

Tomi Leino

PITUUSLEIKKURI 21 VÄRÄHTELY

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2012

## PITUUSLEIKKURI 21 VÄRÄHTELY

Leino, Tomi  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
toukokuu 2012  
Ohjaaja: Kivinen, Juha-Matti ja Kangas, Jouko  
Sivumäärä: 70  
Liitteitä: 3

Asiasanat: pituusleikkuri, värähtely, taajuus, resonanssi

---

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia ja löytää syyt UPM-Kymmene Oyj:n Rauman tehtaan PK2 pituusleikkuri 21 tuotantoa rajoittaviin värähtelyihin. Tutkimus ja koeajot tehtiin keväällä 2012.

Tutkimuksen teoreettisessa osuudessa käsiteltiin värähtelyä, sen peruskäsitteitä ja luokittelua ja värähtelyn syitä paperiteollisuuden saralla.

Tutkimusosio koostui kahdesta eri koeajosta. Ensimmäinen koeajo tehtiin hylsyvalmistaja Sonoco Alcore Oy:n kanssa ja tässä selvitettiin erilaisten hylsyjen vaikutusta värähtelyihin. Toinen koeajo tehtiin Metso Oyj:n kanssa ja siinä selvitettiin pituusleikkurin mekaanisten osien vaikutusta värähtelyihin.

Työn tuloksena saatiin selville PL 21 värähtelyjen syy sekä esitettiin mahdolliset korjaavat toimenpiteet.

## Vibration of the winder 21

Leino, Tomi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering and Production Technology  
May 2012

Supervisor: Kivinen, Juha-Matti and Kangas, Jouko

Number of pages: 70

Appendices: 3

Keywords: winder, vibration, frequency, resonance

---

The purpose of this thesis was to explore and discover the causes of the UPM-Kymmene's Rauma PM2 Winder 21 production-limiting vibrations. The research was conducted in spring of 2012.

In the theoretical part dealt with the basic concepts and classification of vibration and the vibration causes in the area of the paper industry.

The study consisted two different test drives. The first test was carried out with core manufacturer Sonoco Alcore Oy and that the benefits of different cores in the impact of vibrations. The second test was carried out by Metso Oyj and studied the mechanical effect of vibrations.

As a result, we find out the causes of the vibrations and presented the potential corrective actions.

## SISÄLLYSLUETTELO

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1       | JOHDANTO.....                             | 6  |
| 2       | UPM-KYMMENE OYJ, RAUMAN PAPERITEHDAS..... | 8  |
| 2.1     | Rauman metsäteollisuus.....               | 8  |
| 2.2     | Rauman paperitehdas.....                  | 8  |
| 2.2.1   | Voimalaitos.....                          | 9  |
| 2.2.2   | Kuituosasto.....                          | 9  |
| 2.2.3   | Paperikoneet ja jälkikäsittely.....       | 9  |
| 2.2.4   | Pakkaamo.....                             | 10 |
| 3       | PAPERIN VALMISTUS.....                    | 11 |
| 3.1     | PK2.....                                  | 11 |
| 3.1.1   | Viiraosa.....                             | 11 |
| 3.1.1.1 | Perälaatikko.....                         | 11 |
| 3.1.1.2 | Kitaformerit.....                         | 12 |
| 3.1.1.3 | Märkäviirat.....                          | 12 |
| 3.1.5   | Puristinosa.....                          | 13 |
| 3.1.6   | Kuivatusosa.....                          | 13 |
| 3.1.7   | Rullain.....                              | 14 |
| 3.2     | SC 21–23.....                             | 14 |
| 3.3     | PL 21 ja 22.....                          | 14 |
| 3.3.1   | Aukirullausosa.....                       | 16 |
| 3.3.2   | Rainan vienti.....                        | 16 |
| 3.3.2.1 | Päänvienti.....                           | 16 |
| 3.3.2.2 | Ohjaustelat.....                          | 17 |
| 3.3.2.3 | Levitystelat.....                         | 17 |
| 3.3.3   | Leikkausosa.....                          | 17 |
| 3.3.3.1 | Teräpöydät.....                           | 17 |
| 3.3.3.2 | Terälaitteet.....                         | 17 |
| 3.3.3.3 | Terien siirtolaitteet.....                | 17 |
| 3.3.3.4 | Teriensiiroautomaattikka SLITPOSIT.....   | 18 |
| 3.3.3.5 | Esileikkauslaitteet.....                  | 18 |
| 3.3.3.6 | Reunanauhan poistosuuttimet.....          | 18 |
| 3.3.4   | Rullausosa.....                           | 18 |
| 3.3.4.1 | Rullaus- ja ohjaustelat.....              | 18 |
| 3.3.4.2 | Rullausasemat.....                        | 19 |
| 3.3.4.3 | Painotelalaitteet.....                    | 19 |
| 3.3.5   | Ohjaus- ja säätölaitteet.....             | 19 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.3.6   | Rainan kireyden mittaus ja säätö.....                            | 20 |
| 4       | VÄRÄHTELY .....  | 21 |
| 4.1     | Värähtelyn peruskäsitteitä.....                                  | 21 |
| 4.2     | Värähtelyn luokittelu .....                                      | 22 |
| 4.3     | Resonanssi.....  | 23 |
| 4.4     | Tyypillisiä värähtelyn syitä paperin valmistuksen alueella ..... | 24 |
| 5       | SONOCO ALCOREN KOEAJO .....                                      | 26 |
| 5.1     | Tausta.....  | 26 |
| 5.2     | Sonoco Alcore Oy.....  | 26 |
| 5.3     | Hylsyjen valmistus.....  | 26 |
| 5.4     | Koeajo .....   | 28 |
| 5.4.1   | Käytetyt mittalaitteet.....                                      | 30 |
| 5.4.1.1 | Kiihtyvyyssanturit .....   | 31 |
| 5.4.2   | Saatujen mittausarvojen laskenta .....                           | 33 |
| 5.4.3   | Koeajopäivä .....  | 35 |
| 5.5     | Saatujen mittaustulosten analysointi .....                       | 38 |
| 6       | METSON KOEAJO .....  | 42 |
| 6.1     | Tausta .....   | 42 |
| 6.2     | Käytetyt mittalaitteet.....                                      | 42 |
| 6.3     | Koeajo .....   | 46 |
| 6.3.1   | Sisemmän (TT) ja ulomman (ET) rullasutelan heittoarvot .....     | 47 |
| 6.3.2   | Ominaistaajuudet iskukokein sekä pyörimistaajuudet.....          | 48 |
| 6.3.3   | Mittaustulokset.....   | 51 |
| 6.3.3.1 | 6.2.2012; IV muutto .....  | 52 |
| 6.3.3.2 | 8.2.2012; II muutto.....   | 54 |
| 6.3.3.3 | 8.2.2012; VI muutto .....  | 57 |
| 6.3.3.4 | 8.2.2012; VII muutto.....  | 60 |
| 6.3.4   | VibLog-mittaukset .....  | 61 |
| 6.3.4.1 | 10.02.2012 klo 14:55 .....                                       | 62 |
| 6.3.4.2 | 11.02.2012 klo 06:53-08:32 .....                                 | 63 |
| 6.3.4.3 | 12.02.2012 klo 10:20 .....                                       | 64 |
| 6.3.5   | Johtopäätökset Metson värähtelymittauksista.....                 | 65 |
| 7       | TULOKSET .....   | 67 |
|         | LÄHTEET.....   | 69 |
|         | LIITTEET   |    |

## 1 JOHDANTO

Kuvittele, että olet Ruotsin laivalla viettämässä rentouttavaa, merellistä lomaa, tällä kertaa keskellä talvea. Olet päättänyt panostaa enemmän laivan tarjoamiin palveluihin ja siten tyytynyt 2-kannella sijaitsevaan C-luokan hyttiin. Meri-ilmaston vuoksi olet hieman väsähtänyt ja päättänyt ottaa pienet nokoset alakannen hytissäsi. Heräät siihen, kun kaikki ympärilläsi tärisee, helisee, lasit putoavat pöydältä ja koko kehosi tuntee jonkin olevan hullusti. Ei hätää, laiva on vain tullut Maarianhaminan satamaan, laivan kylkeen hakkaavat sataman suulla olevat jäälautat ja laiva ohjautuu sujuvasti laituriin.

Yllä mainittu ”Ruotsinlaiva saapuu satamaan”-ilmiö on tullut tutuksi UPM-Kymmene Oyj:n Rauman tehtaan PK2:n pituusleikkuri 21–22 valvomon väelle. Pituusleikkuri 21 on vaivannut erilaiset värähtelyt ja tärinät. Värähtelyt esiintyvät niin valvomon kovana tärinä, pituusleikkurin tärinä, asiakasrullien laatuheittoina ja pahimmassa tapauksessa tärinä ja värähtely nousevat niin vahvoiksi että aiheuttavat ratakatkon. Kun värähtelyt ovat ajankohtaisia, pituusleikkurin ajomiehellä ei ole muuta keinoa kuin vähentää pituusleikkurin tuotantonopeutta.

Pituusleikkuri 21 on yksi kantatehtaan viidestä pituusleikkurista, joilla leikataan PK1:n, PK2:n ja PK3:n tuotanto. Leikkauskapasiteetti on eräänlainen pullonkaula Rauman tehtaan tuotannon maailmalle saattamisessa ja pituusleikkurit ovatkin jatkuvassa toiminnassa. Jokainen hidastava tekijä leikkauskapasiteetin puitteissa aiheuttaa paperituotannon kertymisen paperikoneen ja pituusleikkureiden ”väliin”. Tämä esim. hidastaa laatuviikoihin reagoimisaikaa kun konerullat odottavat leikkuuvuoroaan. Pahimmassa tapauksessa pituusleikkureiden tuotannollinen tehottomuus aiheuttaa paperikoneen alasajoa rautapulan johdosta.

Värähtelyt ja tärinät eivät ole jatkuva riesa. Ne ajoittuvat ainoastaan tilanteeseen, jossa pituusleikkurilla on ajossa n. 2500–3500 mm leveät rullat. Toisinaan värähtelyä ei esiinny lainkaan, vaikka rullaleveydet ovat edellä mainitut. Pienemmillä rullaleveyksillä haitallista värähtelyä ei esiinny.

Pituusleikkurille 21 tehdään mittavat investoinnit 2012 viikolla 51. Uusintaan kuuluvat mm. ohjausjärjestelmän uusiminen, pehmeät rullaustelat sekä raskaat, keskiikäyttöiset rullausasemat. Tämänkin johdosta haluttiin saada selville värähtelyn syyt ja tätä kautta syiden vaikutus uusintaan. Syyt pyrittiin kartoittamaan kahdella eri koeajolla. Ensimmäisessä hylsyjen vaikutus ja mahdollinen syy värähtelyihin tehtiin yhdessä Sonoco Alcore Oy:n kanssa. Toisessa koeajossa mitattiin pituusleikkurin mekaanisia ominaisuuksia Metso Oyj:n toimesta.

## 2 UPM-KYMMENE OYJ, RAUMAN PAPERITEHDAS

### 2.1 Rauman metsäteollisuus

Rauman metsäteollisuuden toiminta alkoi 6.8.1912, kun Vuojoki Gods Ab:n saha käynnistyi Sampaanalanlahden rannalla. Näin ollen Rauman metsäteollisuus viettää 100-vuotisjuhliansa kuluvana vuonna. Näinä 100 vuotena Rauman metsäteollisuus on kasvanut paperitehtaan ominaisuudessa yhdeksi maailman suurimmaksi aikakauslehtipaperitehtaaksi.

### 2.2 Rauman paperitehdas

Rauman paperitehdas on kokonaisuus, johon kuuluu voimalaitos, kuituosasto, paperikoneet, jälkikäsittely ja pakkaamo.



Rauman paperitehdas ympäristöineen



### 2.2.1 Voimalaitos

Rauman Voima Oy:n biovoimalaitos tuottaa prosessihöyryä ja sähköä paperitehtaalle sekä kaukolämpöä ja sähköä Rauman Energialle, joka on Rauman kaupungin sähköyhtiö. Voimalaitoksen pääpolttoaineita ovat kuori ja hakkuutähteet.

### 2.2.2 Kuituosasto

Massanvalmistus tuottaa ja hankkii paperikoneiden tarvitsemat pääraaka-aineet ja huolehtii tehtaan raakaveden hankinnasta ja kemiallisesta puhdistuksesta sekä jäteveden biologisesta puhdistuksesta. Paperin valmistukseen käytetään kuusipuuta noin 1,7 miljoonaa kuutiota vuodessa, joka vastaa noin 70 rekkakuormaa päivässä. Kuituosasto valmistaa massan hierteeksi (TMP = thermomechanical pulp) ja hiokkeeksi (= GW). Sellun valmistaa naapurissa sijaitseva Botnian sellutehdas.

### 2.2.3 Paperikoneet ja jälkikäsitely

Raumalla on neljä paperikonetta. LWC-koneet PK 1 ja PK 4 valmistavat päällystettyä aikakauslehtipaperia ja SC-koneet PK 2 ja PK 3 päällystämätöntä aikakauslehtipaperia. Rauman papereiden loppukäyttökohteita ovat erikois- ja yleisaikakauslehdet, myyntiluettelot, tv- ja radiolehdet, sanomalehtien liitteet ja mainospainotuotteet.

PK 1 on käynnistynyt 1969 ja modernisoitu 1988, 1996 ja 2003. Kone valmistaa 60–80-g/m<sup>2</sup> päällystettyä aikakauslehtipapereita. Koneen leveys on 8,3 metriä ja nopeus 1400 m/min. Paperi kalanteroidaan kahdella superkalanterilla ja leikataan yhdellä pituusleikkurilla. PK 1:n raaka-aineita ovat hioke, hierre, sellu sekä päällyste- ja täyteaineet.

PK 4 on käynnistynyt 1998 ja modernisoitu 2004. Koneella valmistetaan 51–70-g/m<sup>2</sup> päällystettyä aikakauslehtipapereita. Koneen leveys on 9,2 metriä ja nopeus 1 800 m/min. Paperi kalanteroidaan kahdella superkalanterilla ja leikataan kahdella pituusleikkurilla. PK 4:n raaka-aineita ovat hierre, sellu sekä päällyste- ja täyteaineet.

Rauman LWC-koneiden tuotteita ovat UPM Cote, UPM Satin, UPM Star ja UPM Ultra.

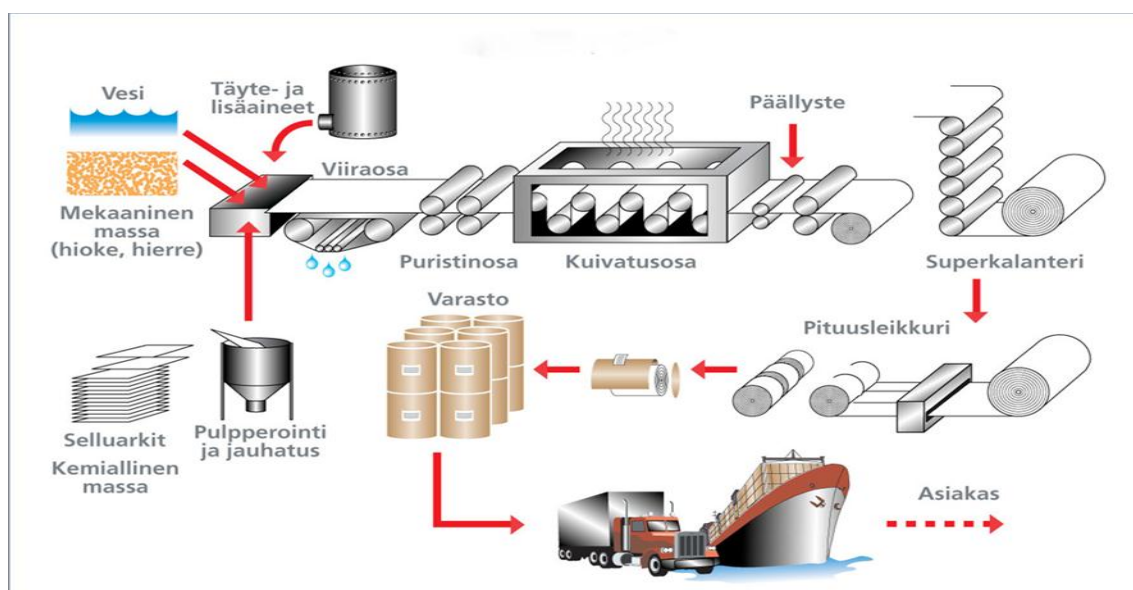
PK 2 on käynnistynyt 1971 ja modernisoitu 1990 ja 2004. Koneella valmistetaan 45–57-g/m<sup>2</sup> päällystämättömiä aikakauslehtipapereita. Koneen leveys on 8,3 metriä ja nopeus 1 500 m/min. Paperi kalanteroidaan kolmella superkalanterilla ja leikataan kahdella pituusleikkurilla. PK 2:n raaka-aineita ovat hioke, hierre, sellu ja täyteaineet.

PK 3 on käynnistynyt 1980. Koneella valmistetaan 45–60-g/m<sup>2</sup> päällystämättömiä aikakauslehtipapereita. Koneen leveys on 8,3 metriä ja nopeus 1 300 m/min. Paperi kalanteroidaan kahdella superkalanterilla ja leikataan kahdella pituusleikkurilla. PK 3:n raaka-aineita ovat hierre, hioke, sellu ja täyteaineet.

Rauman SC-koneiden tuotteita ovat UPM Cat ja UPM Max.

#### 2.2.4 Pakkaamo

Pakkaamo pakkaa ja merkitsee pituusleikkureilta valmistuneet asiakasrullat. Pakatut asiakasrullat kuljetetaan neljällä tuoteautolla Rauman satamaan, joka sijaitsee vain muutaman kilometrin päässä tehdasalueesta. Rullat varastoidaan satamaan odottamaan lastausta, pääasiassa laivoihin mutta myös juniin ja rekka-autoihin.\1\



Paperitehtaan logistiikka

## 3 PAPERIN VALMISTUS

### 3.1 PK2

PK 2 on käynnistynyt 1971 ja modernisoitu 1990 ja 2004. Koneella valmistetaan 45–57-g/m<sup>2</sup> päällystämättömiä aikakauslehtipapereita. Koneen leveys on 8,3 metriä ja nopeus 1 500 m/min. PK 2:n raaka-aineita ovat hioke, hierre, sellu ja täyteaineet.

