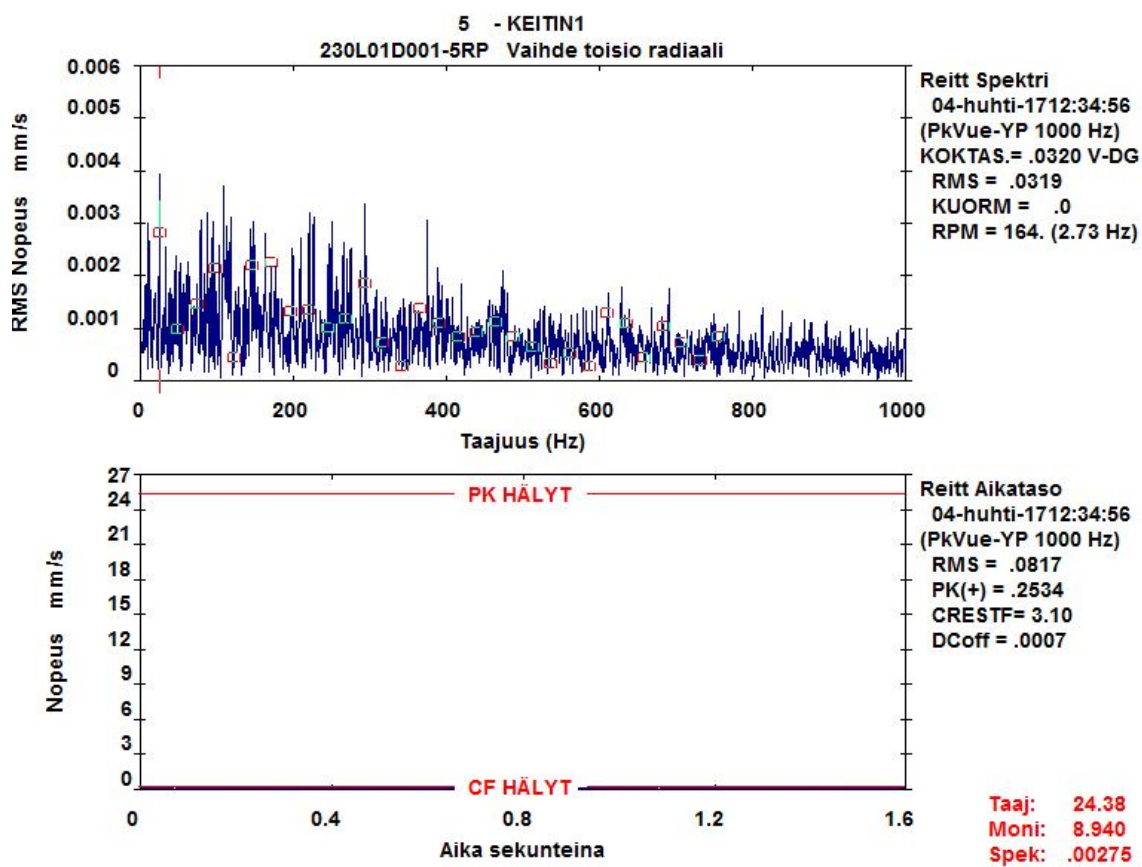
## Värähtelymittaustulokset 230L01D001-4RP



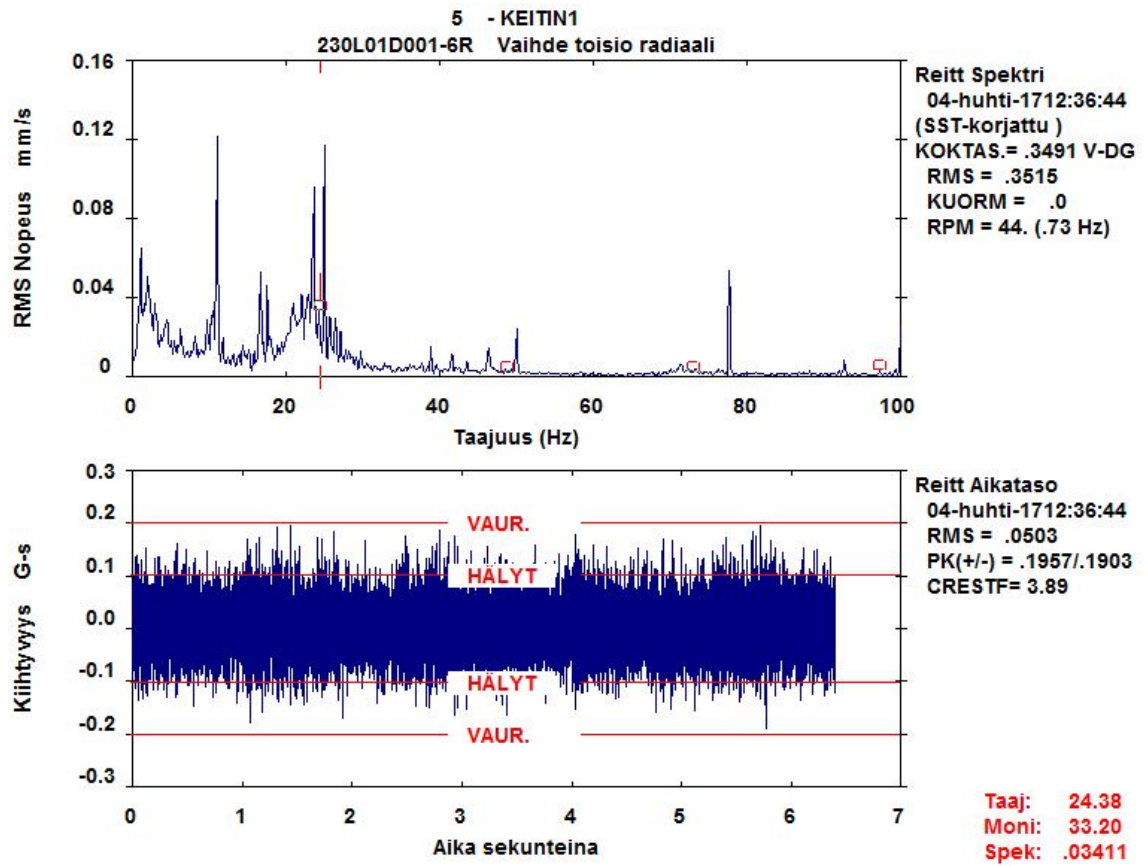
## Värähtelymittaustulokset 230L01D001-5R



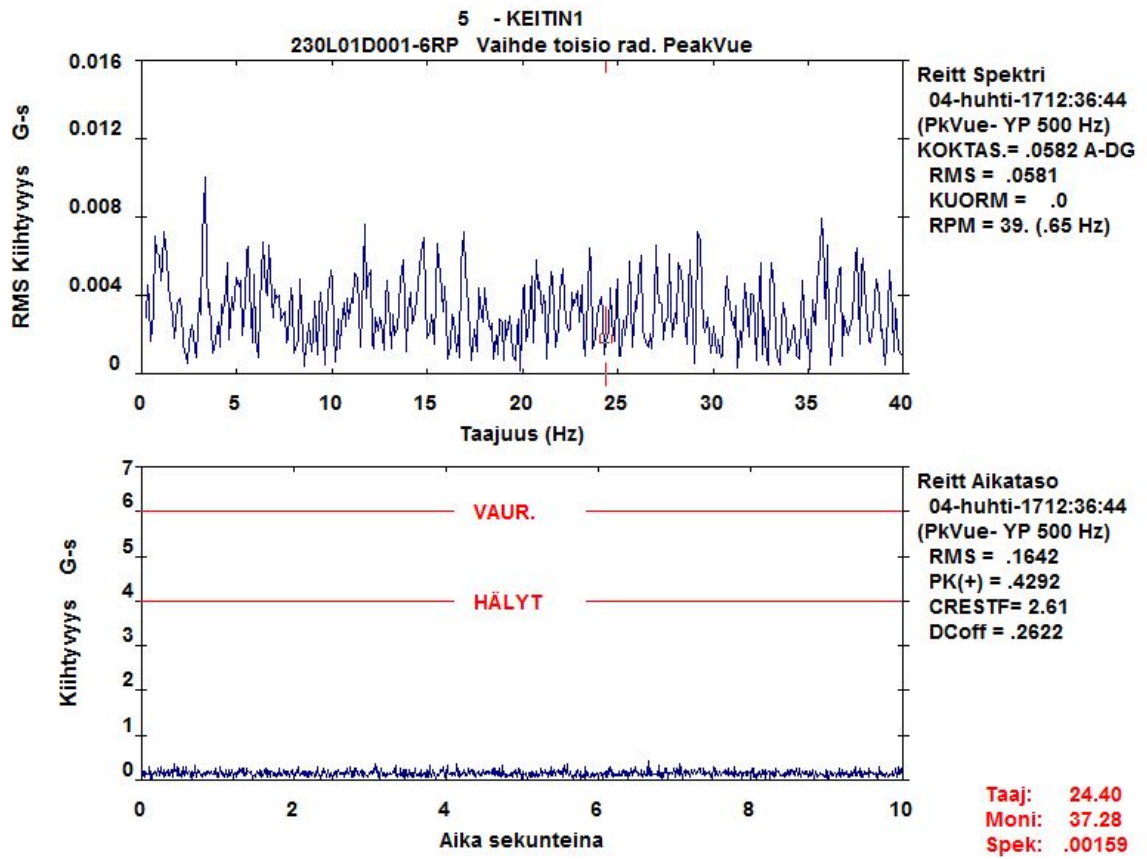
## Värähtelymittaustulokset 230L01D001-5RP