PK 2, kuten kaikki paperikoneet, koostuvat karkeasti ottaen viiraosasta, puristinosasta, kuivatusosasta ja rullaimesta.

#### 3.1.1 Viiraosa

Viiraosan päätehtävä on muodostaa paperiraina poistamalla sulpusta niin paljon vettä (n. 96 % perälaatikkosulpun mukana tulevasta vedestä), että saavutetaan paperilajista riippuen n. 16–26 %:n kuiva-ainepitoisuus viiraosan jälkeen. Riittävä viiraosan jälkeinen kuiva-aine on tärkeä rainan ajettavuudelle seuraavissa prosessivaiheissa. Viiraosan pääelementit ovat märkäviirat (ulko- ja sisäviira), perälaatikko ja formerin erilaiset vedenpoistokomponentit. \3\

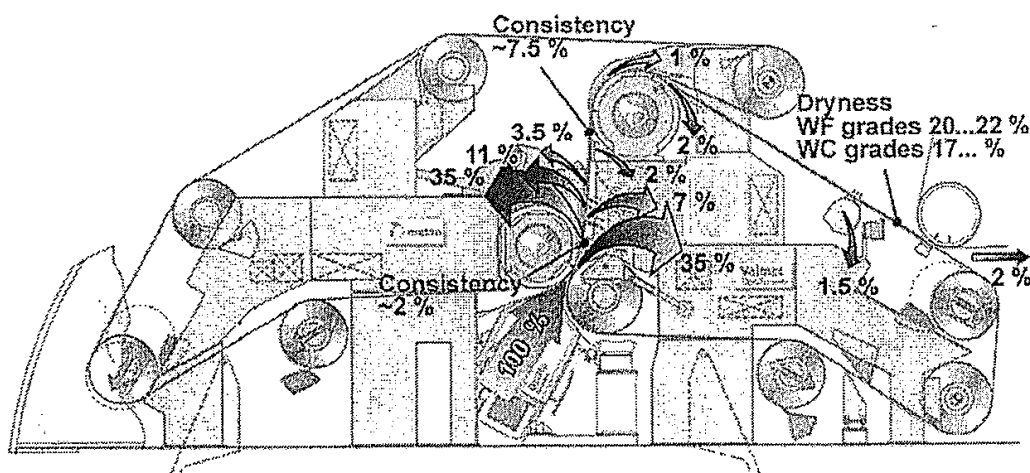
#### 3.1.2 Perälaatikko

Perälaatikon ja sen syöttöputkiston tehtävänä on levittää massasuspensio tasaisesti paperikoneen poikkisuunnassa, stabiloida syöttövirtauksen paineenvaihtelut, tuottaa sopivan tasoinen turbulenssi massasuspensioon kuituflokkien hajottamiseksi ja tuottaa viiraosalle massasuspensiosuihku, jolla on haluttu sakeus, nopeus ja suunta.

PK2:lla perälaatikkona on Valmetin Optiflo 2, joka asennettiin PK 2:n koko viiraosan uusinnassa 2004. Optiflo 2:ssa käytetään neliömassaprofiilin säädössä laimennussäätöä entisen kärkilistasäädön tilalla. Laimennussäädöllä saavutetaan tarkempi säätövaste ja lisäksi huuliaukon muodon pysyessä muuttumattomana vältetään poikkivirtaukset, jotka aiheuttavat virheitä orientaatioprofiiliin.\3\

### 3.1.3 Kitaformeri

Optiformer on pystymallinen kuormituselementtiyksiköllä varustettu kitaformeri. Radan kulkusuunnassa ensimmäinen vedenpoistokomponentti on yhdellä imukammion kanssa varustettu formeritela, jonka alipaineella vaikutetaan poistuvan veden määrään. Seuraava vedenpoistokomponentti on kuormitusyksikkö, jossa kuormituslistat ovat sisäviiran puolella. Kuormituselementtien listat painavat viiroja listakengän 1. kammion kantta vasten aiheuttaen puristuspuheen viirojen väliseen massarainaan. Paineen vaikutuksesta vettä poistuu rainasta viirojen läpi. Kuormitusyksikön vastapuolella on listakenkä, joka on varustettu keraamisella kannella ja keraamisilla listoilla. Listakengässä on kaksi imukammiota. Listakengän jälkeen vedenpoistoa jatkaa sisäviiran puolella sijaitseva kaareva imulaatikko. Seuraava vedenpoistokomponentti on 2-kammioinen imutela, jonka alipaine vaikuttaa vedenpoistumaan. Viimeinen vedenpoistokomponentti on keraamisella rakokannella varustettu korkeaimulaatikko. \3\



OptiFormerin vedenpoistojakauma.

Kitaformerin

### 3.1.4 Märkäviirat

Märkäviiralla tarkoitetaan tekokuitulangoista valmistettua päätöntä kudosta (ts. verkkoa), jonka päälle paperiraina huopautuu paperikoneen viiraosalla, kun suurin osa paperimassassa olevasta vedestä poistetaan märkäviiran läpi. Märkäviiran tärkeimpiä

tehtäviä on poistaa vettä, estää kuituja pääsemästä lävitseen eli muodostaa paperirainaa, tukea paperirainaa ja kuljettaa rainaa.

PK2:n ulkoviiran pituus on n. 32 metriä ja sisäviiran pituus n. 25 metriä.

### 3.1.5 Puristinosa

Puristinosan tehtävänä on poistaa rainasta mahdollisimman paljon vettä ja samalla tiivistää sitä. Puristimella pyritään saavuttamaan riittävän suuri märkälujuus, jotta rainan siirto kuivatusosalle onnistuu ilman katkoja. Rainan tiivistyminen mahdollistaa lujien kuitujen välisten sidosten muodostumisen rainaa kuivattaessa. Märkäpuristus tapahtuu aina joko puristinhuovan ja sileän telan tai kahden puristinhuovan välissä. Näitä puristinnippejä on PK2:n puristinosalla neljä ja täten puristinosalla on neljä puristinhuopaa. Puristettaessa rainan tilavuus pienenee ja vedelle ei jää enää tilaa vaan se poistuu huopaan. Huopaan siirtynyt vesi poistetaan imulaatikoilla. PK 2:n uusinnassa 2004 asennettiin puristinosalle ns. kenkäpuristin (Metson Symbelt™-puristin) 3-puristimeksi. Symbelt™-puristimella saadaan aikaan suuria viivakuormia ja siten suuri puristuspulssi. Tavanomaisiin puristinteloihin verrattuna puristuspulssi voidaan monissa tapauksissa lisätä 10-kertaiseksi. Suurempi puristuspulssi parantaa vedenpoistoa radasta ja lujutta, mikä puolestaan johtaa puristinosan parempaan ajettavuuteen. \4\

### 3.1.6 Kuivatusosa

Kuivatusosan tehtävänä on poistaa rainasta vettä haihduttamalla. PK2:n kuivatustapa on ns. kontakti eli sylinterikuivatus. Paperirataan tuodaan ulkoa energiaa sylintereille eli tässä tapauksessa höyryä, joka "keittää" eli haihduttaa veden pois radasta ja haihtunut vesi viedään ilman avulla pois radan läheisyydestä. Haihtunut vesi poistetaan erilaisten puhaltimien avulla. PK 2:n kuivatusosa koostuu 57 sylinteristä, jotka jakautuvat kuuteen eri kuivatusryhmään. Kuivatusryhmillä on jokaisella oma kuivatusviiransa ja kahdella viimeisellä kuivatusryhmällä on kaksi kuivatusviiraa. Kuivatusviiran tärkeimpänä tehtävänä on toimia paperirainan kuljettimena sen kulkiessa kuivatusosan läpi sekä parantaa lämmönsiirtoa kuivatussylintereistä paperiin. \5\

### 3.1.7 Rullain

Paperikoneen kiinnirullain on varsin tärkeä osa paperikonekokonaisuutta. Pöytätyyppisellä kiinnirullaimella rata kierretään tampoauraudan ympärille rullainsylinteriä vasten. Sen toiminta perustuu yhteen telaan eli rullaussylinteriin ja sitä vastaan painettavaan rullaan. Muodostettava rulla pyörii rullaussylinterin ja paperin välisen kitkan avulla. PK2:n tyypillisin valmiin konerullan pituus on n. 55000 m ja paino neliöpainosta riippuen n. 24000 kg.

### 3.2 SC 21–23

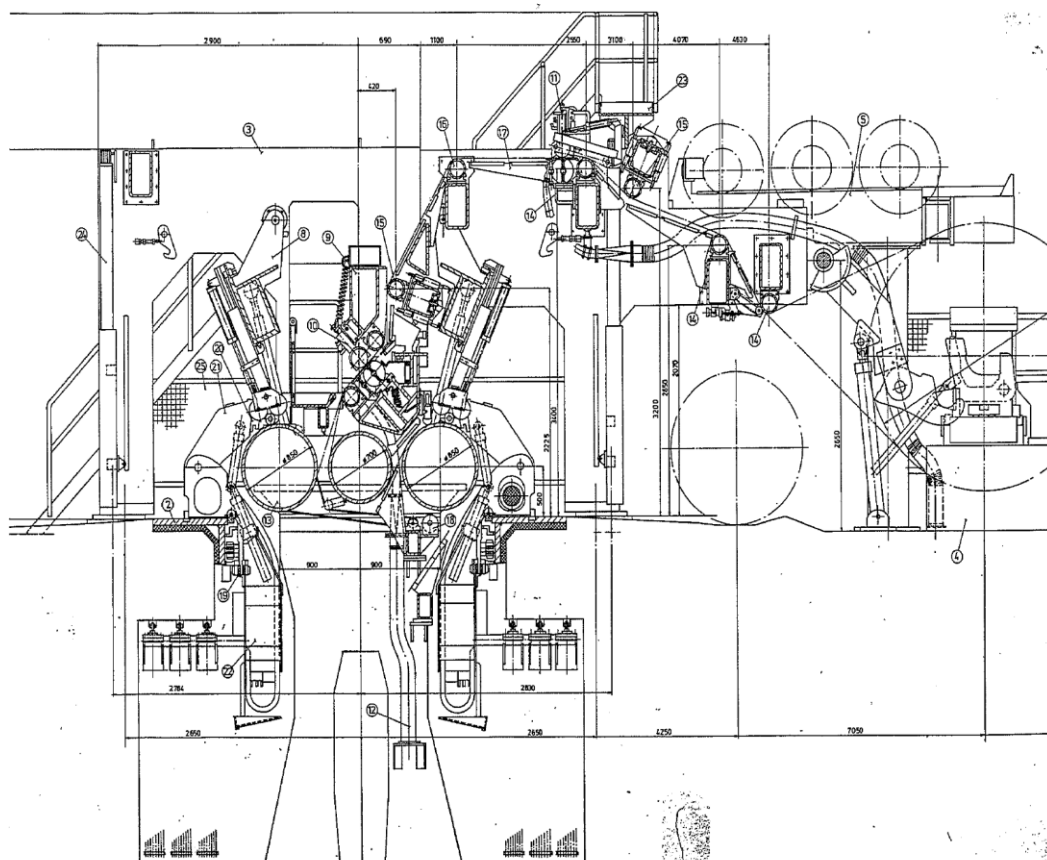
PK 2:n jälkikäsitteilyyn kuuluu kolme superkalanteria. Superkalanterien tehtävänä on paperin pintaominaisuuksien paraneminen (sileys, kiilto), jotta sen painatus- ja muut jalostusominaisuudet paranisivat, paperin paksuuden säätäminen, jotta saataisiin tiheydeltään haluttua paperia ja paperin paksuusprofiilin tasaaminen, jotta saataisiin pituusleikkurilla tasaisia rullia. Superkalanterin telaston muodostavat joustavat paperitelat ja kovat kokillitelat. Ylimpänä ja alimpana telastossa ovat ns. taipumakompensoidut telat, jotka ovat myös kokillivalua. Raakapaperi viedään paperitelojen ja kokillitelojen muodostamien nippien läpi aukirullauksesta kiinnirullaukseen. Nippeihin kohdistetun viivakuorman ja kokilliteloihin johdetun lämmön vaikutuksesta paperiin kohdistuu maalaisjärjellä ajateltuna samanlainen vaikutus kuin kotitaloudessa mankelin tai silitysraudan vaikutus tekstiileihin.

### 3.3 PL 21 ja 22

PK2:n tuotanto leikataan asiakasrulliksi pituusleikkureilla 21 ja 22. Koska opinnäyte-työ koskee pituusleikkuria 21, keskitytään pelkästään siihen.



PL21 muotonvaihtotilanteessa. Ajossa PK1 paperi.



PL21 layout

PL21 on Valmetin kaksoisrullain JR1000, joka on käyttöönotettu vuonna 1988. JR1000 on pituusleikkuri, joka on rakennettu ominaispainoltaan raskaiden kiillotettujen ja päällystettyjen papereiden leikkaamiseen ja rullaamiseen. PL21:ssä muodostetaan leikattavasta rainasta paperirullat kahden rullaustelan avulla siten, että vierekkäiset rullat sijoittuvat eri rullausteloille vastakkaisille puolille. Rullan muodostus tapahtuu siten, että paperirullan painoa osittain kannatetaan rullaustelan avulla ja osittain rullausvarsien hylystukoiden avulla. Rullat muodostuvat rullausteloja vasten.

### 3.3.1 Aukirullausosa

Konerullan lukitus aukirullauspukkeihin tapahtuu hydraulisesti lukitussalvalla. Kytkin lukittuu samanaikaisesti konerullan lukituksen kanssa. Aukirullaimen mekaaniseen rakenteeseen kuuluu hydraulinen levyjarruyksikkö, jota käytetään hätä-, pysäytys- ja seisontajarruna. Konerullan vaihtoautomaattikka sisältää normaalin aukirullausaseman lisälaitteet tyhjän konerullaraudan poistamiseksi aukirullausasemasta ja uuden konerullan siirtämiseksi aukirullausasemaan. Vaihtojärjestelmä irrottaa tyhjän konerullaraudan jarrugeneraattorista ja nostaa raudan telatelineeseen. Uusi konerulla siirretään odotusasemasta aukirullausasemaan ja tyhjä rauta viedään pois hallinosturilla.

### 3.3.2 Rainan vienti

#### 3.3.2.1 Päänvienti

Päänvientilaitteisiin kuuluvat rainanvientiviirat, puhalluslaatikot, päänvientihihnat, imuviiralaatikot, päänvientilaatikot ja päänvientipelti. Rainanvientiviirat sijaitsevat ensimmäisen pätkätelan jälkeen. Viirat imevät paperikiilan kiinni itseensä ja kuljettavat sen puhallusputkista muodostuvien puhalluslaatikoiden ja tasomaisien päänvientilevyjen sekä peltien avulla läpi leikkurin.



### 3.3.2.2 Ohjaustelat

Raina ohjataan leikkausosalle yläkautta ohjauspätkätelojen avulla. Nämä telat muodostuvat rainan vetämistä, erillislaakeroiduista alumiinivaippaisista elementeistä.

### 3.3.2.3 Levitystelat

Rainan levitys tapahtuu ennen esileikkausta ja leikkausta teräpöydän ja ohjaustelan väliin sijoitetulla poikkisuunnassa elementteihin jaetulla alumiinivaippaisella telalla. Telaan on mekaanisesti rakennettu kiinteä kaari levitysvaikutuksen aikaansaamiseksi. Telaarä voidaan taivuttaa rataa vastaan kohtisuoralle kaarelle rainan tasaisen kireyden saavuttamiseksi käsipyörän ja telapalkin keskelle sijoitetun ruuvimekanismin avulla.

## 3.3.3 Leikkausosa

### 3.3.3.1 Teräpöydät

Etummainen ja takimmainen teräpöytä on koottu vapaasti pyörivistä, erillislaakeroiduista teräelementeistä, jotka muodostavat yhtenäiset telarivit. Telarivit on asennettu erillisiin teräsrakenteisiin ylä- ja alateräpalkkeihin.

### 3.3.3.2 Terälaitteet

Paperin leikkaus tapahtuu pyörivin terin. Alaterä on kiinnitetty käyttömoottoriinsa akselilla ja sen vastaterä on laakeroitu erilliseen yläteräpöytään. Teräpidin on varustettu pneumaattisin sylinteritoiminnoin, joiden avulla suoritetaan terien päälle-pois-ohjaus ja teräpaineen säätö.

### 3.3.3.3 Terien siirtolaitteet

Ylä- ja alateräyksikköä liikuttaa koneen poikkisuunnassa johteilla. Teräkelkat on varustettu pneumaattisin lukkolaittein kelkkojen lukitsemiseksi ja vapauttamiseksi johteilta.

#### 3.3.3.4 Teriensiirtoautomaatiikka SLITPOSIT

SLITPOSIT-teriensiirtojärjestelmä sisältää leikkausterien ja rullausasemien automaattiseen siirtoon tarvittavat ohjauslaitteet. Halutut leikkausleveydet syötetään etukäteen ohjausyksikköön tietokonepäättteen avulla. Kun terien siirto käynnistetään, terät siirtyvät automaattisesti uusiin asemiin ja lukittautuvat paikoilleen. Siirron jälkeen terän särmän tunnistin kulkee leikkausosan poikki ja tarkistaa terien paikat. Teriensiirtoautomaatiikka on kytketty rullausasemien siirtoon siten, että samalla esivallinnalla ja samoilla ohjauksilla saadaan rullausasemien siirtyminen rullaleveyksiä vastaaville paikoille.

#### 3.3.3.5 Esileikkauslaitteet

Esileikkauslaitteet on tarkoitettu radan reunanauhan leikkaukseen ennen varsinaista leikkausta. Käyttö- ja hoitopuolelle sijoitetut yksiköt muodostuvat vastaavista teräpareista kuin leikkausosa.

#### 3.3.3.6 Reunanauhan poistosuuttimet

Reunanauhojen poisviemiseksi ovat reunaterät ja esileikkausterät varustettu reunanauhasuuttimilla, jotka on kiinnitetty teräkelkkoihin liikkuen siten terien mukana oikeaan kohtaan.

#### 3.3.4 Rullausosa

Rullausteloja ja ylärakennetta kannattavat pilarit ovat teräsrakenteisia koteloprofiileja. Rullausasemien ja painotelalaitteiden tukivarret ovat myös teräsrakennetta. Rullausasemien johdepalkit muodostuvat tukevista teräslaatoista.

##### 3.3.4.1 Rullaus- ja ohjaustelat

Rullaustelat (2 kpl) ja ohjaustela ovat teräsvaippaiset ja paksuseinämäiset sekä spiraaliuritetut. Ko. telat ovat vastikään päällystetyt karbidipinnoitteella. Telat on tasa-

painotettu dynaamisesti rakennenopeutta vastaavalla kierrosluvulla. Käyttömoottorina toimii tasavirtamoottori, jota käytetään myös jarrutuksessa. Moottorin ja telojen välillä on yhteinen vaihdelaatikko. Telat ovat varustetut hydraulisilla levyjarruilla, joita käytetään hätäpysäytys- ja seisontajarruina.

#### 3.3.4.2 Rullaasemat

Rullaasemat ovat vuorotellen rullaustelaryhmän kummallakin puolella. Rullaaseman teräsrakenteinen runko kannattaa rullaustukkoita, jotka on laakeroitu rullausvarren päässä aksiaalisesti liikkuvaan pesään. Tämän aksiaaliliikkeen avulla lukietaan hylsy kiinni istukoihin ja vastaavasti irrotetaan valmiit rullat. Rullanmuodostus hallitaan säätämällä rullan ja rullaustelan välistä kuormitusta hydraulisylinterillä. Säädon suorittaa sähköinen funktiopiiri, joka ohjaa takaisinkytkettyä hydraulista paineensäätöä. Asemat on varustettu erillisellä keskiökäytöllä, johon kuuluu tasavirtamoottori ja hammashihnavälitys. Rullausmomenttia säätämällä vaikutetaan rullanmuodostukseen. Aseman toinen rullauskelkka on varustettu käytöllisellä rullauspäälällä. Rullauskelkoissa on kaksi sylinteriä, kuormitus- ja luovutusylinteri. Kuormitusylinterillä säädetään paperirullan ja rullaustelan välistä nippikuormitusta. Luovutusylinterillä lasketaan rullausvarsi alas rullan luovutuksen yhteydessä.

#### 3.3.4.3 Painotelalaitteet

Painotelat on kiinnitetty kelkkarakenteeseen, joka on terästä ja kiinnitetty johteiden välityksellä painotelapalkkiin. Painotelat ovat hihnapainoteloja. Kuormituslaite toimii pneumaattisesti ja poikkisuuntainen siirto tapahtuu manuaalisesti. Painotelapalkki on nivelöity runkorakenteeseen ja laitteiston siirto toiminta-asentoon tapahtuu hydraulisesti. Hihnapainotela tukee hylsyä rullauksen alussa estäen hylsyn taipumisen. Hylsyn taipuminen saattaa puolestaan edistää rullausvikojen syntymistä.

#### 3.3.5 Ohjaus- ja säätölaitteet

Kuormitus- ja ohjausliikkeet ovat hydraulisesti, pneumaattisesti ja sähköisesti ohjatut. Ohjauskojeet ja mittarit on koottu keskitetysti valvomon ohjauspäätteelle lukuun ottamatta rullausvarsien ja painotelojen ohjauskojeita, jotka ovat erillisessä kotelossa

koneen rungossa. Hydraulijärjestelmä käsittää keskusyksikön, joka sijaitsee leikkurin alakerrassa, tasolla +6.10. Pneumatiikkaventtiilit ym. laitteet ovat omassa venttiili-kaapissa.

### 3.3.6 Rainan kireyden mittaus ja säätö

Kireydenmittauspätkätelan jälkeen on kireysmittausanturit rainan kireyden mittausta varten. Mittauselektronikasta annetaan sähkökäytölle kireyssäätöä varten sähköinen kireyssignaali. Kireyden summaoarvoa ja käyttö- ja hoitopuolen eroarvoa voidaan seurata valvomon ohjauspäätteeltä. \6\

## 4. VÄRÄHTELY

Värähtely on yleinen luonnonilmiö, joka esiintyy myös monissa inhimillisissä toiminnoissa sekä teknisissä sovelluksissa. Esimerkiksi kuuloaistimus perustuu tärykalvojen värähtelyyn, puheen tuottaminen kurkunpään värähtelyyn tai kitaran soitto kielten värähtelyyn. Värähtelytutkimukset keskittyvät ilmiön fysikaalisen luonteen ymmärtämiseen. Värähtelyanalyysin tarve on noussut voimakkaasti esiin monien insinöörisovellusten yhteydessä, kuten esimerkiksi koneiden ja laitteiden suunnittelussa tai niitä vaivaavien vikojen ratkaisemisessa sekä ennakoivassa kunnossapidossa. Koneissa esiintyy värähtelyjä pyörivien osien epätasapainon takia tai edestakaisin liikkuvien osien vaikutuksesta. Myös koneiden tukirakenteet sekä perustukset voivat värähdellä niihin kohdistuvien kuormitusten johdosta. Koneissa ja rakenteissa värähtelyt ovat yleensä haitallisia ja ne on pyrittävä estämään mahdollisimman tarkoin. Haitat aiheuttavat tuotannollisia vaikeuksia, laitteiden ja rakenteiden väsymisvaurioita, laadullisia haittoja, meluhaittoja sekä epämiellyttäviä tuntemuksia niille alttiina oleville ihmisille. Värähtelyssä syntyvien haittojen eliminoinnissa yritetään systeemin ominaisuuksiin ja kuormitukseen vaikuttamalla saada värähtelyamplitudit ja ympäristöön siirtyvät voimat niin pieniksi, että haitat voidaan katsoa merkityksettömiksi. Konetekniikassa löytyy myös useita sovelluksia, joissa värähtelyä käytetään hyväksi. Tällaisia ovat esimerkiksi sekoittimet, seulat, syöttimet ja tärinäkuljettimet. \7\

### 4.1 Värähtelyn peruskäsitteitä

Mekaanisen systeemin liiketilaa, joka toistuu määrääjän kuluttua joko täysin tai lähes samanlaisena, sanotaan värähtelyksi. Tyypillisiä esimerkkejä värähtelyliikkeestä ovat heilurin heilahdusliike, kielisoittimen kieleen näppäiltäessä syntyvä liike tai sydämen lyönti. Värähtely on jaksollista liikettä tasapainoaseman ympärillä. Jaksollisen ilmiön taajuus (tunnus  $f$ ) on tietyssä ajassa tapahtuva toistojen tai värähdysten määrä. Taajuus kuvaa jonkin ilmiön esiintymistiheyttä. Taajuutta voidaan mitata määrittelemällä ensin jokin aikaväli ja tutkimalla sen jälkeen, kuinka monta kertaa kyseinen ilmiö toistuu tämän aikavälin aikana. Kun kertojen lukumäärä jaetaan aikavälin pituudella

t, saadaan ilmiön taajuus. Kyseisen ilmiön taajuus saadaan jaksonajan (yhteen värähdykseen kuluvan ajan) käänteislukuna  $1/t$ . Taajuuden yksikkö on  $1/s$ , jota kutsutaan nimellä hertsi (tunnus Hz). Yksi hertsi kertoo tapahtuman toistuvan kerran sekunnissa. Kymmenellä hertsillä taas toistoja on kymmenen kappaletta sekunnissa. Esimerkiksi sydämen lyönnin jaksonaika voidaan mitata ottamalla aika siitä kun sydän lähtee alkuasennosta ja palaa takaisin samaan asemaan. Käytännössä tarkempi tapa on mitata vaikka kymmenen värähdyksen kesto ja jakaa se kymmenellä. Näin saadaan tarkka keskiarvo, joka vastaa melko tarkasti yhtä värähdystä. Heilurin tapauksessa värähdystaajuuteen vaikuttavat heilurin pituus ja maan vetovoima mutta eivät juuriakaan heilurin paino tai liikkeen laajuus eli amplitudi. Kitaran kielen värähtelytaajuus eli äänenkorkeus riippuu kielen pituudesta, jännityksestä eli kireydestä ja painosta. Jos kaksi samanlaista esinettä värähtelee samalla taajuudella, niiden sanotaan olevan resonanssissa, tai resonoivan keskenään.

Värähtelevään systeemiin kuuluu yleensä potentiaalienergiaa varastoivia osia (jouset ja materiaalin kimmoisuus), liike-energiaa varastoivia osia (massat ja hitausmomentit) ja vaimennusosia, jotka muuntavat systeemin mekaanista energiaa toiseen muotoon (vaimentimet ja kitka). Värähtelevän systeemin mekaaninen energia koostuu sen potentiaalienergiasta ja liike-energiasta. Värähtelyliikkeen aikana näiden keskinäiset suuruussuhteet vaihtelevat. Vaimennuksen johdosta systeemin mekaaninen energia vähenee ja samalla värähtelyliikkeen amplitudi pienenee jokaisella värähtelyjaksolla paitsi, jos systeemiin tulee ulkopuolelta riittävästi korvaavaa mekaanista energiaa. \7\

#### 4.2 Värähtelyn luokittelu

Mekaanisen systeemin värähtelyt jaetaan ominaisvärähtelyihin ja pakkovärähtelyihin. Kun massasysteemi poikkeutetaan tasapainoasemastaan ja jätetään liikkumaan omin päin, pyrkivät palautusvoimat (kimmovoima, painovoima) tuomaan systeemin takaisin tasapainoasemaan. Tämän se saavuttaa yleensä nolasta poikkeavalla nopeudella, mikä vie systeemin jälleen pois tasapainoasemasta. Tätä yhä uudestaan toistuvaa liikettä sanotaan systeemin ominaisvärähtelyksi. Jos systeemiin vaikuttaa liikkeen tapahtuessa palautusvoimien lisäksi ulkoisia kuormituksia eli pakkovoimia,

sanotaan syntyvää liikettä pakotetuksi liikkeeksi. Pakkovoimat vaihtelevat usein jaksollisesti, jolloin syntyvä liike on myös jaksollista ja sitä kutsutaan pakkovärähtelyksi. Ominais- tai pakkovärähtely voi olla luonteeltaan vaimenematonta, jolloin systeemissä ei ole ulkoista eikä sisäistä kitkaa. Vaimenematon värähtely jatkuu ikuisesti. Todellisuudessa mekaanisen systeemin värähtelyt ovat aina vaimenevia, koska kitkavoimat vähentävät systeemin mekaanista energiaa, joka johtaa värähtelyamplitudien pienenemiseen. Värähtelyanalyysissä vaimennuksen huomioon ottamiseen käytetään likimääräisiä vaimennusmalleja, joita ovat esimerkiksi viskoosin kitkan, coulombisen kitkan ja rakenteellisen vaimennuksen mallit. \7\

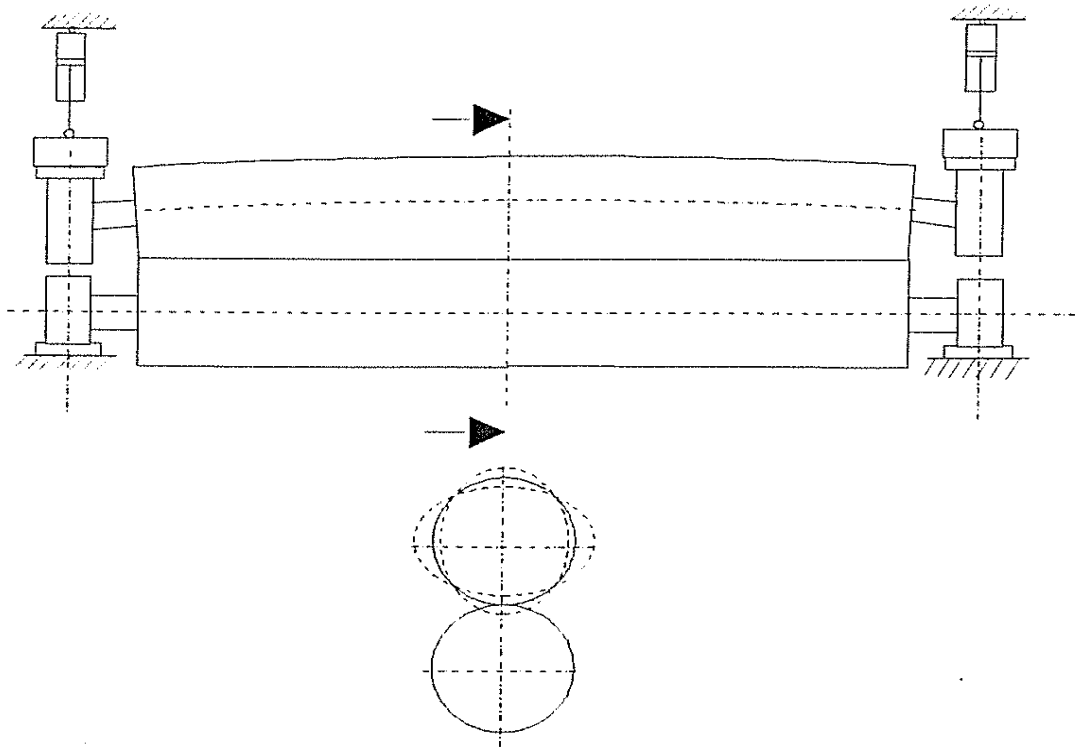
### 4.3 Resonanssi

Kaikilla koneenosilla, mekaanisilla rakenteilla (akselit, telat tai rungot) ja myös paperirullilla on tietty ominaistaajuus. Ominaistaajuusvärähtely eli resonanssi syntyy, kun kohteessa oleva heräte osuu samalle taajuusalueelle. Resonanssissa värähtelysysteemi säilyttää kaiken saamansa energian. Esimerkiksi kun keinutat lasten keinua juuri oikeassa tahdissa eli lisää keinuun energiaa aina, kun keinu on menossa eteenpäin, liike kasvaa. Vauhdin antamisella tulee siis olla sama taajuus kuin keinullakin. Jos vauhdituksessa ei osu oikeaan aikaan, vauhti (energiamäärä) hidastuu. Koska resonanssissa värähtelijä voi saada lisää energiaa joka vaiheessa, sen energia voi lisääntyä huomattavasti. Jos resonanssissa olevaa systeemiä ei saada hallittua, voivat seuraukset olla huomattavat, kuten Tacoma Narrows -sillalle kävi Washingtonin osavaltiossa Yhdysvalloissa vuonna 1940. \8\ Tarkemmin sanottuna resonanssipiste tarkoittaa sitä, että kone tms. jää impulssin jälkeen heilumaan sitä vastaavalla taajuudella. Jos nyt annetaan yhä uusia impulsseja siten, että ne voimistavat heiluntaa, amplitudi voidaan kasvattaa teoriassa rajattoman suureksi. Resonanssissa olevien kappaleiden taajuuksien suhdeluku on kokonaisluku. Taajuuksien ei kuitenkaan tarvitse olla samat. Jos esimerkiksi telan ominaistaajuus on 1 ja siihen vaikuttava, herätteenä toimiva kappale pyörii taajuudella 2, puhutaan monikerrasta, eli heräte syntyy kaksi kertaa kierroksella. Vastaavasti jos herätteenä toimivan kappaleen pyörimistaajuus on 3, heräte syntyy kolmannella monikerralla. Näin värähtelysysteemiin lisätään energiaa kerran, kaksi tai kolme kertaa kierroksella ja resonanssi eli kohteen tärinä on valmis.

#### 4.4 Tyypillisiä värähtelyn syitä paperin valmistuksen alueella

Värähtelytyyppejä ja syitä värähtelyyn on useita. Jossain tapauksissa telojen pinnat on valmistettu polymeeristä, koska pinnan joustavuutta tarvitaan saavuttaakseen pidempiä nippiaikoja paperin pinnan käsittelyyn. Näin telojen päällystetyt pinnat ovat jatkuvassa, dynaamisessa kontaktissa. Värähtelyn lähde voi täten johtua polymeerite-  
lojen reologisesta ominaisuudesta varastoida nippimuutoksen pintakerrokseen, jolloin läpitu-  
neutumisvaikutus voi tulla takaisin viivästyttynä herätteenä. Myös telamekanismin ja nippimekanismin kokoonpano voi aiheuttaa värähtelyn. Telojen suhteellinen liikkuminen voi olla joko kone- tai poikittaissuuntaista. Ratkaisuna konesuuntaiseen taipumaan on, että kuormitusmekanismin jäykkyys tulisi olla moninkertainen verrattuna nippialueen jäykkyyteen. Toisin sanoen häiriötekijöiden yrittäessä liikuttaa teloja konesuunnassa tulisi eliminoida passiivisesti suurilla jäykkysomaisuuksilla, jotka saadaan aikaan hydraulisesti nipin kuormitusmekanismilla. Yleisesti sylinterimäiset telat voivat myös yksinkertaisesti taipua poikittaissuunnassa tai ne voivat saavuttaa elliptisen muodonmuutoksen ja sitä kautta värähdellä. Tähän vaikuttaa myös akselin elastisuus ja päätykannattimet.





#### Telan poikkisuuntainen taipuma ja elliptinen taipuma

Yksi värähtelyn herätteen aiheuttaja voi olla nippikuormitusmekanismin kuormitukseen käytettävä hydraulikkajärjestelmä. Liian nopeasti sulkeutuva tai avautuva venttiili voi aiheuttaa paineiskun ja hydraulijärjestelmä alkaa toimia kuin jousi. Telojen käytöt ja niiden vaihdelaatikot voivat olla yksi herätteen aiheuttaja, jolloin värähtelyn taajuudet voivat sopia vaihdelaatikon hammastukseen. Kasvava käyttöjen vääntömomentti kasvavilla nopeuksilla saa vaihteiden hammaskosketuksen käyttäytymään elastisesti ja aiheuttamaan herätteen. Korkeataajuuksinen värähtely estetään tunkeutumasta teloihin joustavalla akselivälityksellä. Tämä tapa auttaa myös eristämään vääntövärähtelyitä, jotka aiheutuvat sähkömoottorin taajuussäädöstä. \9,10\

## 5. SONOCO ALCORE HYLSYKOEAJO (LIITE 1)

### 5.1 Tausta

PL 21 värähtelyn syytä haetaan kahdella eri koeajolla. Toinen näistä koeajoista käsittelee hylsytoimittaja Sonoco Alcoren hylsykoeajon, jossa tutkitaan mahdollista hylsyjen vaikutusta värähtelyn herätteenä.