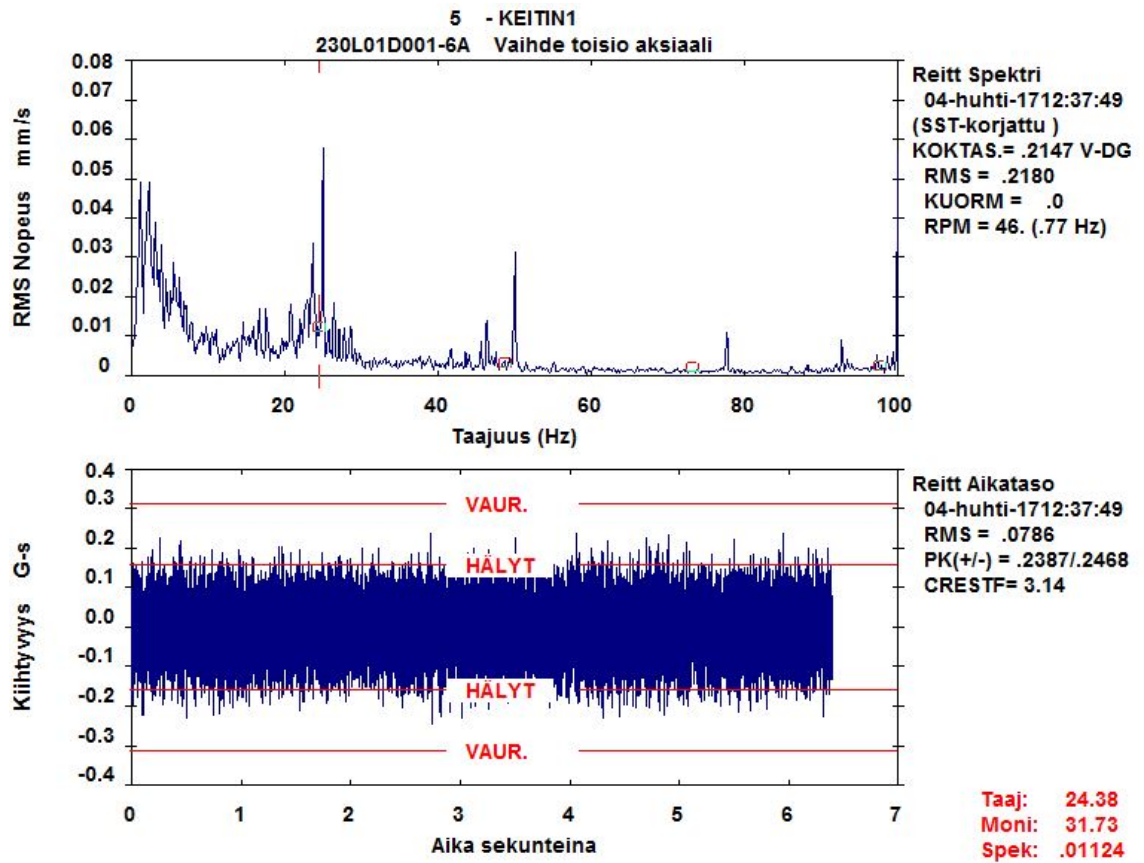
## Värähtelymittaustulokset 230L01D001-6R