Tyypillisiä, hylsyistä johtuvia ongelmia pituusleikkurilla ovat

- ratakatkot
- hylsyjen vaurioituminen liiallisesta istukkakuormasta eli delaminoituminen (halkeaminen)
- hylsyn ja paperirullan pohjan pitenemiseen liittyvät ongelmat
- rullan muodostukseen liittyvät ongelmat
- paperirullan pohjarepeämät eli liputus
- paperirullan ja – radan värähtelyongelmat

### 5.2 Sonoco Alcore Oy

Sonoco Alcore Oy on maailman johtava hylsyjen ja hylsykartongin tuottaja, jolla on 335 toimipaikkaa 35 maassa. Pääomistaja on yhdysvaltalainen Sonoco Corp. Suomessa toimintoihin kuuluu kartonkitehdas sekä neljä hylsytehdasta. Sonoco Alcore Oy toimittaa hylsy- ja pakkauskartonkia, sekä hylsyjä useisiin Euroopan maihin. Pääasiakkaina ovat paperi- ja pakkausteollisuus. Raumalla käytettävä hylsy tehdään Kotkassa, Karhulan hylsytehtaalla. \11\

### 5.3 Hylsyjen valmistus

Hylsyissä käytettävä hylsykartonki valmistetaan kierrätyskuidusta. Hylsykartonki leikataan halutun leveydeksi rulliksi, ko. tapauksessa leveydet ovat 300 mm ja 420

mm. Tämän jälkeen hylsykartonkirullat asennetaan aukirullausyksikköön, josta hylsykartonki saatetaan liimausyksikön läpi hylsykoneelle. Tämän jälkeen hylsyjä kuivataan 2 – 6 vuorokautta riippuen hylsyjen lajista ja koosta, ennen kuin ne ovat valmiina toimitettavaksi asiakkaalle. Hylsyt toimitetaan Rauman paperitehtaalle määrämittaan sahattuina, joko 7400 mm tai 8500 mm. Hylsyt taas sahataan pituusleikurille asiakkaan haluamiin rullaleveyksiin hylsyvarastolla. \12\



Kuvia hylsykoneelta

Hylsyjen ominaisuudet ja vaatimukset ovat

- suoruus (käyryyden mitta)
- pyöreys (epäpyöreiden mitta)
- lujuus (puristus- ja mankelilujuus)
- jäykkyys (kimmomodulin mitta)
- oikea kosteus (toimituskosteus)

Hylsyjen spesifikaatiot eli teknisiin erittelyihin kuuluu (LIITE 2)

- sisä- ja ulkohalkaisija (mm). Tärkeä hyvän istukakontaktin kannalta, vähentää jauhautumisriskiä.
- paino (kg/m)
- toimituskosteus (%)

- puristuslujuus (N/100mm). Tämä mm. käsittää maksimikuormituksen pituusleikkurin painoteloilla.
- istukkakestävyys (ton/100mm). Kuvaa hylsyn rullankantokykyä.
- kimmomoduli (N/mm<sup>2</sup>). Kimmomoduli on materiaaliominaisuus ja indikoi materiaalin jäykkyyttä. Korkeamman kimmomodulin omaava hylsy taipuu ja värähtelee vähemmän kuin alemman kimmomodulin omaava hylsy. Kimmomoduli myös korreloi suoraan kriittisen taajuuden kanssa. Taivutusjäykkyydellä on oleellinen merkitys hylsyn ja loppurullan ominaisvärähtelytaajuuteen ja sitä kautta suurimpaan turvalliseen aukirullausnopeuteen.
- käyryys (mm/m). Vaikuttaa erityisesti rullausvärähtelyihin pituusleikkurilla, kuten myös rullan keskeisyyteen, tiukkuusprofiiliin ja aukirullausvärähtelyihin.
- epäpyöreys (mm)

#### 5.4 Koeajo

Sonoco Alcore mainitsee JR 1000 – pituusleikkurityypillä hylsyihin vaikuttaviksi erityispiirteiksi mm. seuraavaa: kukin paperirulla on omassa asemassaan ja hylsyä kannatellaan rullaustelaa vasten istukoiden avulla hylsyn päistä. Nämä piirteet määrittävät tärkeimmiksi hylsyominaisuuksiksi sisähalkaisijan mittatarkkuuden, riittävän seinämävahvuuden, pituustoleranssin, pienen nauharaon hylsyn pinnassa ja kiinnirullauksen aiheuttamat istukkakuormitukset. \12\

Koeajoon valittiin kolme erityyppistä hylsyä, jolloin saadaan selkeä kuva hylsyjen teknisten ominaisuuksien vaikutuksesta värähtelyn mahdollisena aiheuttajana.



### Koeajohylsyt

#### **V6M 150,2x13,0**

V6M 150,2x13,0 on tavallisin Rauman paperitehtaan käyttämä jumbohylsy. Tätä hylsyyppiä käytetään pituusleikkurilla aina normaaliajotilanteessa. Sen sisähalkaisija on 150,2 mm ja ulkohalkaisija 176,0 mm seinämävahvuuden ollessa 13,0 mm. V6M-hylsy tehdään 300 mm hylsykartongista.

#### **V6M HT 150,2x13,0**

V6M HT 150,2x13,0 on Sonoco Alcoren kehittämä, ns. antibrust-hylsy.

HT-hylsy on pintarakenteeltaan vähemmän kitkainen kuin normaali V6M ja se omaa myös hylsyn venymävastaisen ominaisuuden. Näillä ominaisuuksilla vähennetään liputusongelmaa. Muuten hylsyyypille on haettu patentti (European Patent EP1071556 B1), joten hylsyn lopullista sielunelämää ei kerrottu tavallisille kuolevaisille.

#### **V8M 150,4x13,0**

V8M 150,4x13,0 eroaa edellä mainituista huomattavasti. Se valmistetaan 420 mm hylsykartongista, jolloin hylsykartongin kuidut saadaan suuntautumaan enemmän hylsyn pituussuunnassa kuin 300 mm hylsykartongin. Tämä saa aikaan

paremman kimmomodulin ( $4800 \text{ N/mm}^2$  vs.  $6500 \text{ N/mm}^2$ ) eli V8M-hylsillä on erittäin hyvä radiaali- ja taivutusjäykkyys. (Liite 1)

#### 5.4.1 Käytetyt mittalaitteet

Jokaisesta koeajoon sahatusta hylsystä mitattiin sen suoruuspoikkeama. Suoruus mitattiin Mitutoyo Absolute Digimatic 543–260 B-digitaalisella mittakellolla. Mittakellon näyttötarkkuus on  $0,001 \text{ mm}$  ja tarkkuus  $0,003 \text{ mm}$ . \13\

Hylsyn pituus ennen ja jälkeen rullauksen mitattiin Hultafors PF Klass 2 5m rullamitalalla.

Kiihtyvyyssantureina käytettiin Wilcoxon Research 726T sekä PCB 353B34-mallia olevia antureita. Antureiden herkkyys  $s_{\text{acc}}=100 \text{ mV/g} = 10.19 \text{ mV/m/s}^2$ . \13,14\



Mitutoyo Absolute Digimatic 543–260 B-digitaalinen mittakello

### 5.4.1.1 Kiihtyvyyssanturit

Värähtelyvasteet mitattiin PL21 sisäpuolen 3- ja 5-asemien rullausvarsista kiihtyvyyssantureilla. Kiihtyvyyssantureita oli neljä kappaletta. Ne kiinnitettiin paikoi-  
leen magneetin avulla yksi per rullausvarsi, joten mittauskohteena olivat rullaus-  
varret 3A, 3B, 5A ja 5B.



Kiihtyvyyssanturit rullausvarsilla

Mikä tai millainen sitten on kiihtyvyyssanturi, joka kuitenkin pelaa suurta roolia tässäkin opinnäytetyössä?

Kiihtyvyyssanturin toiminta perustuu fysiikan peruslakiin:

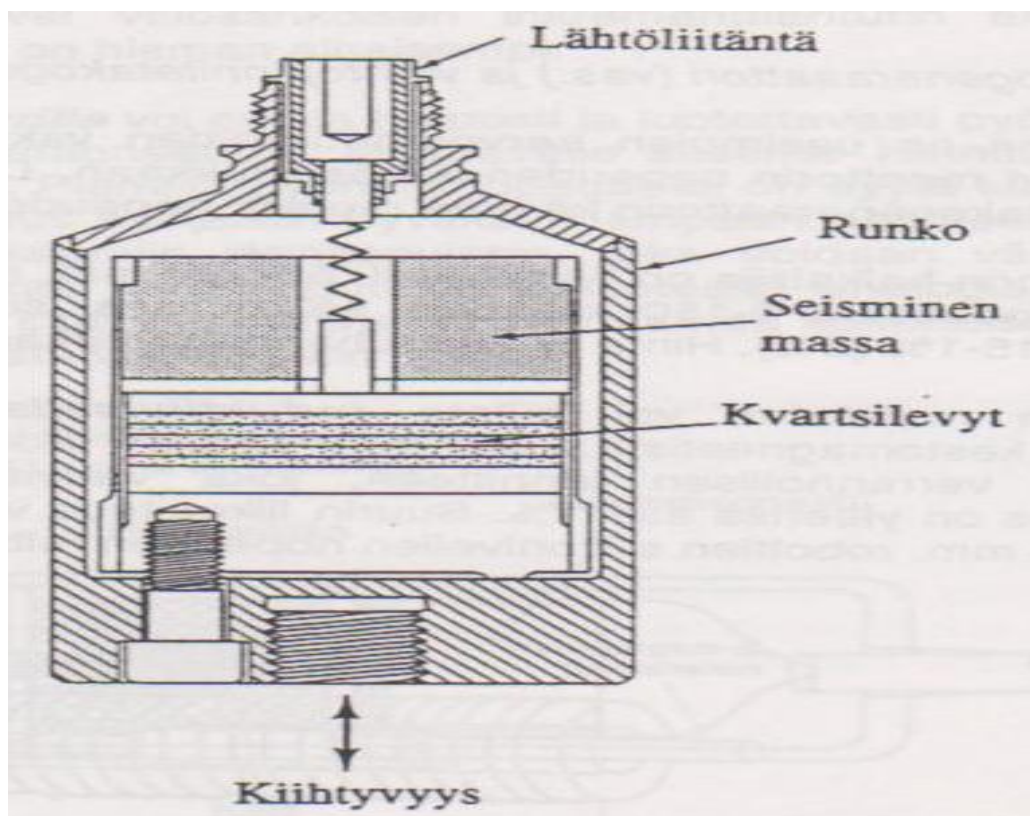
Newtonin II laki:

$$F = ma$$

$$\Rightarrow a = \frac{F}{m}$$

Värähdelleessään massa aiheuttaa kiteeseen varauksen, joka on verrannollinen kiihtyvyyteen. Kiihtyvyyssanturi, nimensä mukaan, mittaa siis kiihtyvyyttä eli toisin sanoen kappaleen nopeuden muutosta tietyssä ajassa. Mittauksissa käytetyt kiihtyvyyssanturit ovat tyypillisiä pietsosähköisiä kiihtyvyyssantureita. Pietsosähköä eli painesähköä hyväksikäyttävän kiihtyvyyssanturin toiminta perustuu tiettyjen materiaalien, kuten mikrokooppisten kvartsirakenteiden, ominaisuuteen synnyttää sähkövaraus, kun materiaalikidettä kuormitetaan mekaanisesti, esim. kiihdytysvoimalla. Anturi koostuu pietsosähköisestä kiteestä, massasta ja jousesta. Kiihtyvyyden kohdistuessa anturin pesään kide puristuu kokoon massan alla. Anturista saadaan näin kiihtyvyyteen verrannollinen heikko

signaali eli jännite. Kun massa esijännitetään jousella, kiihtyvyyksiä voidaan mitata molempiin suuntiin. Näytteenotto tapahtuu lukemalla signaalin arvoja tietyin väliajoin. Näytteenottoväliä merkitään ajalla  $\Delta t$  ja sen käänteisarvo on nimeltään näytteenottotaajuus:  $f = \frac{1}{\Delta t}$ , jonka yksikkö on Hz. Anturiviesti muokataan varauksenvahvistimella ohjaus-järjestelmään sopivaksi. Vahvistin on integroitu anturiin tai on erillinen moduuli. \16\



Kiihtyvyyssanturi

Kiihtyvyyssanturit eivät ole vain värähtelyä tutkivien veikkosten hupia, vaan ko. anturit ovat osa jokapäiväistä elämäämme. Ihmiset, eläimet ja koneet aistivat liikkeensä ja oman asentonsa monin tavoin. Välillisesti näkö ja tunto tukevat mittausta, mutta puhtaimmillaan kysymys on voiman havaitsemisesta. Ihmisellä nämä mittaukset tapahtuvat välikorvassa. Koneet taas mittaavat asentonsa kiihtyvyyssanturilla. Kiihtyvyyssantureita käytetään hyväksi esimerkiksi auton turvatyynyn laukaisemiseen. Anturissa olevien jäykkien jousien johdosta se reagoi ainoastaan suuriin ja nopeisiin liikkeenmuutoksiin, kuten törmäyksiin. Pesukoneissa käytetään kiihtyvyyssantureita. Anturien avulla varmistetaan, että rumpu pyörii tehokkaasti. Anturi sijoitetaan lähelle pesukoneen moottoria ja se



ohjaa moottorin toimintaa siten, että rumpu pyörii nopeudella joka tuottaa mahdollisimman vähän ylimääräistä pesukoneen värinää. Kannettavissa tietokoneissa kiihtyvyyssantureita käytetään suojaamaan kovalevyä siinä tapauksessa, jos kannettava tippuu käyttäjältä. Kiihtyvyyssanturi huomaa putoamisen ja siirtää kovalevyn lukukirjoituspään sekunnin kymmenesosassa turvaan niin, ettei se pääse vahingoittamaan levyn pintaa. Kameroissa kiihtyvyyssantureita käytetään kuvanvakaimena. Anturi on sijoitettu lähelle linssiä ja se tunnistaa pienetkin heilahdukset sivusuunnassa, ylöspäin tai alaspäin. Linssisysteemissä oleva moottori tekee heilahdusta vastaan vastaliikkeen. Nintendo Wiin peliohjaimen kiihtyvyyssanturissa on silikonipaino, jonka paino on vähemmän kuin miljoonasosa grammasta. Paino on kiinnitetty siruun joka lepää mikroskooppisten jousien päällä. Kun ohjainta pidetään paikallaan, paino lepää yhtä suurella etäisyydellä olevien silikonilaattojen päällä. Tällöin painon läpi kulkeva virta lähettää saman määrän virtaa jokaiselle silikonilaatalle. Kun pelaaja liikuttaa ohjainta silikonipaino liikkuu toiselle puolelle, jolloin se lisää virran kulkua lähellä olevien silikonilaattojen kohdalla. Kiihtyvyyssanturi mittaa tapahtuneen jännite-eron ja käyttää sitä määritellesään matkan, jonka paino on kulkenut. Tämä matka ei ole viittä nanometriä suurempi, joka on erittäin lyhyt matka (esim. ihmisen hius on n. 200 nanometriä leveä). Fysiikan peruslaki – voima jaettuna massalla - paljastaa kiihtyvyyden. \17\

#### 5.4.2 Saatujen mittausarvojen laskenta

Mittausarvojen laskenta perustuu ISO-standardiin 3945:1977; Mechanical vibration of large rotating machines with speed range from 10 to 200 rev/s. Mittauspektrit ovat liitteessä 2. Mittauspektrit eivät kerro värähtelytaajuutta mutta näyttävät yleisen värähtelytason ajan funktiona. Spektrien korkeudet korreloivat suoraan värähtelyenergian kanssa. Y-akselilla oleva asteikko on  $0-10 v_{RMS}$  (mm/s).  $v$  on symboli nopeudelle ja RMS (root mean square) tehollisarvo.  $v_{RMS}$  -arvo saadaan laskennan avulla. Kiihtyvyyssanturit antavat jännitelähdön (mV/g) kiihtyvyydellä  $a_{RMS}$ . Nopeus- ja siirtymäspektrit saadaan laskettua kiihtyvyysspektristä. Kunkin jakson spektriviivat lasketaan yhteen seuraavan kaavan mukaan:

$$v_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{a_1}{\omega_1} \right)^2 + \left( \frac{a_2}{\omega_2} \right)^2 + \left( \frac{a_n}{\omega_n} \right)^2 \right]}$$

Kaavassa  $a_1$  on kiihtyvyyden värähtelyamplitudi ja  $\omega_1$  on spektriviivan kulmataajuus. Sähkötekniikan sinimuotoisten signaalien yhteydessä puhutaan usein kulmataajuudesta. Taajuuden  $f$  ja kulmataajuuden  $\omega$  välillä on seuraava riippuvuus:

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

Kulmataajuuden merkitys näkyy siinä, että taajuudeltaan  $f$  olevan virran suuruus noudattaa kaavaa

$$I = I_p \sin \omega t,$$

jossa  $I_p$  on virran huippuarvo ja  $t$  on aika. Nopeuden  $v$  ( $\text{mm/s}_{\text{RMS}}$ ) tehollisvirta-arvo on erittäin käyttökelpoinen mittauss parametri. Kokemukseen perustuen värähtely missä tahansa taajuusalueella 10–1000 Hz on yhtä ankara. Värähtelyn suuruus saadaan laskemalla yhteen kaikki  $v_{\text{RMS}}$ -amplitudit taajuusalueelta 10–1000 Hz yhteen.