## Värähtelymittaustulokset 230L01D001-6RP

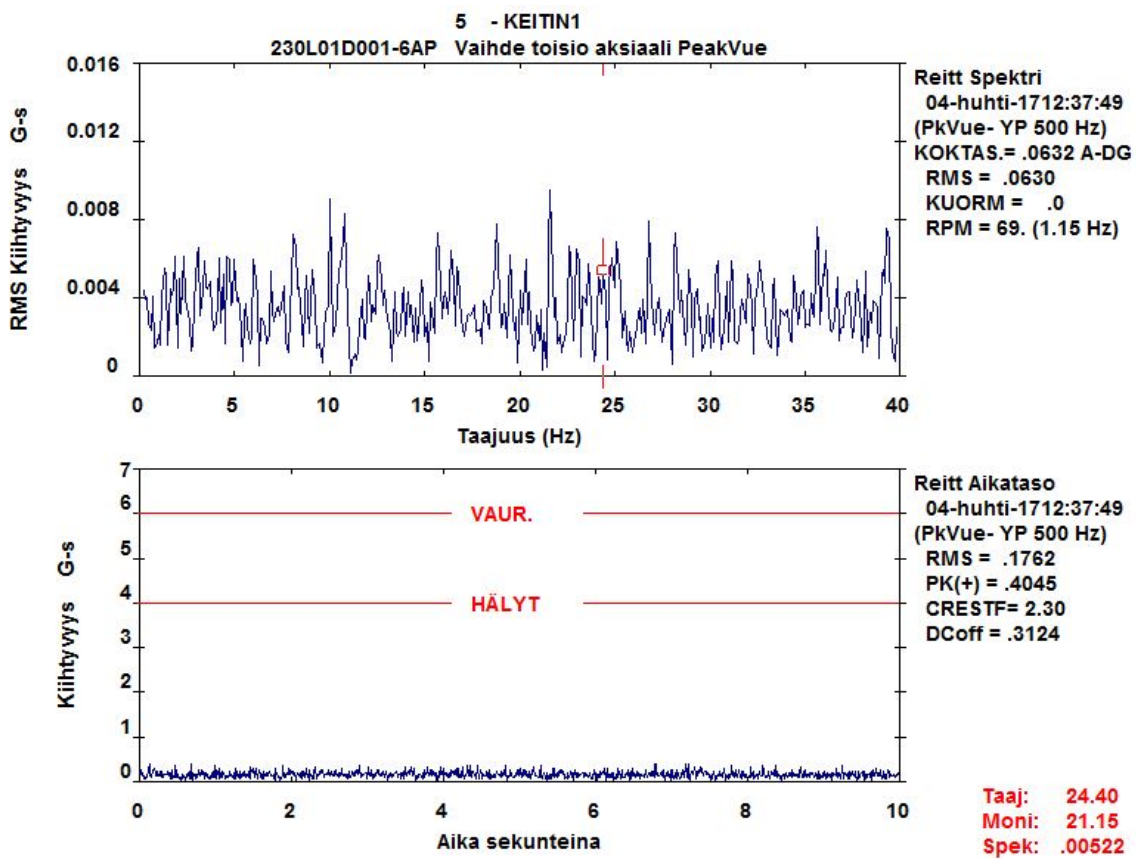


## Värähtelymittaukset 230L01D001-6A

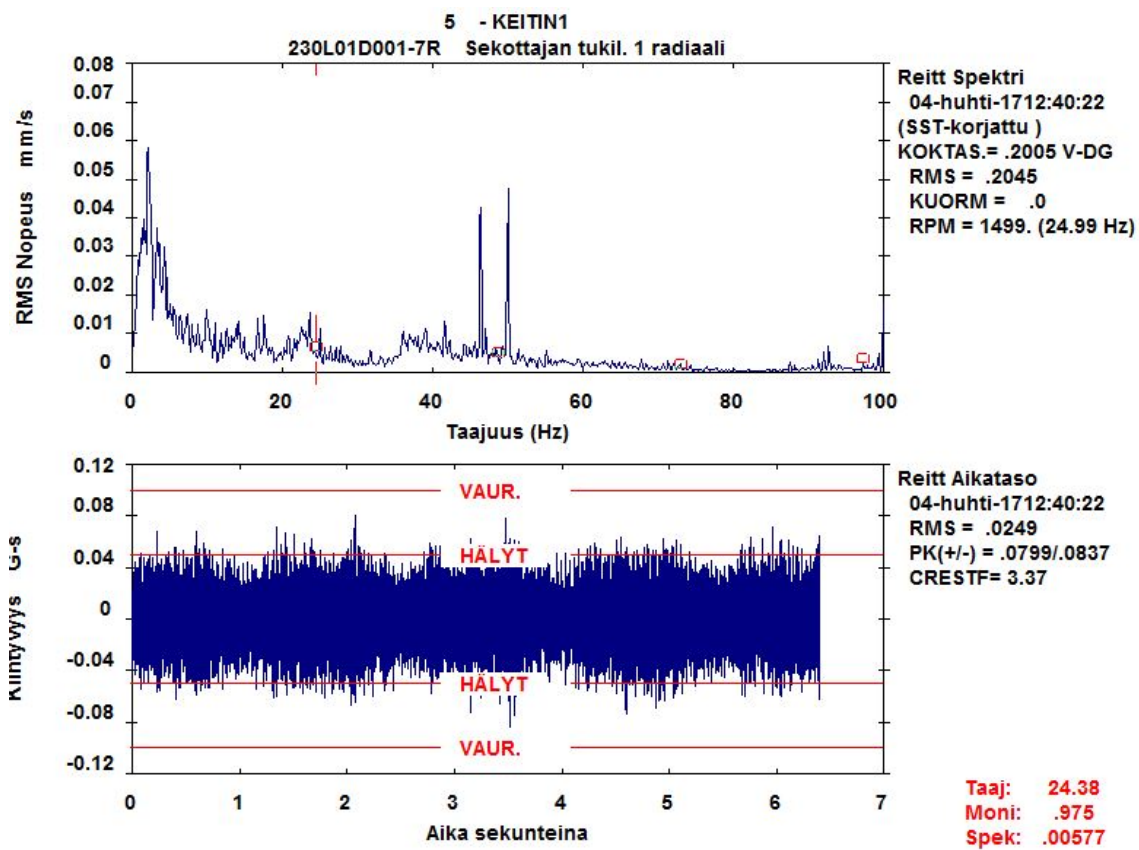




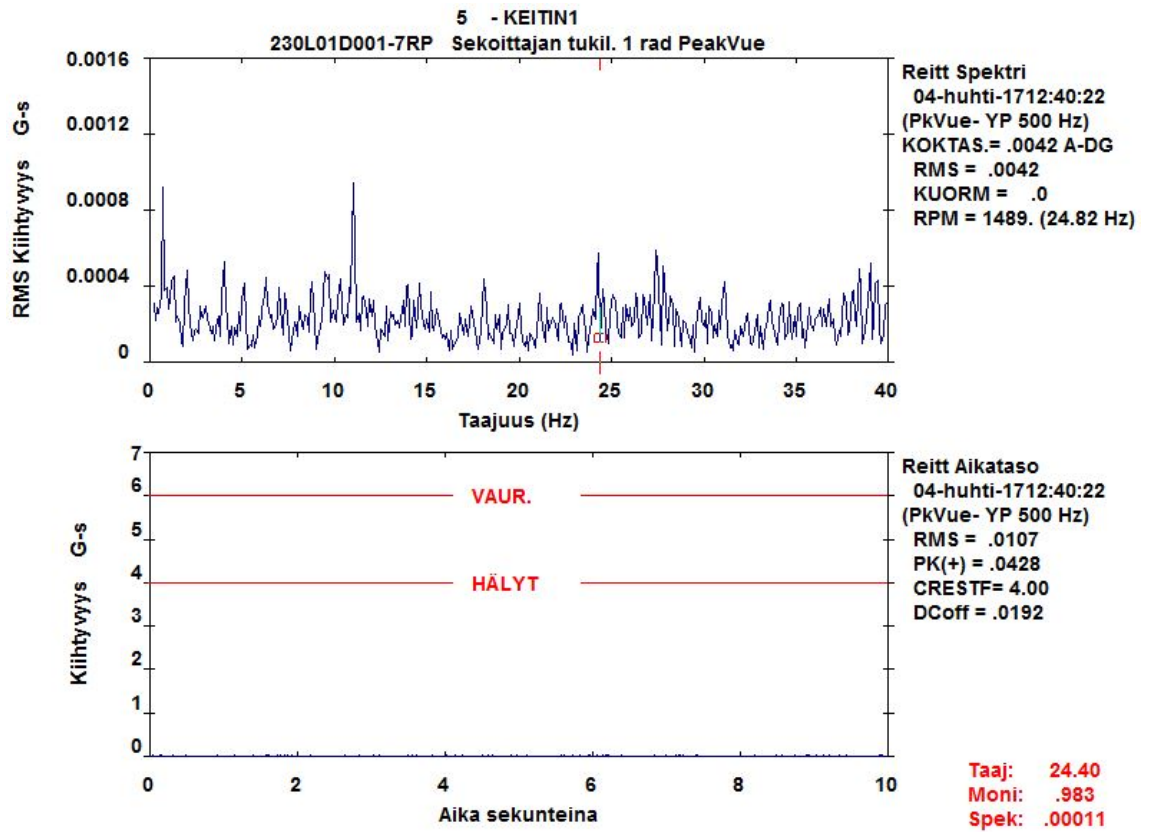
## Värähtelymittaustulokset 230L01D001-6AP



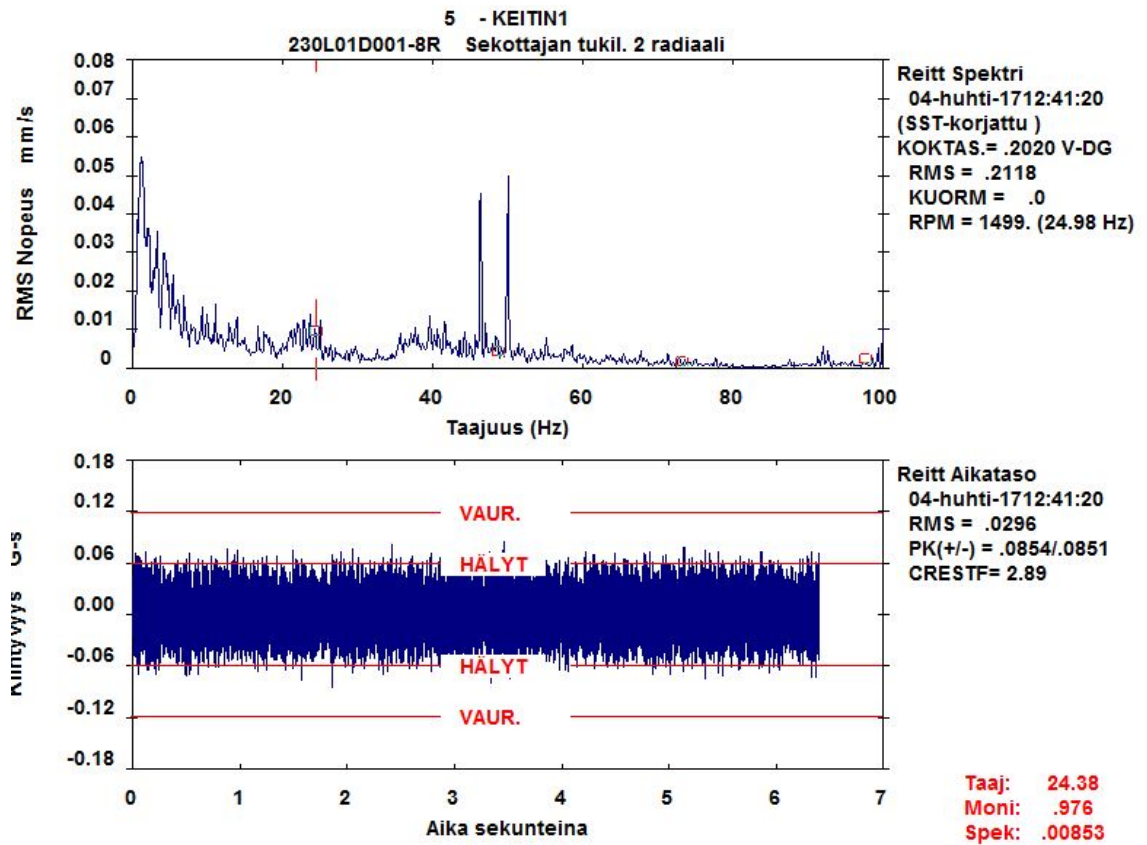
## Värähtelymittaustulokset 230L01D001-7R



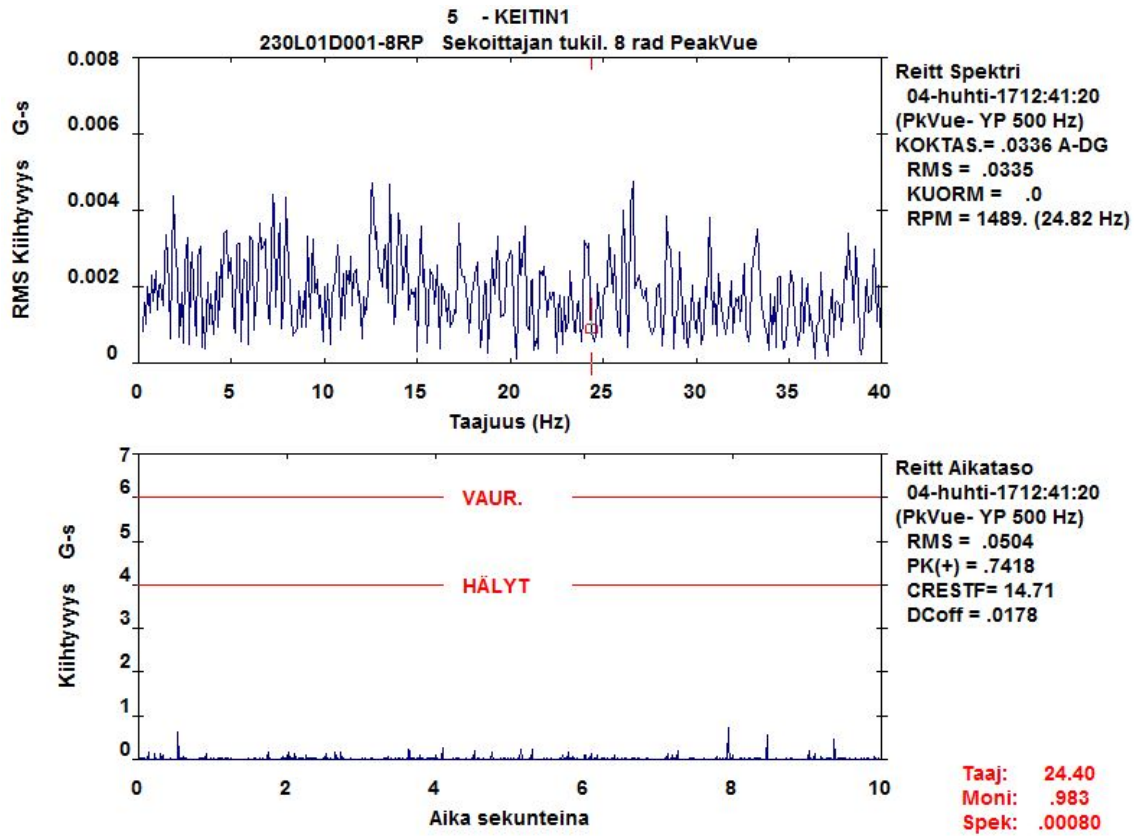
## Värähtelymittaustulokset 230L01D001-7RP



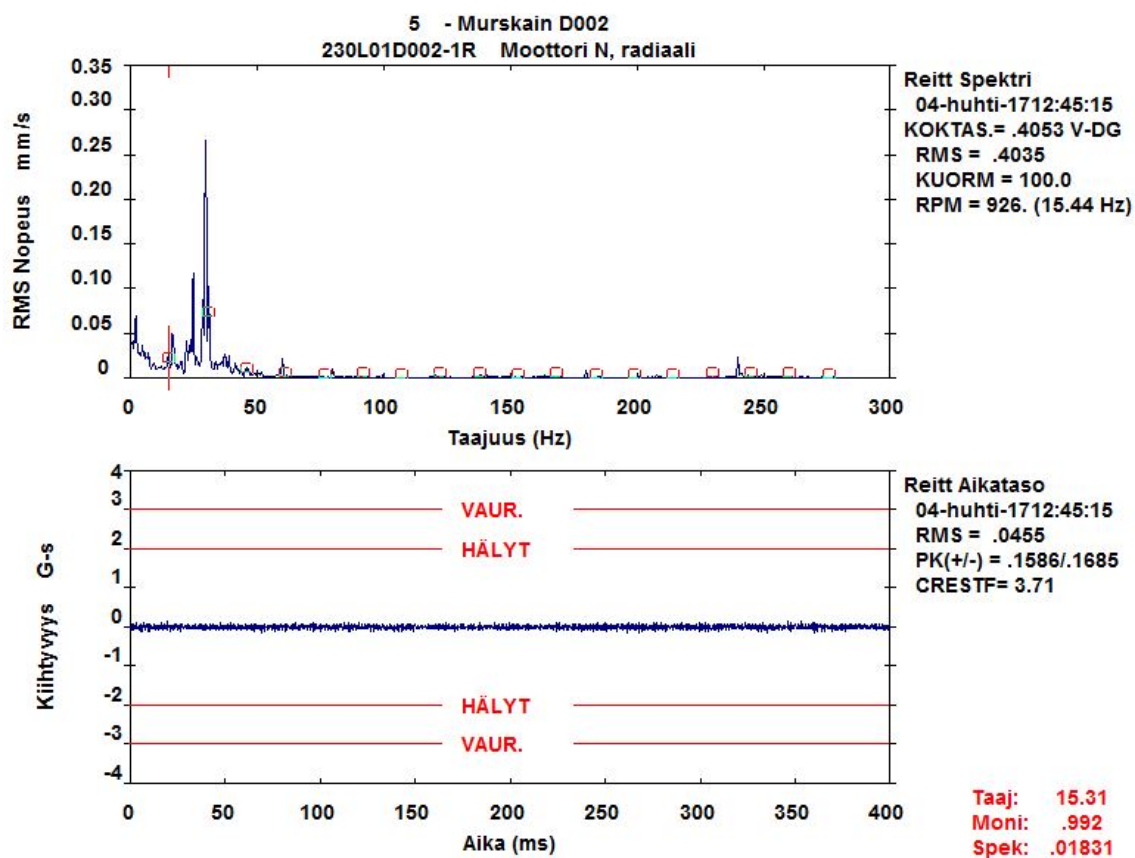
## Värähtelymittaustulokset 230L01D001-8R



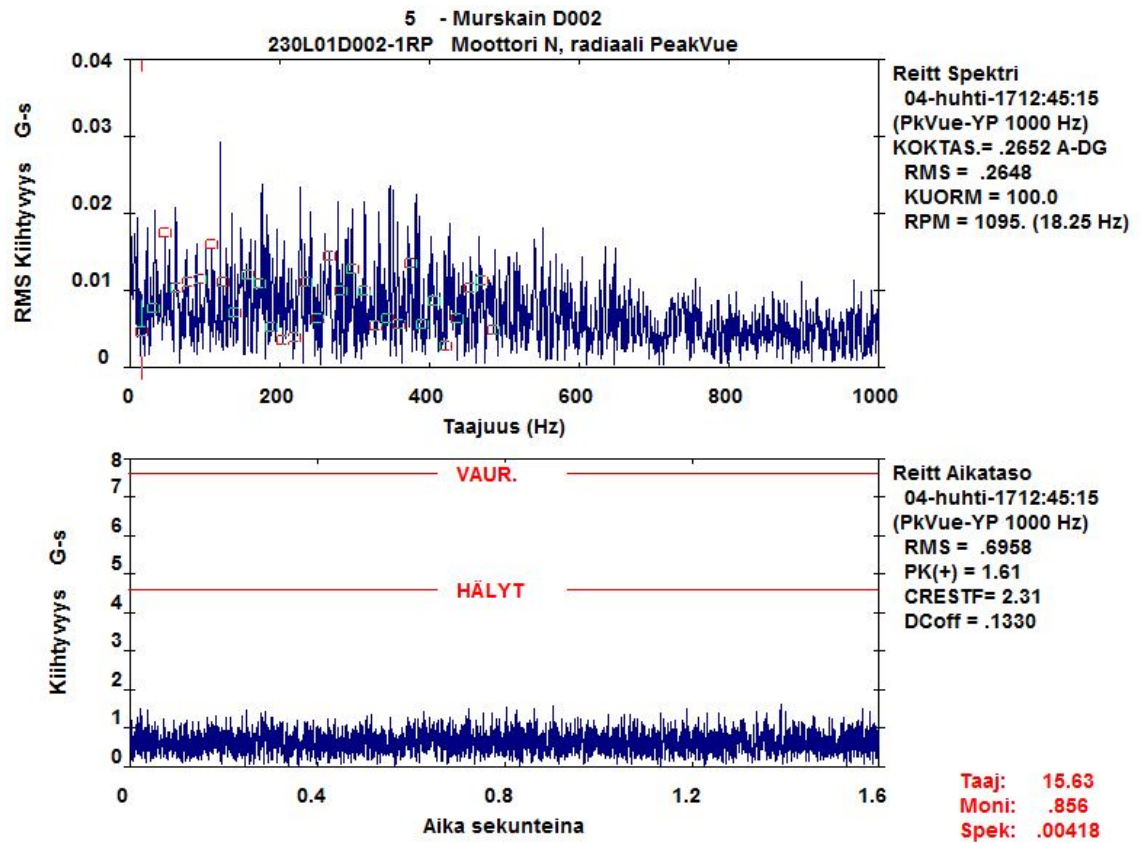
## Värähtelymittaukset 230L01D001-8RP



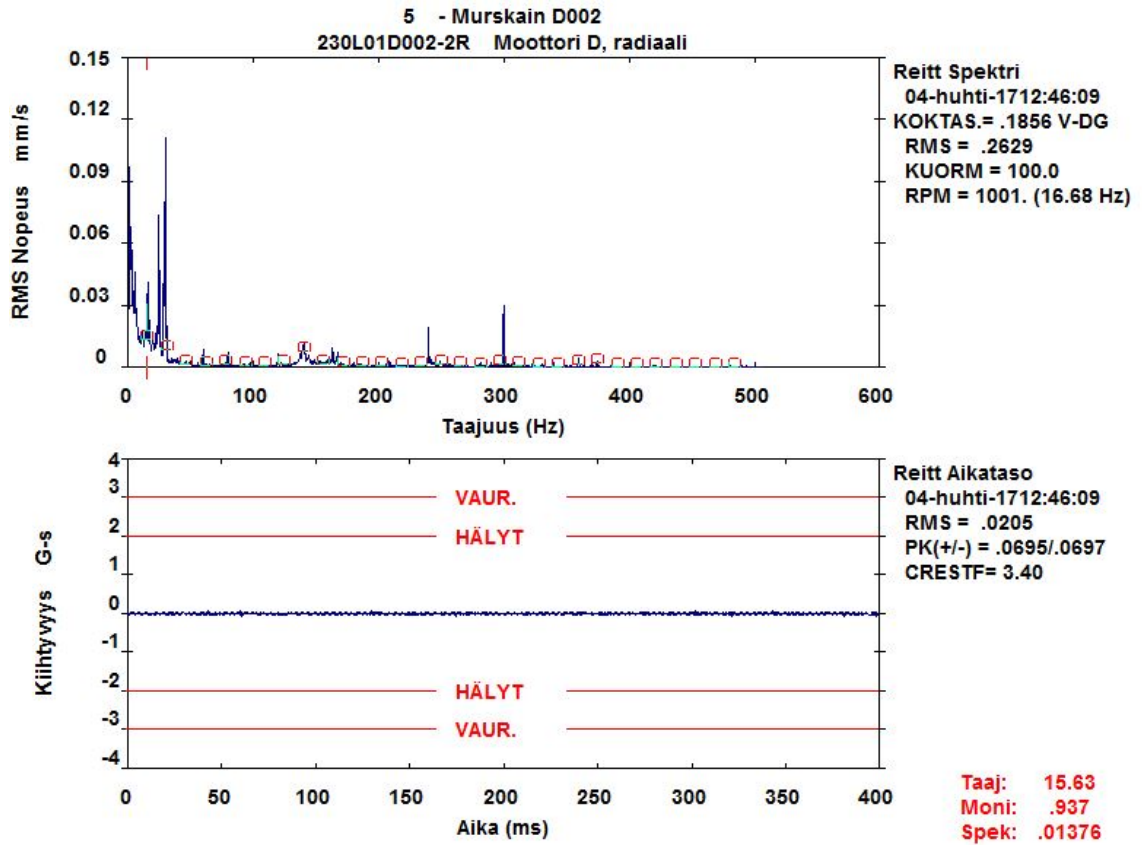
## Värähtelymittaustulokset 230L01D002-1R