Kiihtyvyydsanturit oli kytketty mittauslaitteeseen tehoyksikköjen ja 500 Hz valesignaalisuodattimen (rakennettu Oulun yliopistossa) kautta. Signaali suodatetaan ennen kuin se johdetaan mittalaitteeseen. Analysaattori on rakennettu hyödyntäen DASYlab-ohjelmaa. Tehtäessä spektrin laskentaa FFT:n (Fast Fourier Transform) avulla oletetaan signaalin olevan jatkuva. Laskenta tehdään kuitenkin määrämittaiselle aikatasonäytteelle. Signaalin jatkuvuusoletuksen aiheuttaman ongelman poistamiseksi käytetään painotusikkunaa, jolla näytteen alku- ja loppupään arvot pakotetaan kohti nollaa. Pääsääntöisesti kunnonvalvontamittauksissa käytetään Hanning-ikkunointia. Tällä pyritään pienentämään spektrianalyysin vääristymiä. Näytteenottotaajuus on 2000 Hz ja jaksojen koko on  $2^{11} = 2048$  näytettä eli sekunnin aikana otetaan 2048 kappaletta näytteitä. Tämän jälkeen tehdään tarpeelliset skaalaukset ja FFT-analyysit eli siniaalto muutetaan aikatasosta taajuustasoon. Tämän jälkeen seuraa tarpeelliset laskutoimitukset, jotta saadaan halutut tulokset. \18\

### 5.4.3 Koeajopäivä



Koeajo ja mittaukset meneillään

Koeajo suoritettiin 2.2.2012. Koeajoaika ei ollut kaikkein otollisin, oikeastaan se oli kaikkein huonoin. Euroopan taloustilanne ym. syyt olivat hetkellisesti romahduttaneet PK2:n paperin kysynnän, joten paperikone oli seisokissa jo toista viikkoa. Koneen piti startata 31.1.12, mutta starttia lykättiin erinäisistä syistä lyhyellä varoitusajalla aina 3.2.12 asti. Näin koeajon kannalta parasta PK2:n SC-paperia ei ollut saatavilla, vaan suurten ponnistelujen jälkeen saatiin säästettyä viisi muuttua PK1:n LWC-paperia koeajopäivälle. Myös PK1 oli pysähtynyt 1.2.2012 huoltoseisokkiin. LWC-paperi käyttäytyy hyvinkin erilaisesti pituusleikkurilla kuin SC-paperi, joten lähtökohdat eivät olleet kaikkein parhaimmat. Koeajossa ajettu paperi oli  $65 \text{ g/m}^2$  ja molemmat konerullat oli kiillotettu SC 11.

Ensimmäinen koeajomuutto ajettiin siis PK1:n  $65 \text{ g/m}^2$  paperilla, jonka konerullanumero oli 8201200733. Konerullalla oli paperia n. 43000m, josta saa ajettua kaksi muuttua. 1. muutto ajettiin trimmillä, joka käsitti seuraavat rullaleveydet ja hylsyt sekä niiden suoruden:

2-asema (ulkopuolen ensimmäinen asema): 570 mm

3-asema (sisäpuolen ensimmäinen asema): 3028 mm V6M, (0,27 mm/m)

4-asema (ulkopuolen toinen asema): 900 mm

5-asema (sisäpuolen toinen asema): 3028 mm V6M, (0,27 mm/m)

6-asema (ulkopuolen kolmas asema): 570 mm

PL 21:lle ajettiin ensin nopeudella 600 m/min rullahalkaisijaan 400 mm, jolloin rullien painotelat nousevat automaattisesti ylös. Tämän jälkeen nopeus nostettiin 1500 m/min (joka saavutettiin  $\varnothing$  520 mm), jossa se pidettiin loppuun asti aina rullien saavutettua tilaushalkaisijan 1194 mm. Ajotapahtuma oli rauhallinen eikä värähtelyjä esiintynyt. Värähtelemättömyyteen vaikuttaa myös rullien määrä ja etenkin niiden leveys. Mitä pienempi rulla on leveydeltään, sitä suurempi on sen ominaistuujuus. Tämän selittää kaava

$$f_n = \frac{C}{2 * \pi} * \sqrt{\frac{E * I}{\rho * A * L^4}}$$

jossa C = vakioarvo taulukosta (riippuvainen kappaleen päiden tuennasta)

E = kimmomoduli

I = taivutusjäykkyys

$\rho$  = kappaleen tiheys

A = kappaleen ala

L = kappaleen pituus

Jos pituus (L) puolittuu, kasvaa rullan ominaistuujuus 2,8-kertaiseksi. Esimerkiksi 860 mm leveän rullan ominaistuujuus on verrattuna 3440 mm rullaan miltei kahdeksankertainen.

Toiseen muuttoon tehtiin muutos, jotta saataisiin mahdollisia värähtelyjä paremmin esille. Edellisen muuton pienet rullat (2x570 mm ja 900 mm) päätettiin yhdistää, jotta saatiin värähtelyille otollinen kolmen rullan trimmi. Toisen muuton rullajärjestys ja V6M HT-hylsyt suoruuksineen olivat:

3-asema (sisäpuolen ensimmäinen asema): 3028 mm V6M HT, (0,16 mm/m)

4-asema (ulkopuolen toinen asema): 2040 mm V6M

5-asema (sisäpuolen toinen asema): 3028 mm V6M HT, (0,19 mm/m)

Ajonopeus nostettiin 1500 m/min samalla lailla kuin edellä. Ajotapahtuma oli edelleen rauhallinen eikä värähtelyjä esiintynyt.

Kolmanteen ja loppuihin muuttoihin vaihtui konerulla 8201200734. Konerullan pituus oli n. 71000 m, joten siitä sai ajettu kolme muuttoa. Kuten PK1:n paperille on tyypillistä, yleensä pintamuutto on profiililtaan huonoin profiilivikojen kertaantuessa konerullan pintaa kohden. Profiiliviat vaikuttavat suuresti paperin ajettavuuteen pituusleikkurilla ja näin kävi nytkin radan katketessa rullahalkaisijassa 254 mm. Kolmannesta muutosta tuli siten ns. porsasmuutto. Näin ollen neljäs muutto jouduttiin ajamaan nopeudella 900 m/min jotta paperi yleensäkin saatiin kulkemaan. Tällä nopeudella PL21:llä ei esiinny minkäänlaisia värähtelyjä.

Porsasmuutto ja 4. muutto ajettiin V8M-hylsyillä:

3-asema (sisäpuolen ensimmäinen asema): 3028 mm V8M, (0,19 ja 0,20mm/m)

4-asema (ulkopuolen toinen asema): 2040 mm V6M

5-asema (sisäpuolen toinen asema): 3028 mm V8M, (0,23 ja 0,03mm/m)

Viides muutto ajettiin normaaleilla V6M-hylsyillä.

3-asema (sisäpuolen ensimmäinen asema): 3028 mm V6M, (0,25 mm/m)

4-asema (ulkopuolen toinen asema): 2040 mm V6M

5-asema (sisäpuolen toinen asema): 3028 mm V6M, (0,23 mm/m)

Pituusleikkurin ajonopeudeksi kiihdytettiin suoraan 1500 m/min, jonka se saavutti rullahalkaisijassa 300 mm. Tällä muutolla esiintyi jo huomattavaa värähtelyä. Nopeus jouduttiin pudottamaan rullahalkaisijan ollessa 630 mm 1300 m/min värähtelyjen ja paperin profiilien vuoksi. Halkaisijan ollessa 1000 mm, nopeus pudottamaan 1000 m/min jotta välttyttäisiin rullan pintasiirtymiltä.

Kuudes muutto ajettiin V6M HT-hylsyillä.

3-asema (sisäpuolen ensimmäinen asema): 3028 mm V6M HT, (0,19 mm/m)

4-asema (ulkopuolen toinen asema): 2040 mm V6M

5-asema (sisäpuolen toinen asema): 3028 mm V6M HT, (0,10 mm/m)

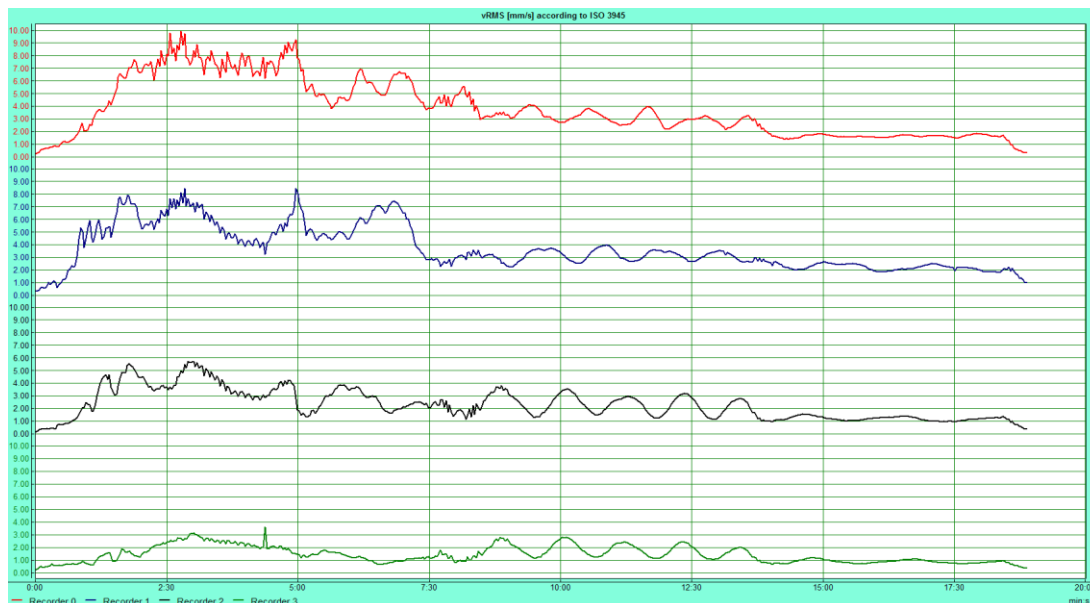
Nopeudeksi nostettiin jälleen suoraan 1500 m/min ja nopeus pidettiin samana muuton loppuun saakka. Värähtelyt olivat huomattavasti pienemmät kuin edellisen muuton aikana.

## 5.5 Saatujen mittaustulosten analysointi

Raportin mukaan hylsyjen käyryys ei toimi värähtelyn herätteenä. Hylsyjen suuruuspoikkeama oli vain 0,3 mm/m. Aikaisemmat mittaukset JR1000-leikkurilla osoittavat, että kun käyryys on yli 0,5 mm/m, niin tällöin hylsyn käyryys indikoi värähtelyyn. Myös hylsyn venymä oli minimitasolla (välillä 0,2-0,5 mm/m). Tyypillisesti 6” hylsy venyy lähemmäs 1 mm/m, joten pieni venymä indikoi pienelle painotelakuormalle ja alhaiselle nippikuormalle.

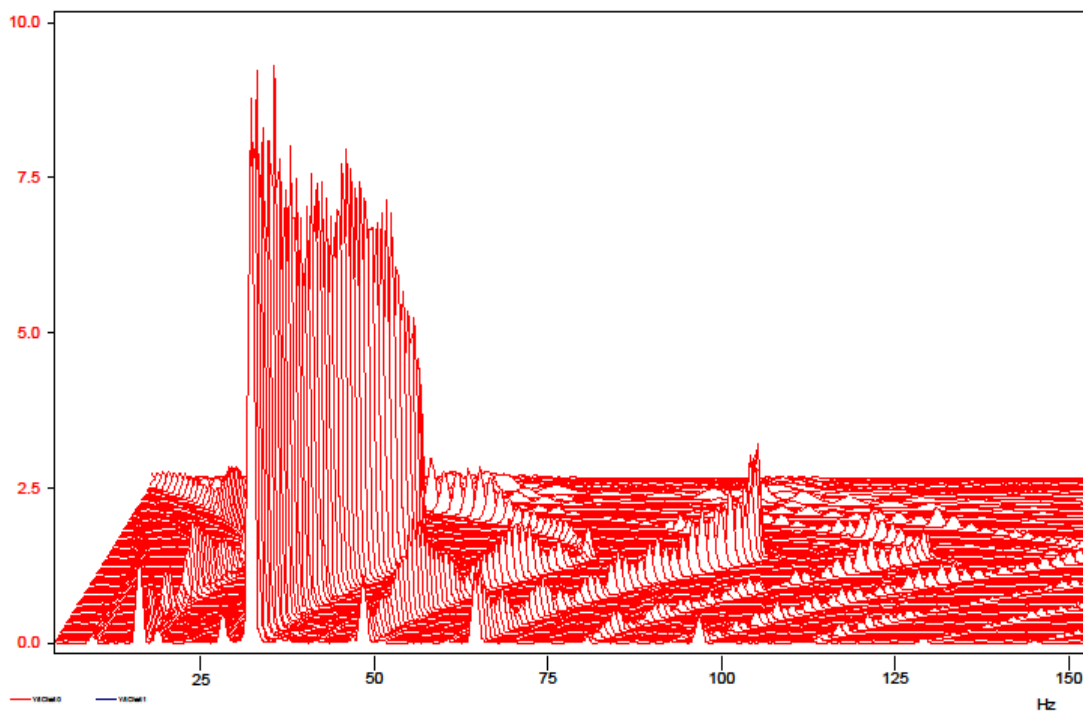
Ensimmäinen muutto V6M-hylsyillä ei ollut vertailukelpoinen erilaisen rullakoon takia. Toiseen muuttoon tehtiin rullakoon muutos edellä mainitulla tavalla ja muutto ajettiin V6M HT-hylsyillä, mutta värähtelytasot olivat alhaiset. Seuraavat kaksi muuttoa V8M-hylsyillä eivät tuottaneet kunnan tuloksia alhaiseen ajonopeuden ja paperin profiilivikojen takia. Viidenteen ja kuudenteen muuttoon päätettiin nostaa nopeus suoraan 1500 m/min. Nämä kaksi muuttoa antoivat parhaat tulokset. Viides muutto ajettiin V6M-hylsyillä. Tällöin esiintyivät testin suurimmat värähtelyt. Kuudes muutto ajettiin V6M HT-hylsyillä samoilla ajoparametreilla kuin edellinen, mutta värähtelytasot olivat noin puolet edellisestä.

Raportin tuloksissa nopeusspektrit raportin liitteessä 1 näyttävät värähtelytasot rullausvarsien 3A, 3B, 5A ja 5B ajan funktiona. Spektrit eivät paljasta värähtelytaajuuksia mutta kertovat siis yleisen värähtelytason värähtelyenergiana.



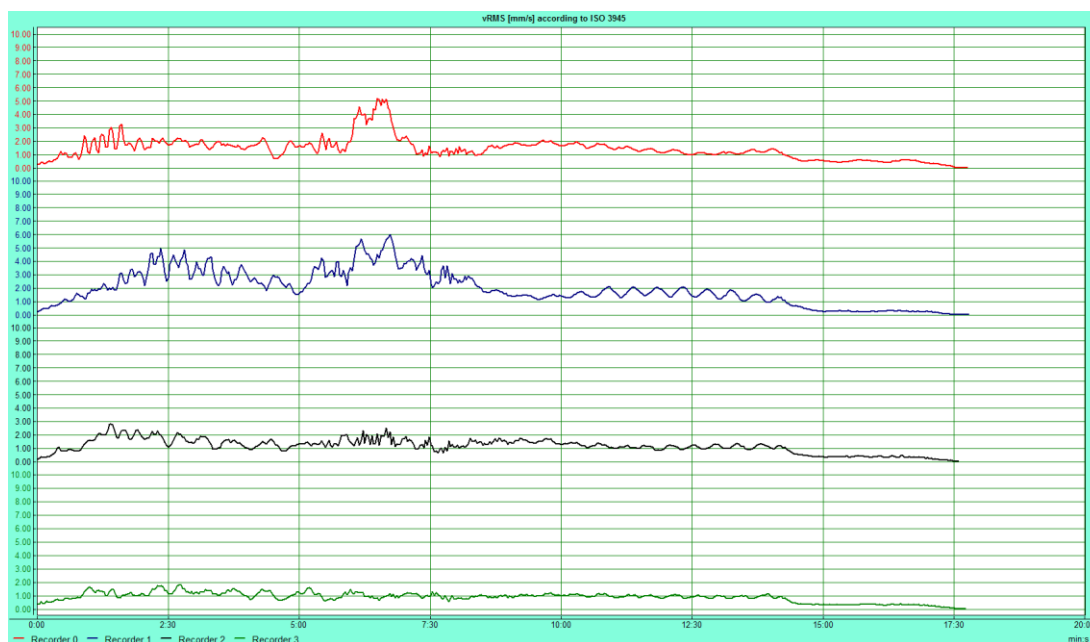
### Viides muutto

Viidennen muuton (V6M-hylsyt) nopeusspektreistä nähdään, että värähtelytaso nousee jyrkästi aina rullan halkaisijaan 500 mm (3300 metriä) asti, jolloin startista on kulunut n. 2:45 minuuttia. Haluttu ajonopeus 1500 m/min on saavutettu rulla-halkaisijassa 286 mm (750 m, 1:30). Painotelat nousevat ylös rullalta halkaisijas-sa 400 mm (1960 m, 2:15). Painotelojen nousu tai tasaisella nopeudella ajo eivät vaikuta värähtelyihin. Värähtelytaso pysyi samana aina halkaisijaan 665 mm (6200 m), jolloin ajonopeus pudotettiin 1300 m/min. Tämän jälkeen värähtelyta-so putosi maltilliseksi. 3A-varren maksimi  $v_{RMS}$ -arvo on 10 mm/s, kun taas 3B-varren arvo on samalla kohtaa 8,5 mm/s<sub>RMS</sub>. Muutenkin 3A-varren arvot ovat kautta mittauksen suuremmat kuin 3B-varren. Tämän vaihtelun voi myös aiheut-taa LWC-paperin profiilit. LWC-paperin reuna-alueet ovat herkkiä suurille pro-filiheitoille ja tässä tapauksessa 3A-varsi on juuri konerullan reuna-alueella. Kun taas verrataan 5-aseman mittaustuloksia, niin 5A-varren tulokset ovat vielä pie-nemmät kuin 3B-varren. 5B-varsi värähtelee mittausten mukaan kaikkein vähi-ten, tulosten ollessa vain alle kolmasosa 3A-varresta. Koska kiihtyvyyssanturit on asennettu rullausvarsiin, voimakkain heräte tulee luonnollisesti rullan pyörimis-taajuudesta. Korkeimmat värähtelytasot rullauksen alussa tapahtuvat rullan pyö-rimistäajuudella. Raportin liitteessä 2 olevat vesiputouskuvaajat antavat tietoa vä-rähtelytaajuuksista ja niiden voimakkuuksista.