## Värähtelymittaukset 230L01D002-1RP

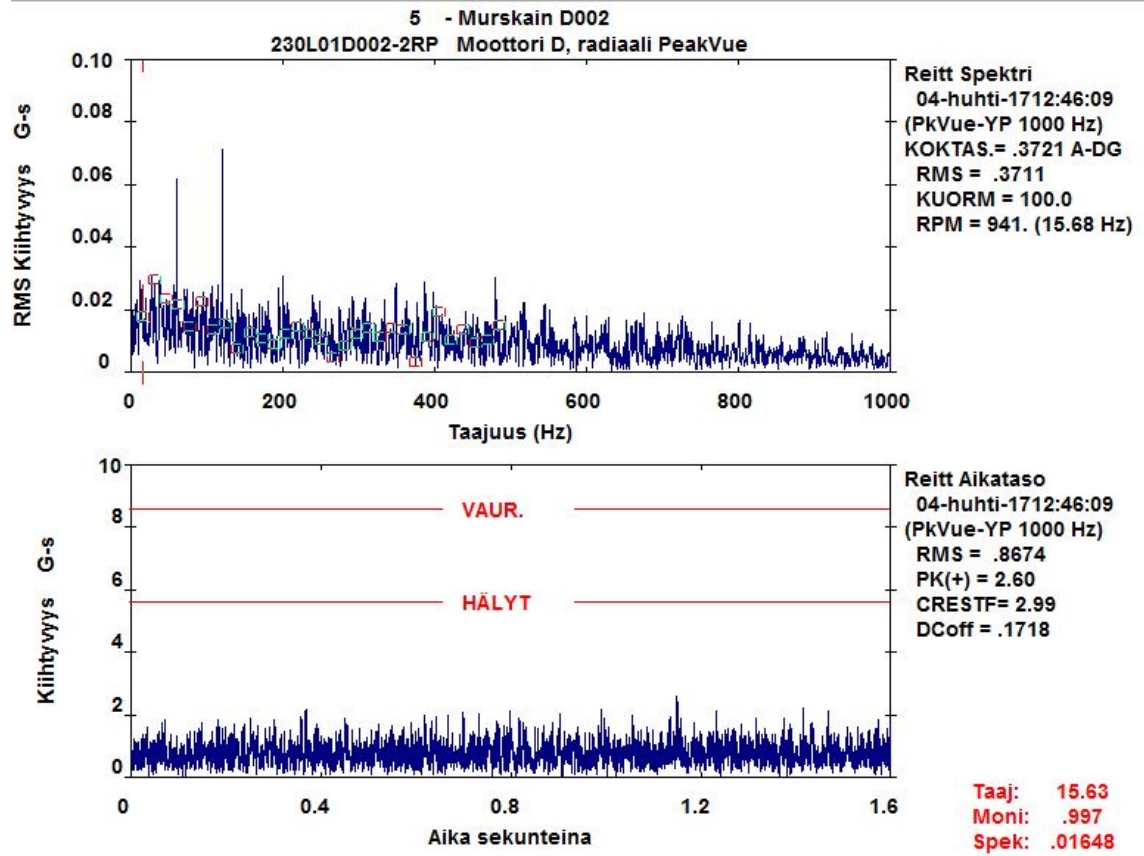


## Värähtelymittaukset 230L01D002-2R

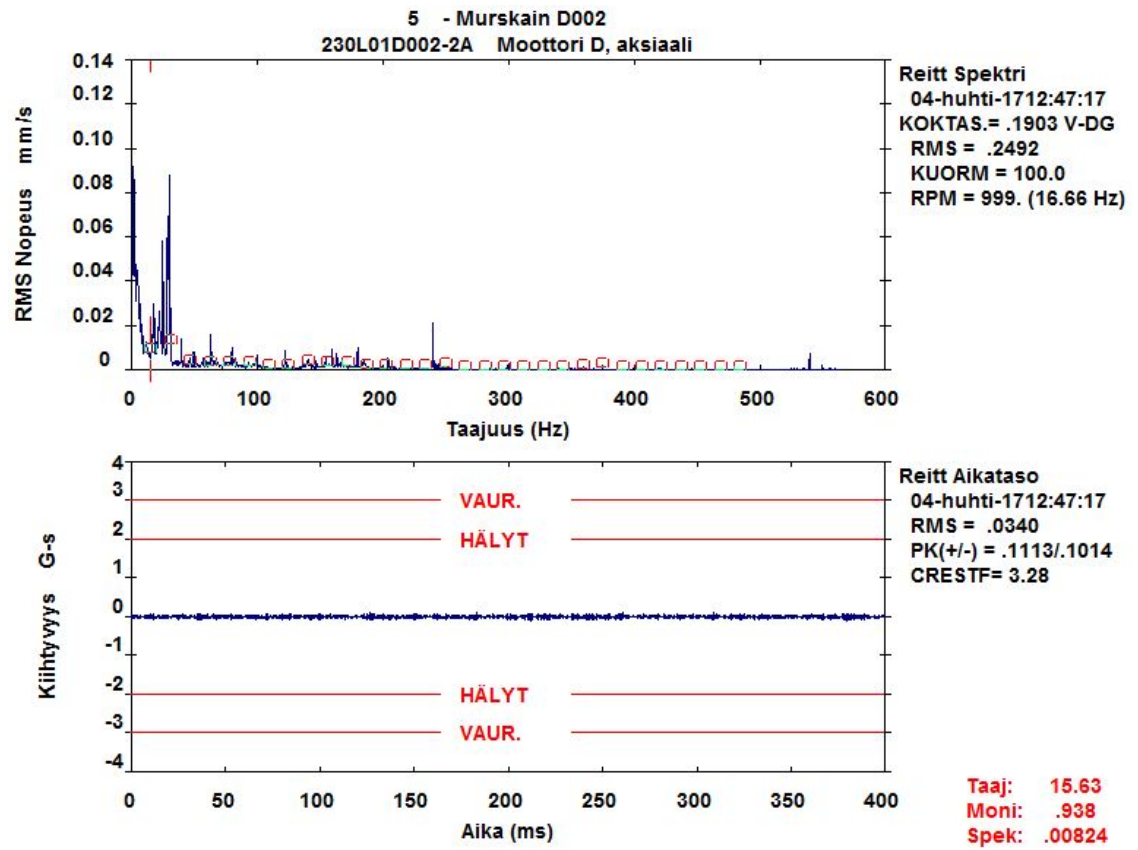




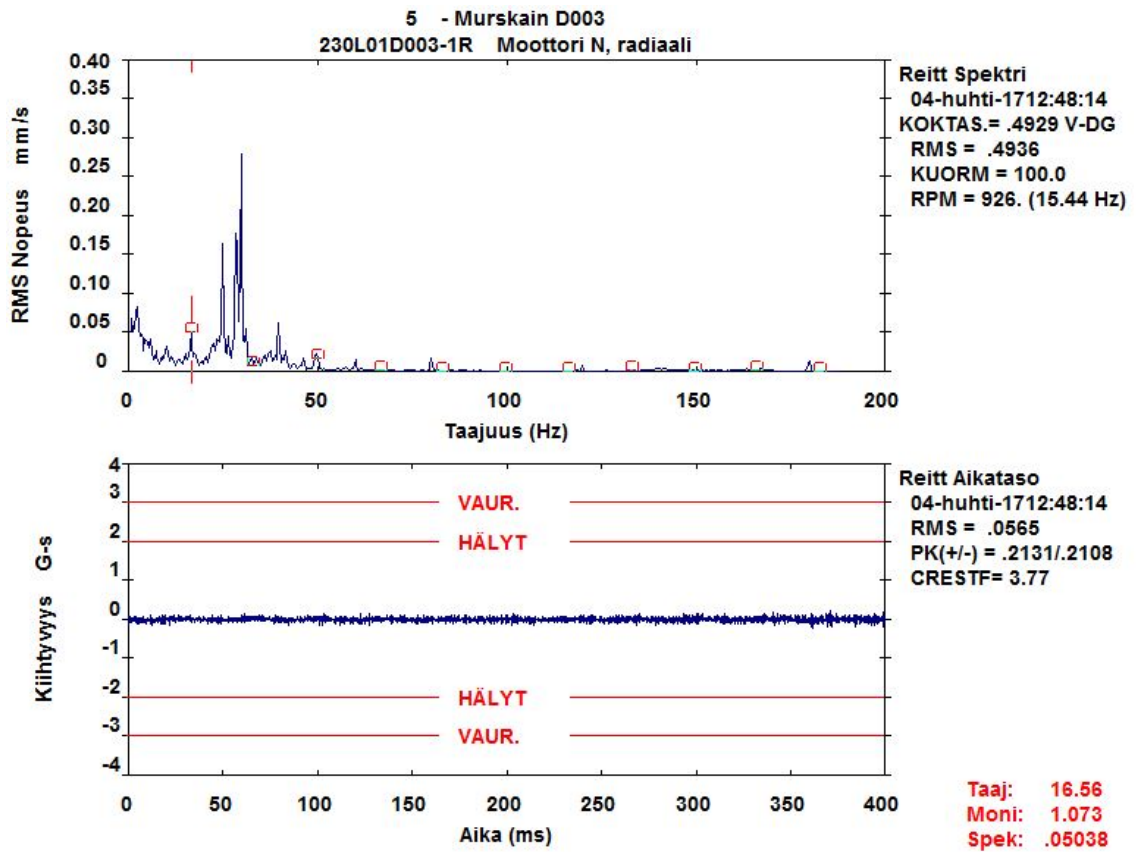
## Värähtelymittaukset 230L01D002-2RP



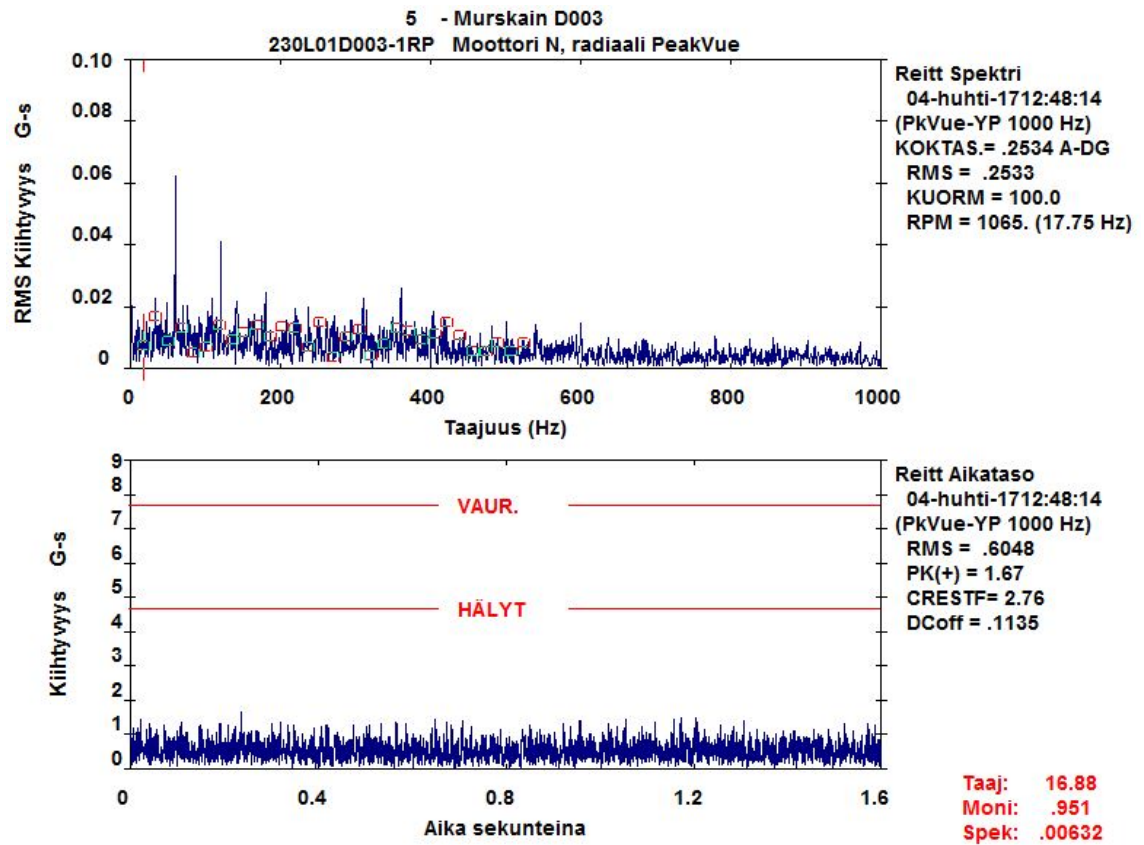
## Värähtelymittaukset 230L01D002-2A



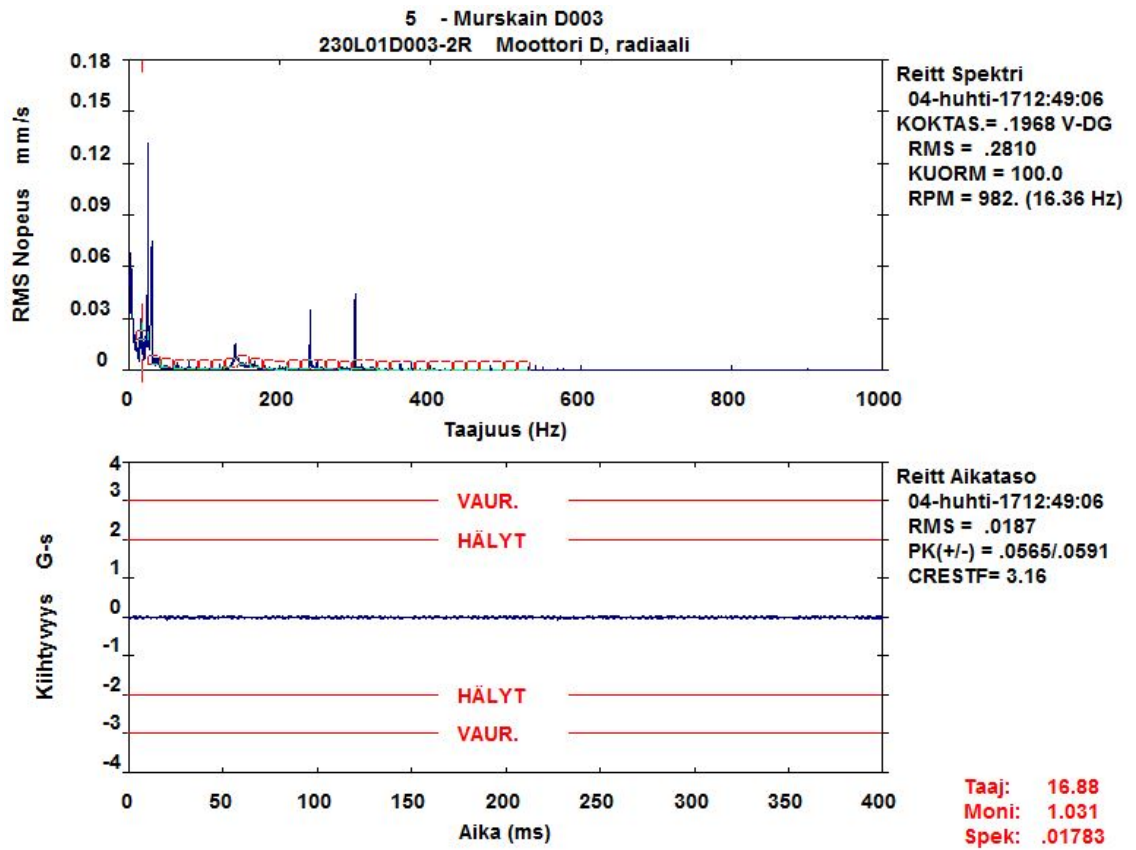
## Värähtelymittaustulokset 230L01D003-1R