3-aseman A-varren vesiputouskuvaaja

3A-varren korkein värähtelytaso on 33 Hz:n kohdalla. 3B-varren vesiputouskuvaajassa 18 Hz:n taajuus antaa korkeimman värähtelytason, mutta molemmissa kuvaajissa on myös nähtävissä muita taajuustasoja. Nämä piikit ovat esim. rullustelan tai painotelojen ominaistajuuksia.



Kuudes muutto



Kuudennen muuton (V6M HT-hylsy) nopeusspektreistä taas nähdään, että  $v_{RMS}$ -arvot eivät nouse lähellekään samoja tasoja kuin edellisen muuton, vaikka ajoparametrit olivat täysin samat. 3A- ja B-varsien tulokset ovat maksimissaan 6mm/s, ollen kauttaaltaan noin puolet edellisestä mittauksesta. Raportin tuloksissa viitataan pienempien värähtelyjen syyksi V6M HT-hylsyjä ja ehdotetaan testattavaksi enemmän ko. hylsyjä käytännössä, myös värähtelyjä vastaan.

Ajetusta kuudesta muutosta ei saatu kuin viimeisestä kahdesta muutosta irti värähtelyyn viittaavaa aineistoa. Ensimmäisen neljän muuton ajotapahtuma joko meni värähtelemättä tai sitten vesittyi paperin huonoon ajettavuuteen.

Mittaustuloksiin tulee siis suhtautua varauksella. Koska koeajossa käytettiin PK1:n LWC-paperia, tulee ottaa huomioon erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat PL21 ajettavuuteen. Esimerkiksi ko. paperin profiilivaihtelut, onko paperi kiillotettu SC11 vai SC12 superkalanterilla tai montako muuttoa konerullaan on ajettu vaikuttavat kaikki suuresti siihen, miten paperi kulkee leikkurilla. Koeajossa ajettu paperi oli kiillotettu SC11:sta, joka jostain syystä kulkee huonommin PL21:llä kuin SC12 paperi. Viimeiset kolme koeajomuuttoa ajettiin kolmen muuton konerullassa, jossa on paperia n. 71000 metriä. Pintamuutto on yleensä huonoin juuri kertaantuneiden profiilivikojen vuoksi. Tälläkin kertaa pintamuutto jouduttiin paperin kerran katkeamisen jälkeen, ajamaan hitaalla nopeudella. Profiiliviat vähenevät mitä vähemmän paperia on raudalla jäljellä ja näin paperin ajettavuus paranee silmissä. Tämä seikka ja raportissa kuudennen muuton pienempi värähtely, joka mainittiin johtuvan V6M HT-hylsyistä, ovat mielestäni ristiriitaisia ja näin ollen tulokseen tulee suhtautua varauksella. Jos viides ja kuudes muutto olisi ajettu eri hylsyjärjestyksessä, olisivatko tulokset olleet kovinkin erilaisia...

## 6. METSON KOEAJO (LIITE 2)

### 6.1 Tausta

Metso otettiin mukaan PL21 värähtelymittauksiin, jotta saadaan tarvittava tieto pituusleikkurin mekaanisen rakenteen värähtelystä. Metson kanssa pidettiin pala-  
veri 27.01.12, jossa kartoitettiin olemassa olevaa ongelma. Näiden tietojen perus-  
teella tehtiin alustava mittausaikataulu mittauskohteineen ja tarvittavine mittaus-  
laitteineen.

### 6.2 Käytetyt mittalaitteet

Värähtelyvasteet mitattiin sisä- ja ulkopuolen rullaustelojen hoitopään (hp) ja  
käyttöpään (kp) laakeripesistä. Käyttöpää-nimitys tulee koneen puolesta, jossa si-  
tä pyörittävä moottori sijaitsee. Hoitopää on vastakkainen puoli.

3-asemasta ja perustuksesta kiihtyvyyssantureilla, samoin rullaustelojen heittomit-  
tauksen kompensointi tehtiin kiihtyvyyssantureilla. Käytettyjen kiihtyvyyssanturei-  
den herkkyys on  $s_{acc1} = 100 \text{ mV/g} = 10.19 \text{ mV/m/s}^2$ , lukuun ottamatta heittomit-  
tauksen kompensointiin käytettyjä antureita, joille herkkyysarvo on  $s_{acc2} = 1000$   
 $\text{mV/g} = 101.94 \text{ mV/m/s}^2$ . Telojen laakeripesien ja aseman vasteiden mittaami-  
seen käytettiin 3 – aksiaalisia kiihtyvyyssantureita IMI 629A11. Perustuksesta  
mittaus tehtiin antureilla IMI 621B41. \19,20\



Aseman 3B-varren vastemittaus, kiihtyvyyssanturi IMI 629A11



Sisäpuolen rullaustelan kp:n laakeripesän vastemittaus,  
kiihtyvyyssanturi IMI 629A11

Heittomittaus rullausteloilta suoritettiin laseretäisyysantureilla Micro Epsilon optoNCDT ILD 1800–10. Anturin mittausetäisyys on  $d_{mid} = 35 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ , resoluutio  $r = 1 \text{ } \mu\text{m}$  taajuuskaistalla  $df = DC \dots 5 \text{ 000 Hz}$ . Tekniikka perustuu säteen kulkuajan mittaamiseen. Laseranturin oman liikkeen poistamiseksi sen liike (värähtely) mitattiin kiihtyvyyssanturilla Endevco 61C13. Mitatut siirtymä- ja kiihtyvyyssignaalit muutetaan samaksi suureeksi (kiihtyvyys integroidaan kahdesti siirtymäksi), jotta kahden eri signaalin erotus voidaan laskea.

Paperirullan pyörimistaajuus mitattiin tahdistusantureilla, jotka mittaavat yhden pulssin/kierros. Rullan pyörimistaajuus mitattiin optisella tahdistusanturilla Sick WL12-2P430 3-aseman käyttöpyörästä ja mitattu pyöriminen muutettiin välityssuhteen avulla rullan pyörimistaajuudeksi.

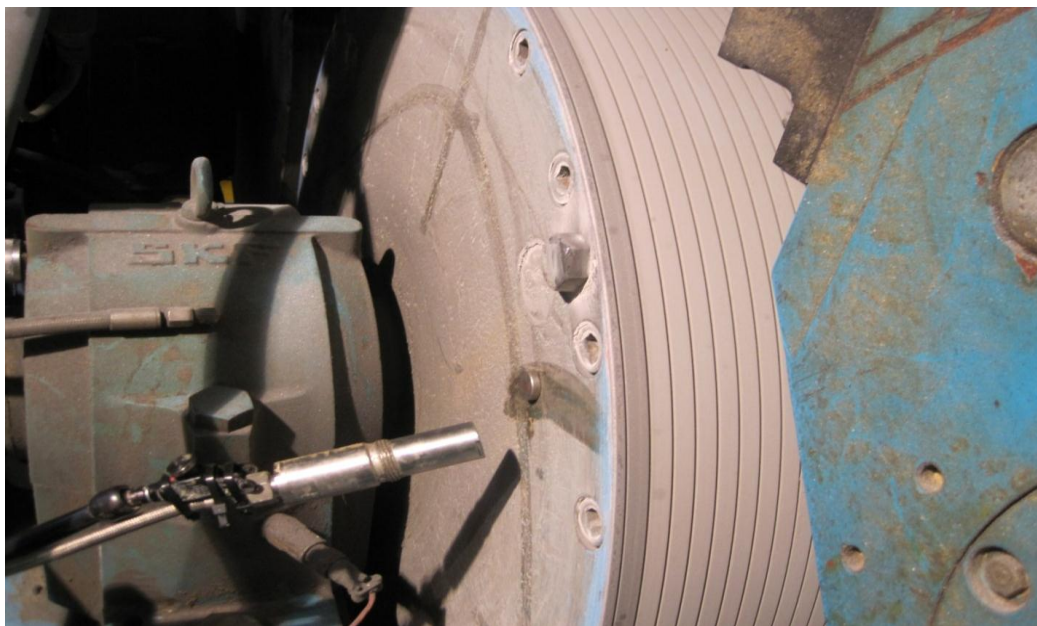


Sisäpuolen rullaustelan heittomittaus, rullan pyörimistaajuusmittaus ja 3-aseman konetason vastemittaus

Sisä- ja ulkopuolen rullausteloille sekä 3-aseman paperirullalle tehtiin iskukokeet, joilla selvitettiin ko. kohteiden ominaistuuksia. Iskukokeet tehtiin käyttäen samoja edellä mainittuja kiihtyvyyssantureita sekä iskuvasaraa. Käytetty vasara oli Kistler 9728A20000, pehmein impaktipää asennettuna. Vasaran herkkyys on  $S_{9728} = 0.20 \text{ mV/N}$ .

Iskuvasaratestauksen tekniikka käyttää hyväkseen sitä tosiasiaa, että kun mekaaninen rakenne on virittynyt yksikköimpulssin vaikutuksesta, rakenne vastaa siihen ominaistuuksillaan. Eri materiaalit aiheuttavat erilaiset ”piikit” (teräs, muovi, kumi), jokaisen aikaansaadessa erilaisen herätteen keston ja erilaisen herätetaajuusalueen.

Telan pyörimistaajuus mitattiin magneettitahdistusanturilla RTS-226 (Sensodec). Sekä sähkömagneettiset että optiset pulssianturit toimivat samalla toimintaperiaatteella. Sisäpuolen rullaustelaan oli kiinnitetty magneettirinkula ja 3-aseman käyttöpyörään heijastintarra. Kun nämä sivuuttavat anturin, siihen vaikuttava magneettikenttä aiheuttaa jännitepulssin tai heijaste havaitaan. Näin saadaan pyörimisnopeuteen verrannollinen pulssitaajuus.



Sisäpuolen rullaustelan pyörimistaajuusmittaus (Sensodec RST-226)

Käytetyt tiedonkeruulaitteet olivat Brüel & Kjaerin 3560C (12 ch) ja 3560D (24 ch) mittalaitteet. Nämä kaksi laitetta on synkronoitu toimimaan yhdessä. Mittaus- ja analysointiohjelma on Brüel & Kjaer:n Pulse 15 (versio 15), jolla voidaan tehdä tarvittavat mittausasetukset, aika- sekä taajuustasoanalyysit.



Tiedonkeruulaitteet, mittaus- ja analysointiohjelmat

Pitkäaikainen tiedonkeruu toteutettiin National Instrumentsin tiedonkeruulaitteella. Tällä VibLog-mittauksella pystytään seuraamaan satunnaisia ja pitkäaikaisia ilmiöitä, kuten värähtelyjä. Data tallennettiin muistitikulle hälytysrajoineen, näin varmistettiin tutkittavien värähtelyjen paikallistaminen. Mittauspisteet pitkäaikaisessa seurannassa olivat kiihtyvyyssantureilla mitattuna ulko- ja sisäpuolen rullaustelojen hp:n ja kp:n laakeripesät sekä sisäpuolen rullaustelan pyörimistäajuus optisella tahdistusanturilla Sick WL12-2P430.

### 6.3 Koeajo

Koeajo suoritettiin 6-8.2.2012. Näinä kolmena päivänä ajettiin yhteensä kahdeksantoista muuttua. Kaikissa muutoissa käytettiin normaalia Sonoco Alcoren V6M 150x13-hylsyä.

#### 6.2.2012

Ajossa 57 g/m<sup>2</sup> paperi

3-asema (sisäpuolen ensimmäinen asema): 3394 mm

4-asema (ulkopuolen toinen asema): 2424 mm

5-asema (sisäpuolen toinen asema): 2424 mm

Ensimmäisenä päivänä ajettiin viisi muuttua, ajonopeus oli välillä 1300 – 1600 m/min.

#### 7.2.2012

Ajossa 51 g/m<sup>2</sup> paperi

3-asema (sisäpuolen ensimmäinen asema): 3360 mm

4-asema (ulkopuolen toinen asema): 2400 mm

5-asema (sisäpuolen toinen asema): 2400 mm

Toisena päivänä ei saatu ajettua kuin kaksi muuttua. Ensin odoteltiin sopivan trimmin omaavan paperin valmistumista ja kun se lopulta saatiin leikkurille, veivät paperin reunarisaviat ajamisen. Mittausten analysoinnissa toisen päivän tulokset jätettiin kokonaan huomioimatta.

## 8.2.2012

Ajossa 50 g/m<sup>2</sup> paperi.

3-asema (sisäpuolen ensimmäinen asema): 3500 mm

4-asema (ulkopuolen toinen asema): 2400 mm

5-asema (sisäpuolen toinen asema): 2400 mm

Kolmantena päivänä ajettiin koeajon parhaat muutot, yhteensä yksitoista muuttoa. Nopeutta nostettiin muutto kerrallaan aina 1200 m/min 1800 m/min asti.

Viimeisellä muutolla mitattiin iskukokeilla 3-aseman rullan ominaistajuus kolmella eri halkaisijalla (500 mm, 750 mm ja 900 mm).

Yllä mainittujen kolmen mittauspäivän lisäksi leikkurille jätettiin VibLog-mittalaite tallentamaan värähtelyjä. Kiihtyvyyssanturit olivat vain molempien rullaustelojen laakeripesissä sekä sisemmän rullaustelan takomittaus. Mittalaite tallensi värähtelyjä kuukauden (8.2–9.3.2012) ajan.

### 6.3.1 Sisemmän (TT) ja ulomman (ET) rullaustelan heittoarvot

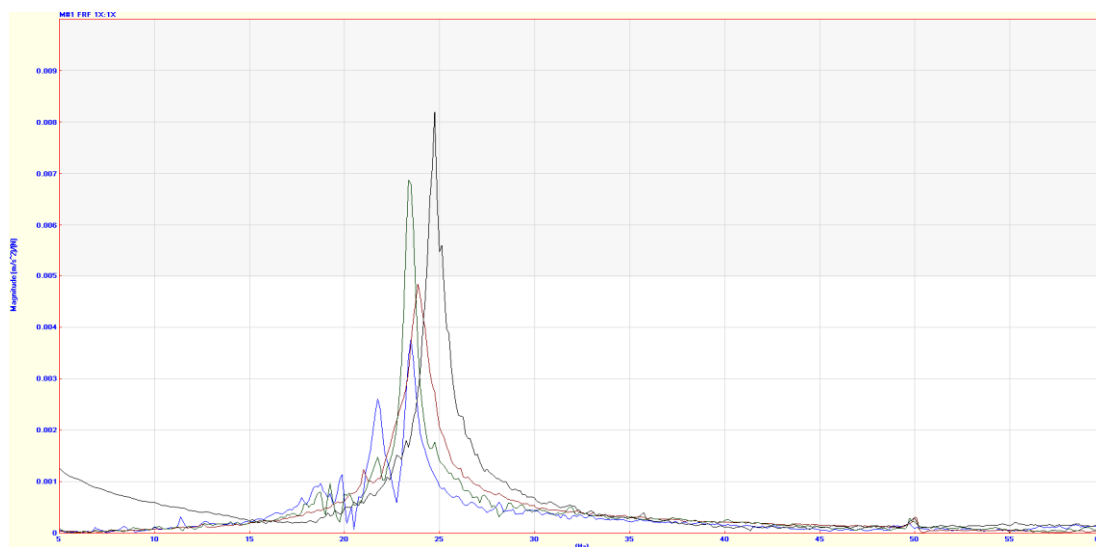
Rullaustelojen liian suuri heitto voi olla omiaan toimimaan herätteenä pituusleikurin värähtelyihin. Mitä vähemmän teloissa on heittoa, sitä vähemmän herätettä systeemiin tulee. Tämän vuoksi määritettiin telojen staattinen ja dynaaminen heitto. Staattinen heitto on telan muotovirhe, joka ei muutu nopeuden suhteen. Staattinen heitto mitattiin hitaalla nopeudella (30 m/min). Dynaaminen heitto on riippuvainen pyörimisnopeudesta, joten pyörimisestä riippuvat voimat aiheuttavat telalle muotovirhettä. Dynaaminen heitto mitattiin tässä tuotannolla ajetulla maksiminopeudella 1800 m/min. Mitatut heittoarvot ovat alle raja-arvon, jona Metso pitää 100µm. Kuitenkin teloilla on selkeät erot.

## Rullaustelojen heittoarvot

|                    |       |             |             |
|--------------------|-------|-------------|-------------|
| Heitto @30 m/min   |       |             |             |
| ET                 |       |             |             |
|                    |       | 1 x n 0 - P | 2 x n 0 - P |
|                    |       | 51.0        | 10.0        |
| TT                 |       |             |             |
|                    |       | 1 x n 0 - P | 2 x n 0 - P |
|                    |       | 35.0        | 10.0        |
| Heitto @1800 m/min |       |             |             |
| ET                 |       |             |             |
| 1 x n              | 2 x n | 0 - P       | 0 - P       |
| 58                 | 69    | 82.0        | 97.6        |
| TT                 |       |             |             |
| 1 x n              | 2 x n | 0 - P       | 0 - P       |
| 19                 | 26    | 26.9        | 36.8        |

## 6.3.2 Ominaistaajuudet iskukokein sekä pyörimistaajuudet

Iskukokeilla selvitettiin 3-aseman rullan sekä sisä- että ulkopuolen rullaustelojen ominaistaajuudet ja sitä kautta resonanssit ongelmataajuusalueella. Iskukokeet rullausteloille tehtiin seisovilla teloilla ilman rullia ja mittauksessa vaste ja heräte annettiin keskelle telaa. Sisäpuolen rullaustelan ominaistaajuudeksi saatiin  $f \approx 24$  Hz.



Rullaustelojen ominaistaajuudet



Ulkopuolen rullaustelan ominaistajuuksi saatiin myös  $f \approx 24$  Hz. (Liite 5, s. 9)  
 Paperirullan mukanaolo muuttaa systeemin dynamiikkaa. Rullan mukanaan tuomien ilmiöiden taajuus muuttuu rullan halkaisijan kasvaessa, jolloin rullan massa ja jäykkyys muuttuvat. Tämä nähdään kaavasta

$$f_n = \frac{C}{2\pi} * \sqrt{\frac{EI}{\delta AL^4}}$$

jossa C = vakioarvo (riippuu tuennasta)

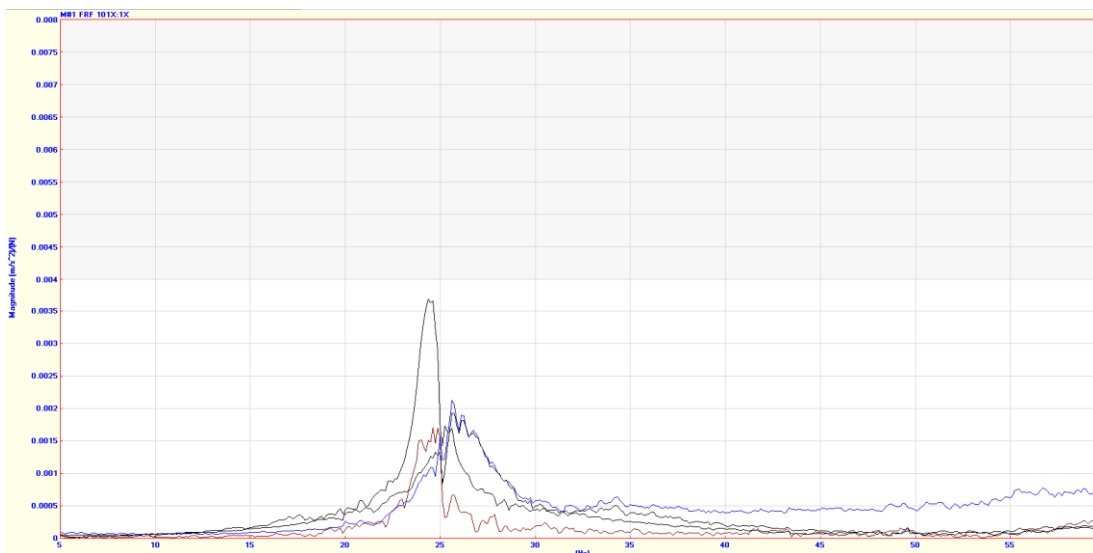
E = kimmomoduli

I = taivutusjäykkyys

$\delta$  = kappaleen tiheys

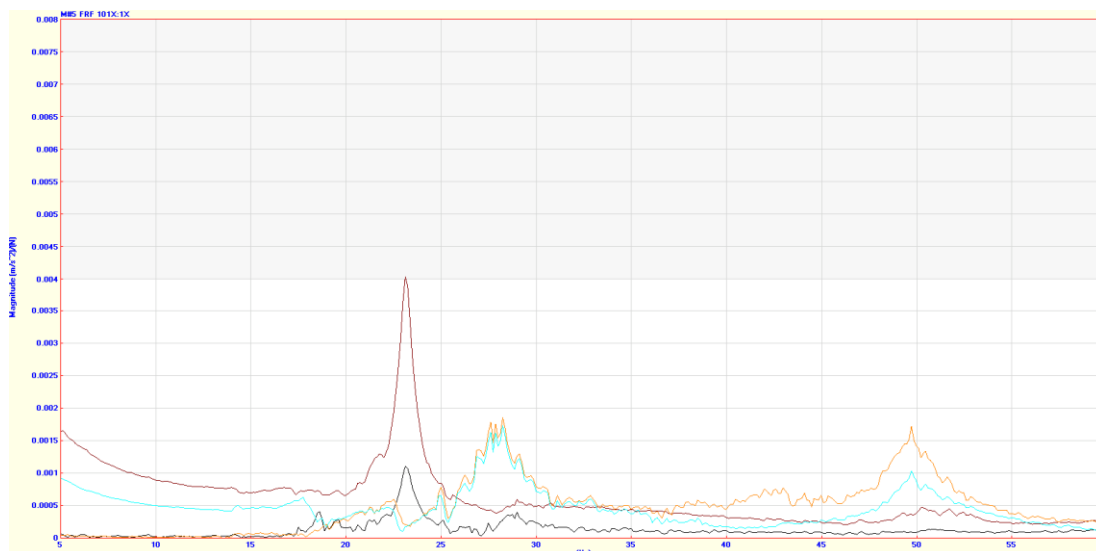
A = ala

L = pituus

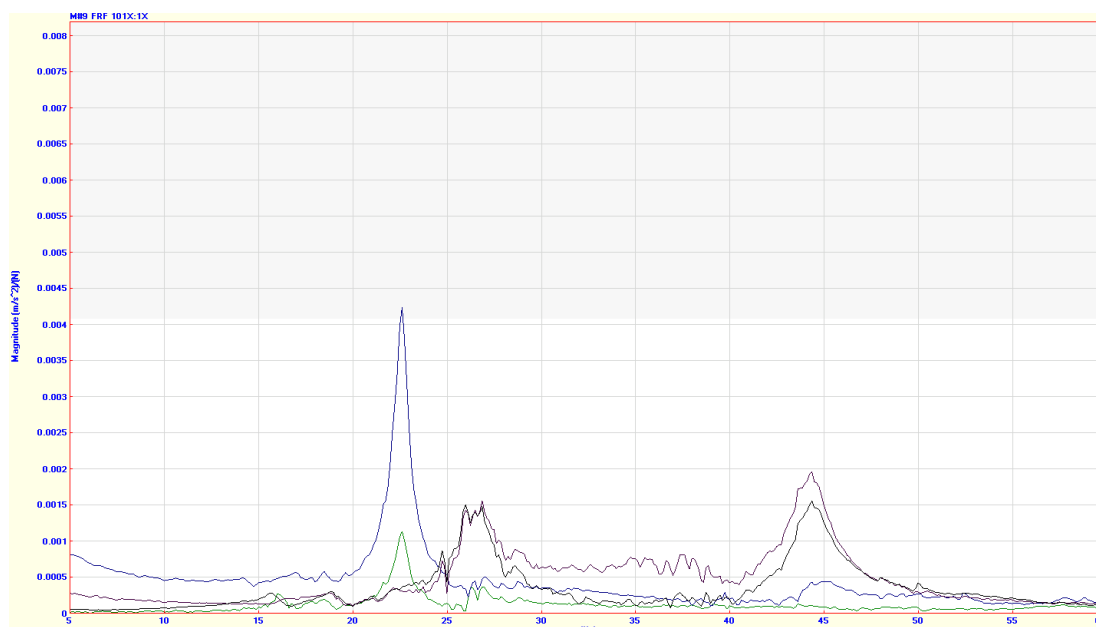


Rullan ominaistajuus 503 mm halkaisijassa on  $f \approx 25$  Hz

Halkaisijalla 762 mm rullaan on jo tullut toinen ominaistajuus edellä mainittujen seikkojen takia.



762 mm ominaistaajuudet ovat  $f \approx 26$  Hz ja  $f \approx 50$  Hz.



Rullan halkaisijalla 897 mm ominaistaajuuksia on edelleen kaksi,  $f \approx 25$  Hz ja  $f \approx 44$  Hz. (Liite 5, s. 9)

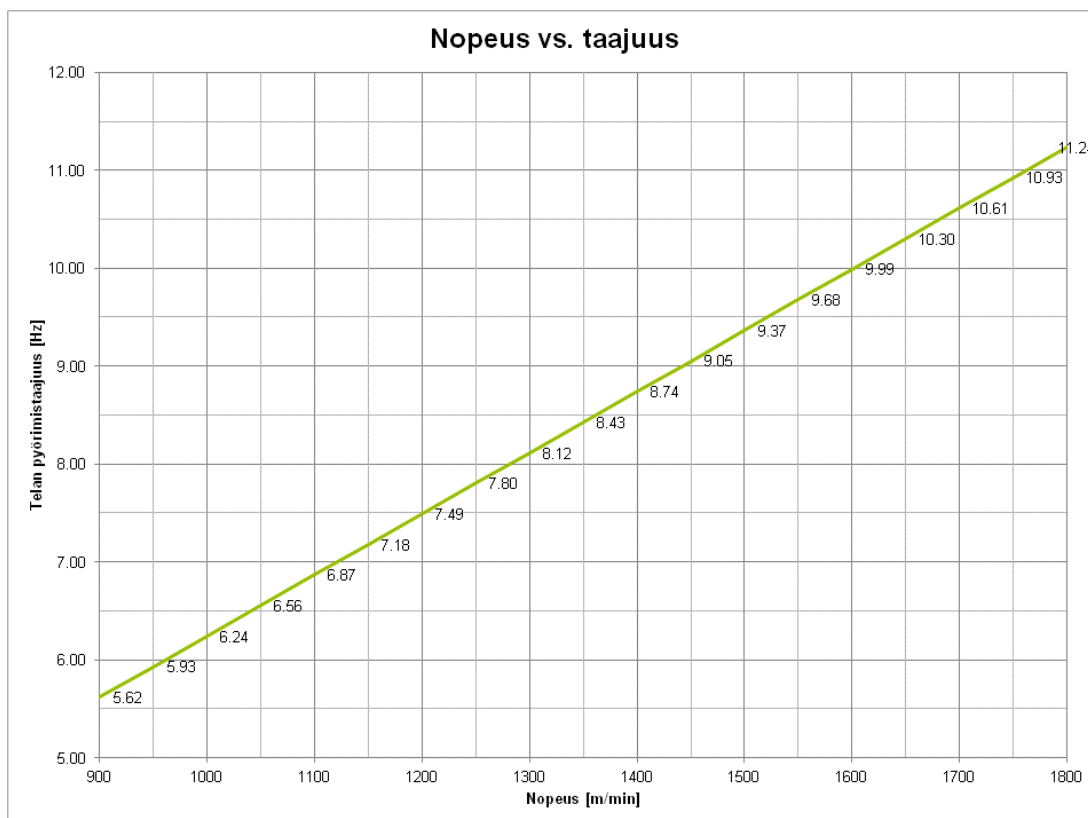
Ominaistaajuuksien lisäksi mittausten analysoinnissa tärkeä arvo on myös telan ja rullan pyörimistaajuus. Pyörimistaajuus lasketaan kaavalla

$$f_p = \frac{v}{\pi D}$$

jossa  $v$  = nopeus (m/s)

$D$  = halkaisija (m)

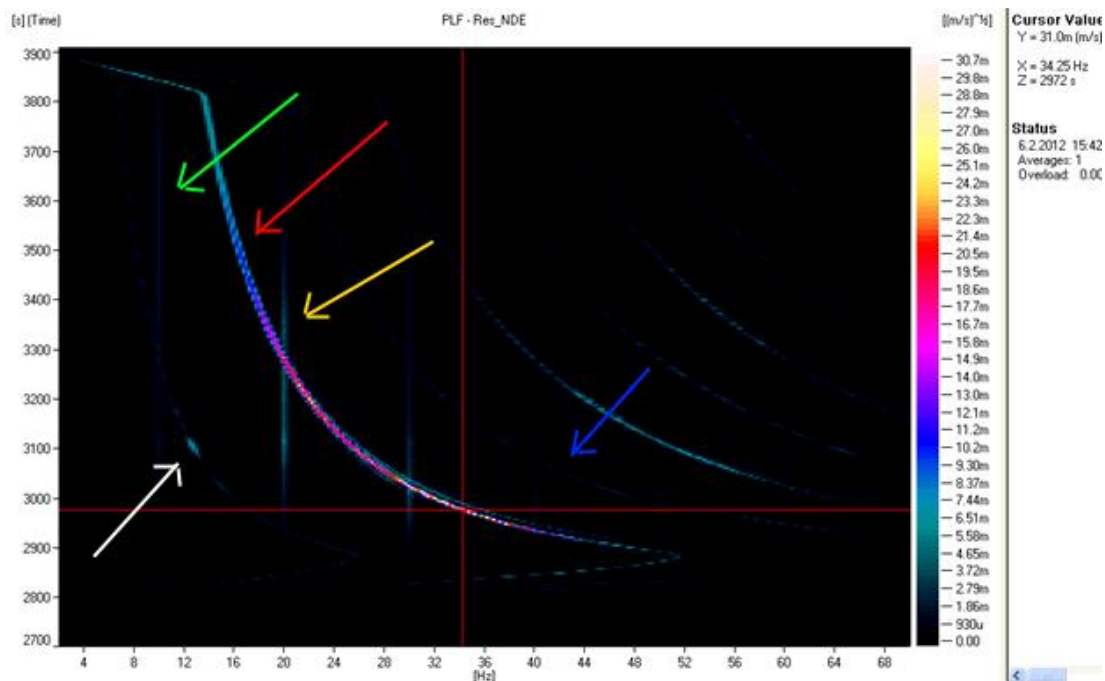
## Ajonopeus suhteessa telan pyörimistaajuuteen



### 6.3.3 Mittaustulokset

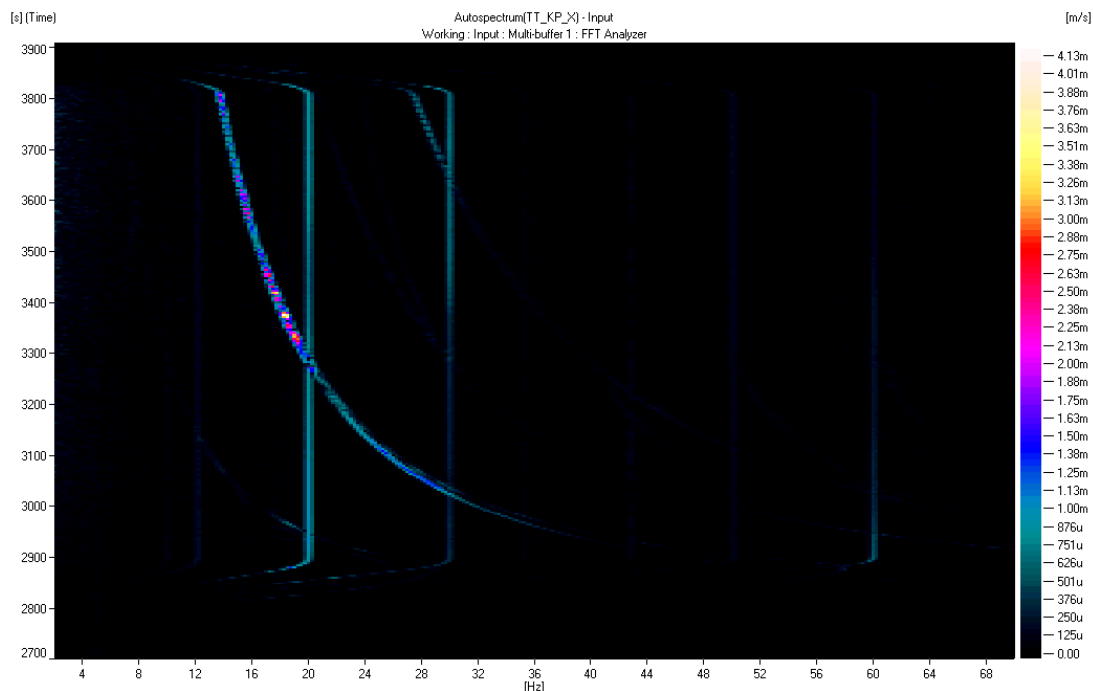
Koeajon aikana mitattiin yhteensä kahdeksantoista muuttoa, joista raporttiin tarkempaa tarkastelua varten esitettiin tulokset neljästä muutosta. Mittaustuloksien kuvaajissa vasemmanpuoleisella Y-akselilla on aika sekunneissa (s), X-akselilla taajuus (Hz) ja oikeanpuoleisella Y-akselilla esitetään värähtelynopeus ( $\text{mm/s}_{\text{RMS}}$ ) värimuutoksina.

## 6.3.3.1 6.2.2012; IV muutto

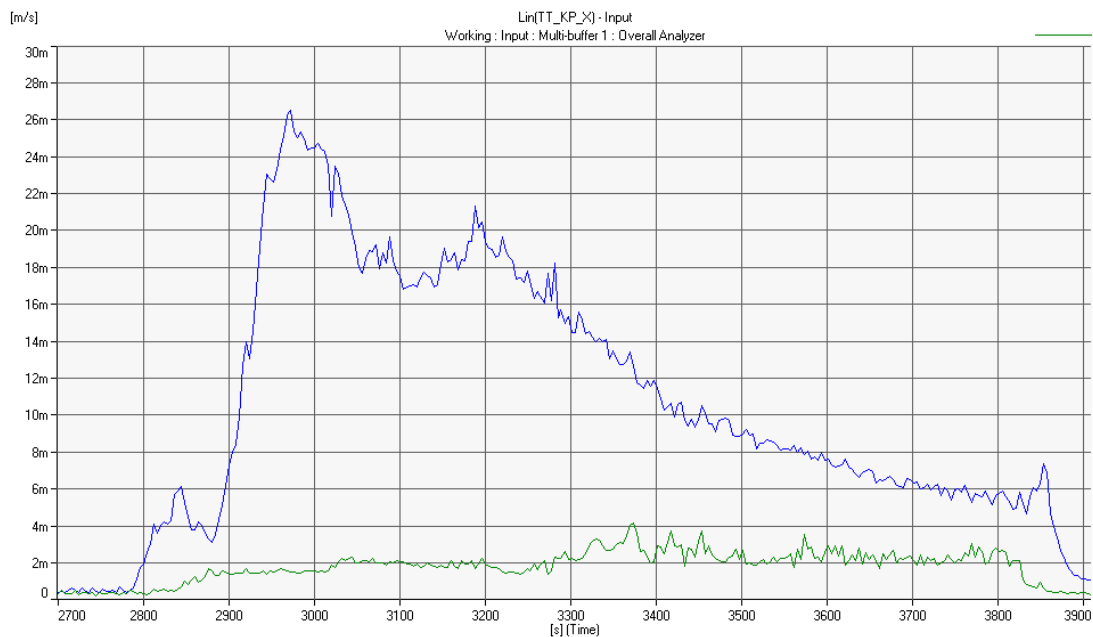


## Rullauspään värähtely

Pituusleikkurin nopeus on 1600 m/min ja  $57 \text{ g/m}^2$ . Kuvassa rullan yksinkertainen pyörimistaajuus näkyy valkoisen nuolen osoittamana. Rullan toinen monikerta taas punaisen nuolen osoittamana. Kolmas monikerta ja sininen nuoli. Pystyviivat kuvaavat sisemmän rullaustelan pyörimistaajuutta. Ensimmäinen pystyviiva (vihreä) on telan yksinkertainen pyörimistaajuus, toinen (keltainen) on telan toinen monikerta jne. Voimakkainta värähtelyä on rullauspäässä rullan toisella monikerrolla, taajuudella 34,25 Hz ja värähtelynopeus on 31 mm/s<sub>RMS</sub>. Värähtely alkaa voimistua halkaisijan n. 450 mm (3500 metriä) jälkeen. Kuvassa punainen ristikko merkkää suurinta värähtelykohtaa (halk. 500mm, 4300 m), joka on 4:32 rullausten alkamisesta.