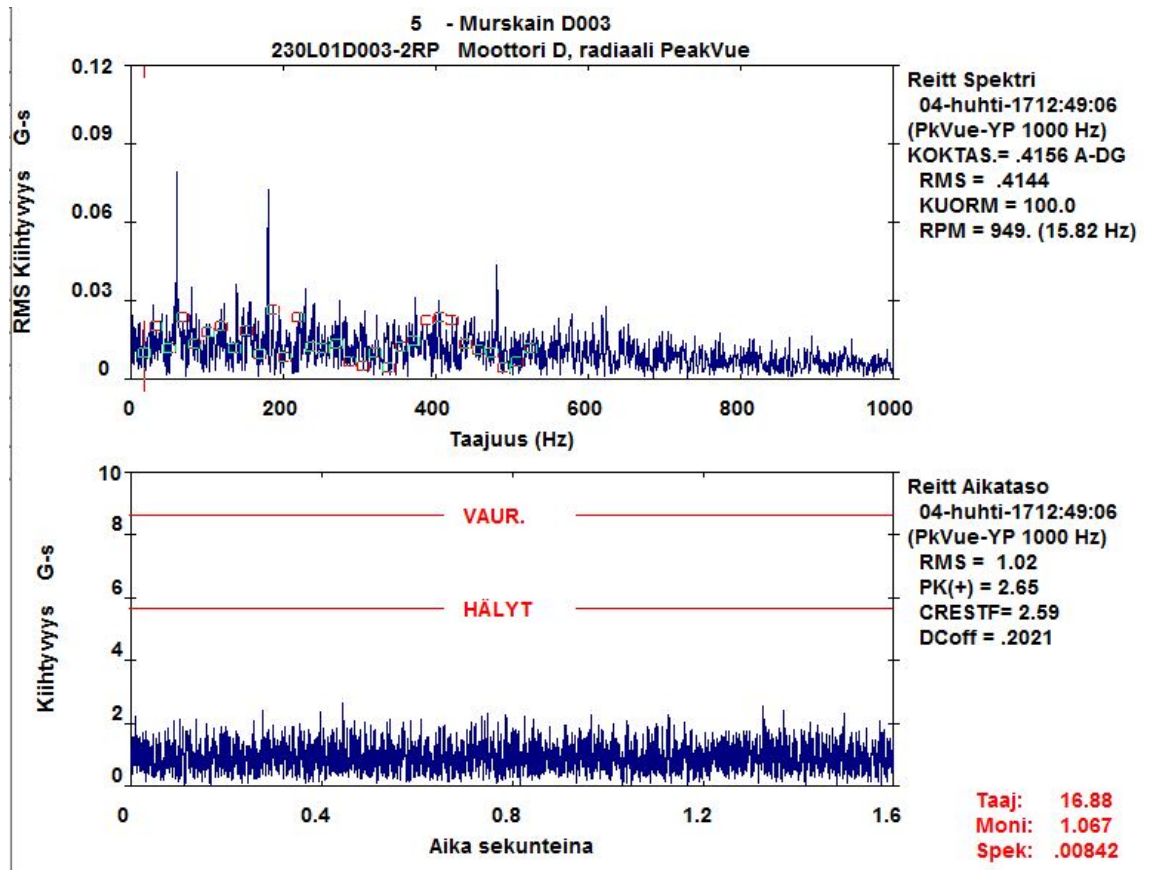
## Värähtelymittaukset 230L01D003-1RP



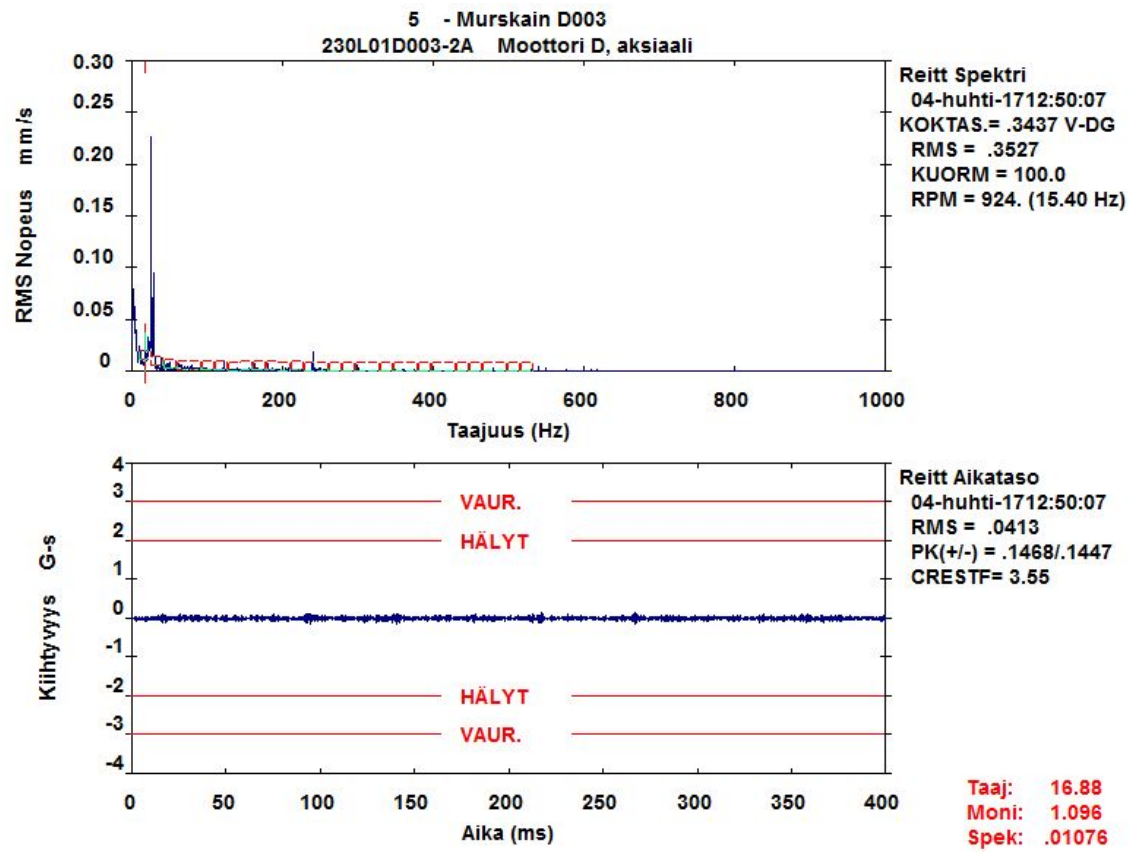
## Värähtelymittaustulokset 230L01D003-2R



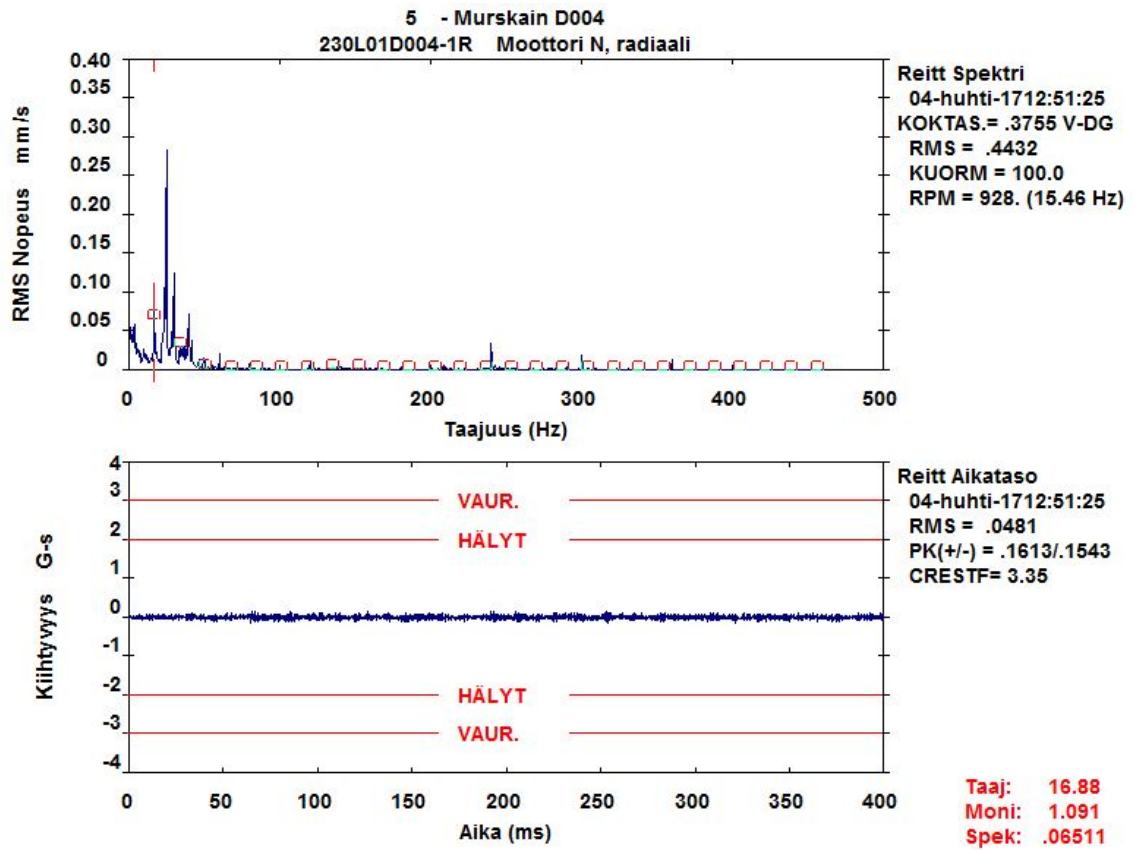
## Värähtelymittaustulokset 230L01D003-2RP



## Värähtelymittaukset 230L01D003-2A

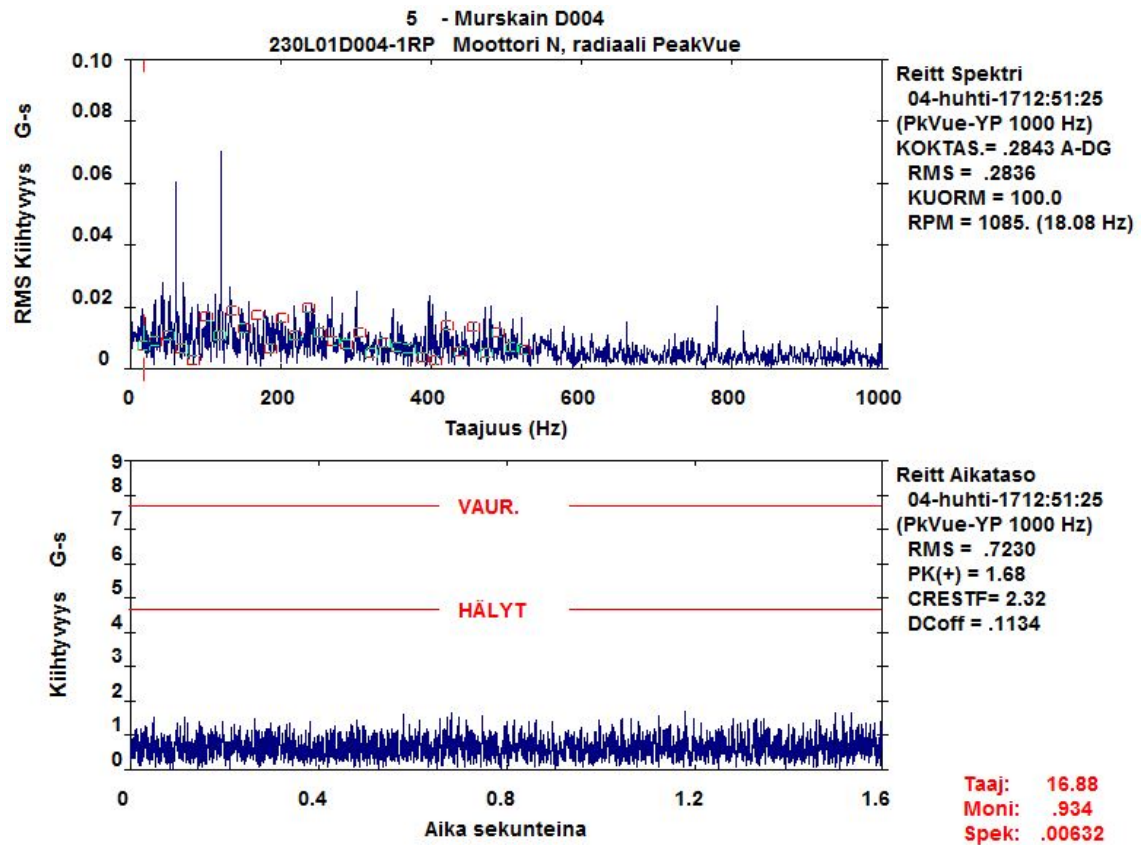


## Värähtelymittaustulokset 230L01D004-1R

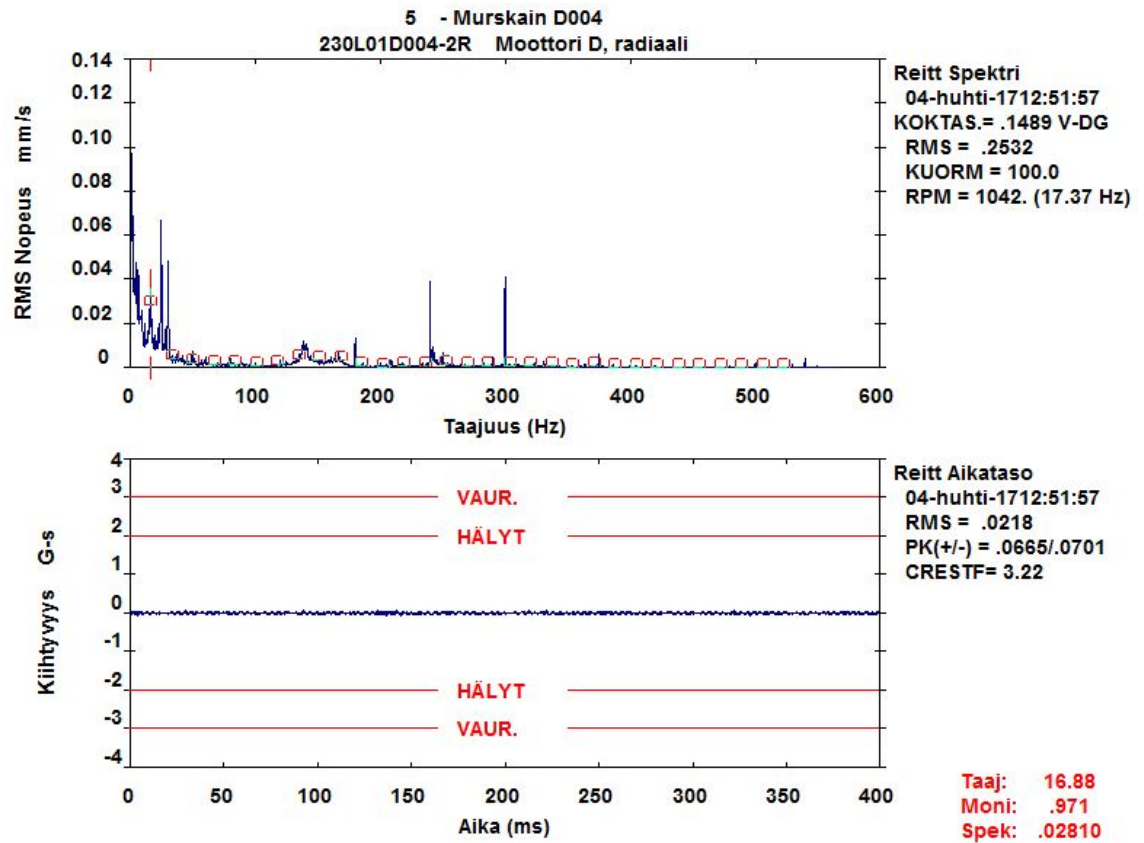




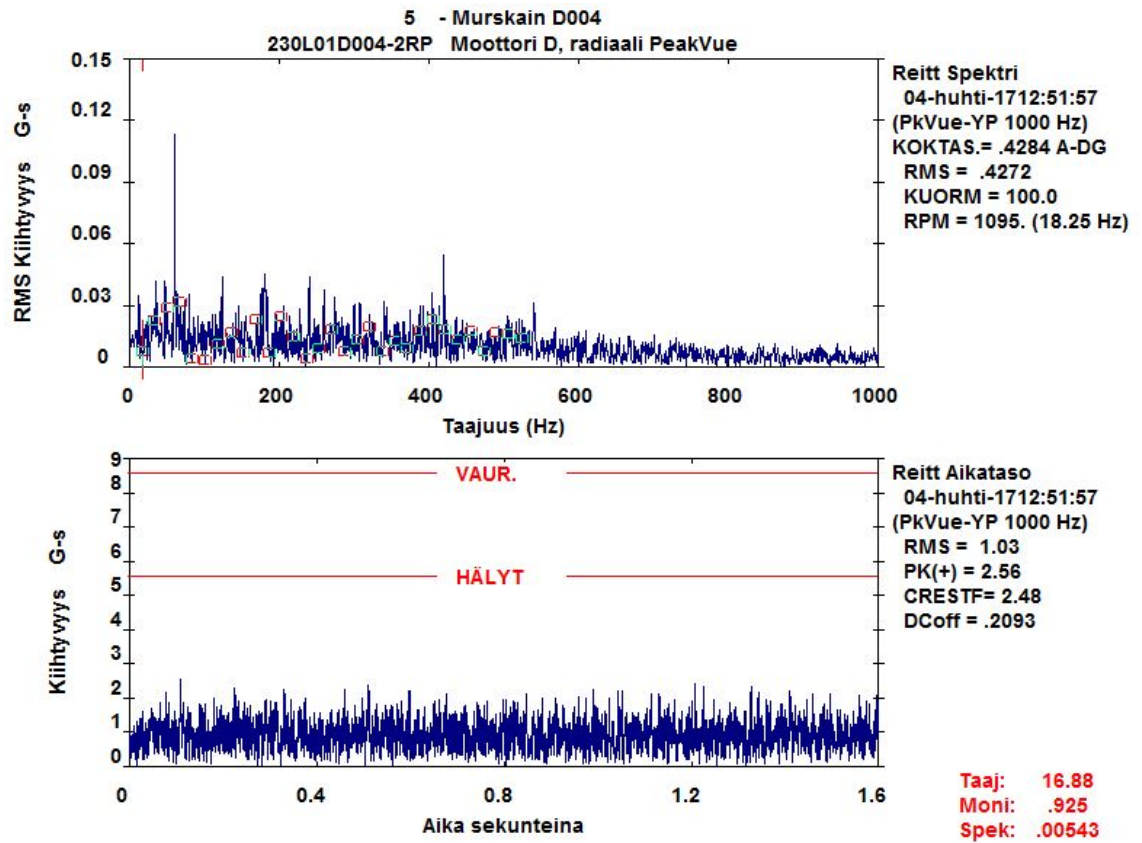
## Värähtelymittaukset 230L01D004-1RP



## Värähtelymittaukset 230L01D004-2R



## Värähtelymittaukset 230L01D004-2RP



## Värähtelymittaustulokset 230L01D004-2A