Sisemmän rullaustelan kp:n laakeripesän vaste. Kun rullan toinen monikerta osuu telan toisen monikerran kanssa yhteen, nähdään resonanssin vaikutus eli värähtely voimistuu. Sama nähdään alla olevasta kuvasta.



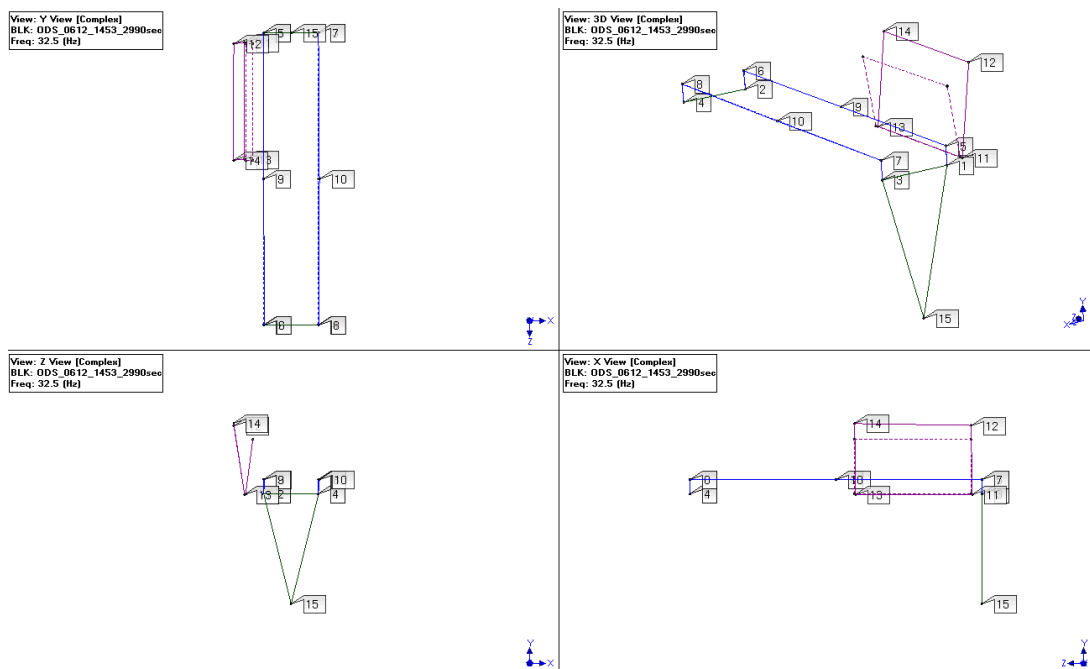
Sininen: rullauspään nopeusspektri  $v_{RMS}$

Vihreä: sisemmän rullaustelan laakeripesän vaste  $v_{RMS}$

Sininen käyrä merkkää rullauspään värähtelyn voimakkuutta ( $v_{RMS}$ ), spektrin korkeushan korreloi suoraan värähtelyenergian kanssa.

Tuotannon aikaisista vastemittauksista laskettiin rakenteen ODS- eli pakkovärähtelymuodot (Operation Deflection Shape). Rakenteesta yksi vastepiste valittiin

referenssipisteeksi eli ko. piste pysyy ”paikallaan”. Näissä ODS-muodoissa referenssipiste on ulomman rullaustelan hp:n laakeripesän Z-suunta (piste 7). Muut pisteet ovat ulomman ja sisemmän rullaustelan hp ja kp laakeripesät (5-8) sekä 3-aseman A- ja B-varren rullauspäät (12, 14) ja ko. varsien konetason pisteet (11, 13). Piste 15 on kellaritason perustuksen vastemittaus. Pisteissä 1-4 ei ole mittausta vaan ne ovat mukana havainnollistamassa tapahtumaa. ODS-muotojen animaatioissa nähdään 3-asema sekä molemmat rullaustelat Y-suunnasta (päältä), Z-suunnasta (sivulta), X-suunnasta (takaa) ja 3D-kuvana. Animaatiot antavat selkeän kuvan ko. mittaustapahtumasta.



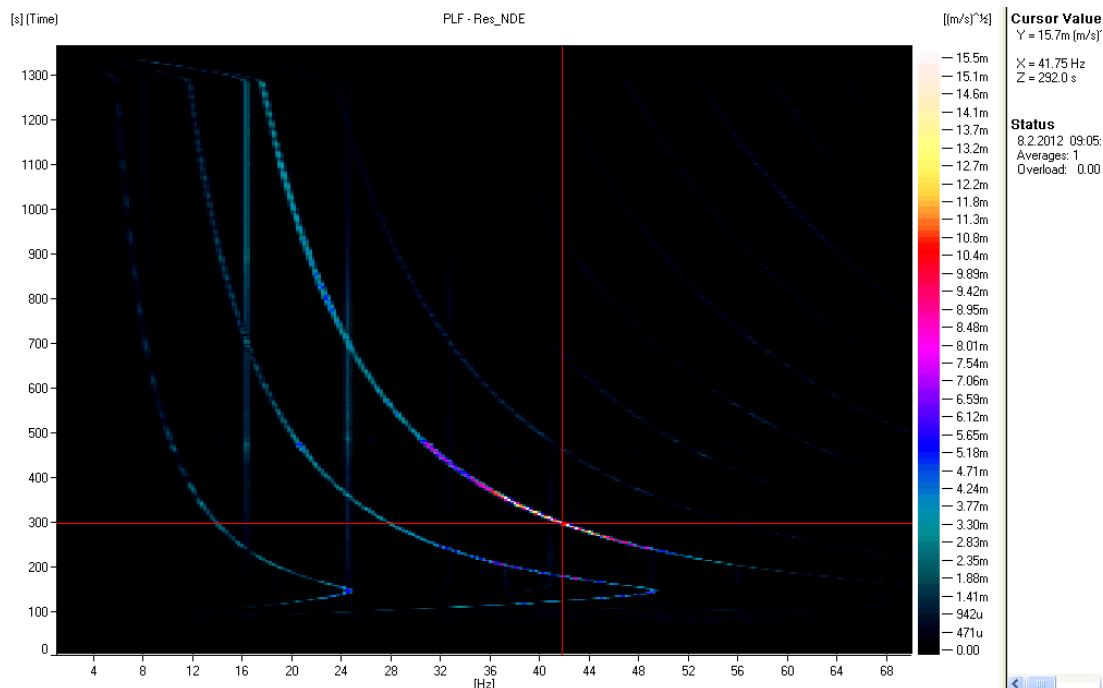
ODS-muoto taajuudella 32,50 Hz eli samalta kohtaa kuin yllä olevien kuvaajien mukaan ovat suurimmat värähtelyt.

ODS\_32-5\_Hz.wmv

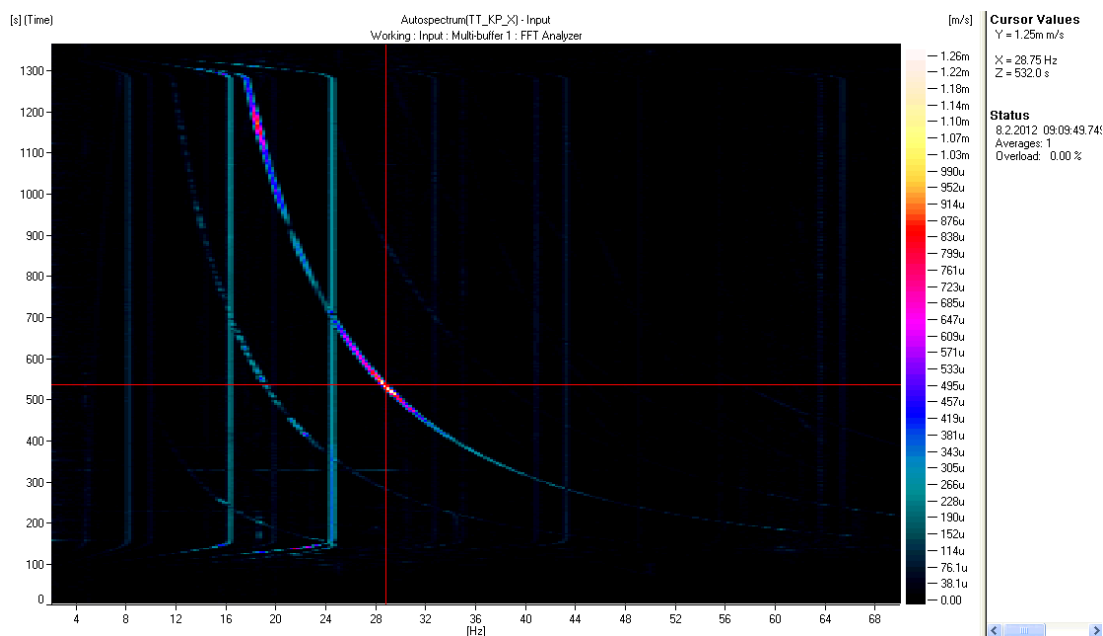
### 6.3.3.2 8.2.12; II muutto

Kolmannen mittauspäivän II-muutto ajettiin nopeudella 1300 m/min ja lajina oli  $50 \text{ g/m}^2$ .

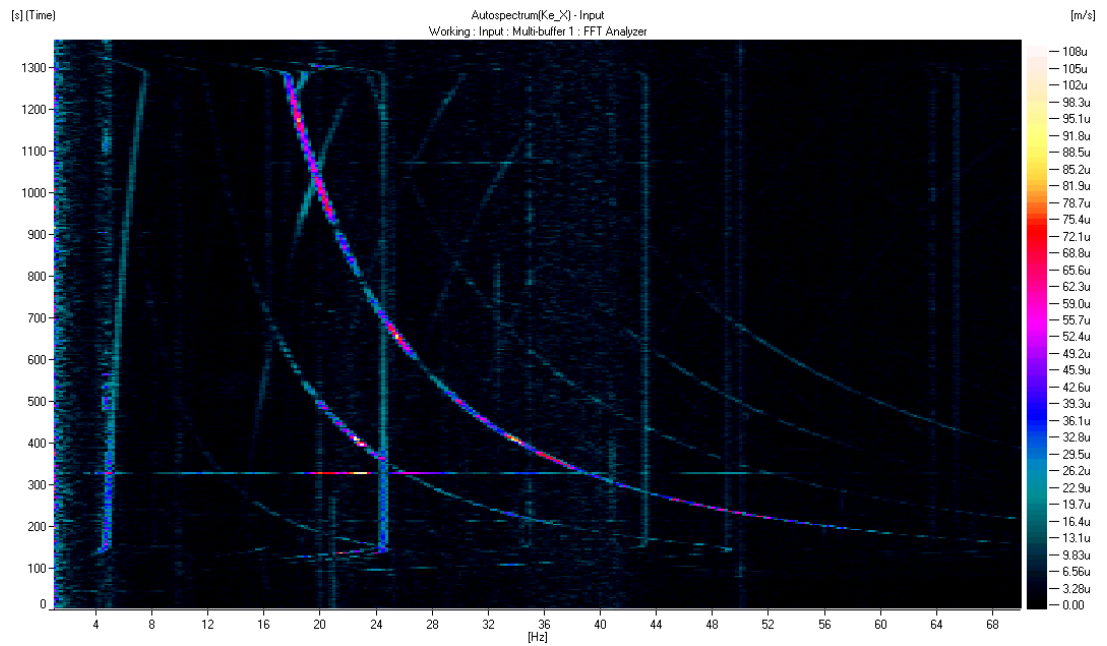
Voimakkain värähtely on 3-aseman rullauspäässä, mutta vasta rullan kolmannella monikerralla. Rullan halkaisija on sama kuin edellä, 500 mm. Vastetaso on puolet pienempi kuin edellä.



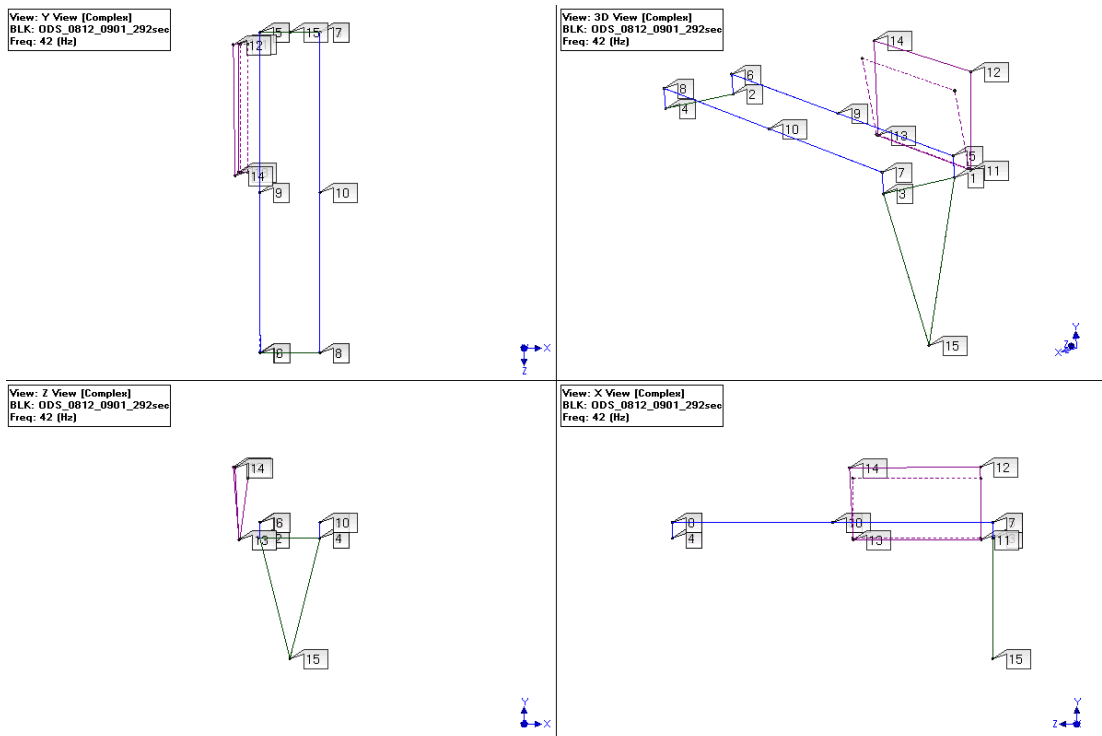
Rullauspään värähtely. Ristikko on rullan halkaisijassa 500 mm (41,75 Hz, 15,7 mm/s<sub>RMS</sub>, 4700 m, 4:52), värähtely alkaa voimistua 430 mm (3500 m) kohdalla.



Rullaustelan kp:n laakeripesän vaste X-suunnassa. Kuvaajassa näkyy selkeästi rullan kolmannen monikerran vaste. Teloilla värähtely näkyy myöhemmin, kun ko. monikerran taajuus pyyhkäisee resonanssin yli matalammalla taajuudella. Ristikko on rullan halkaisijassa 725 mm (9900 m, 8:52).



Leikkurin kellaritason mittaussvaste X-suunnassa. Rullan kolmannen monikerran vaste näkyy perustuksissakin.

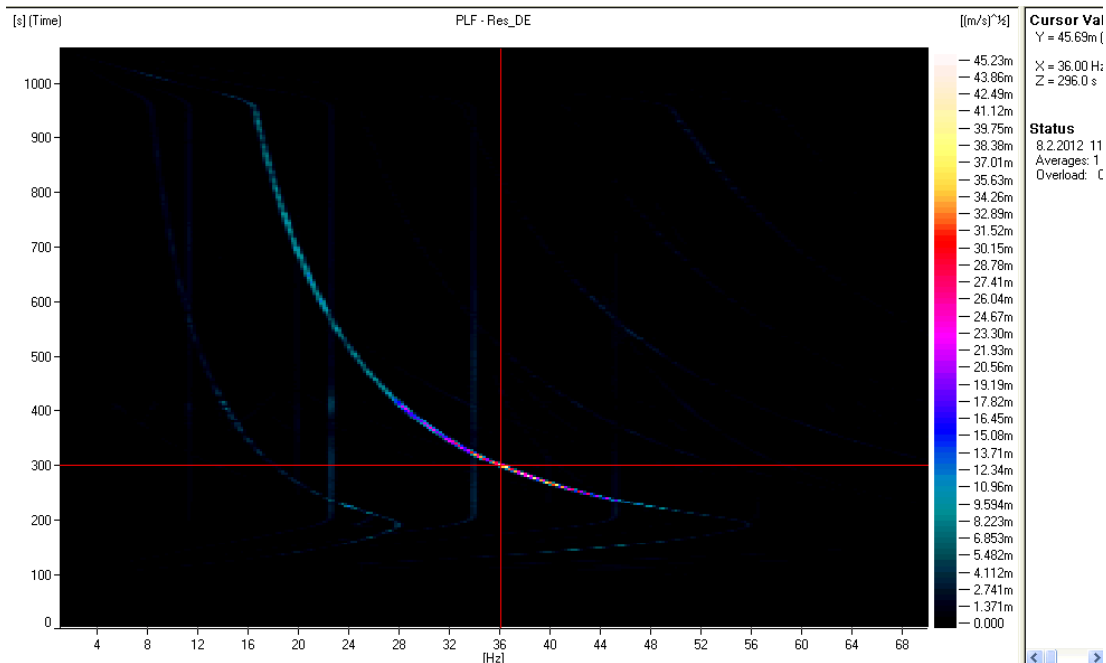


ODS-muoto taajuudella 42,00 Hz. Muoto on rullan värähtelyä  
ODS\_42\_Hz.wmv

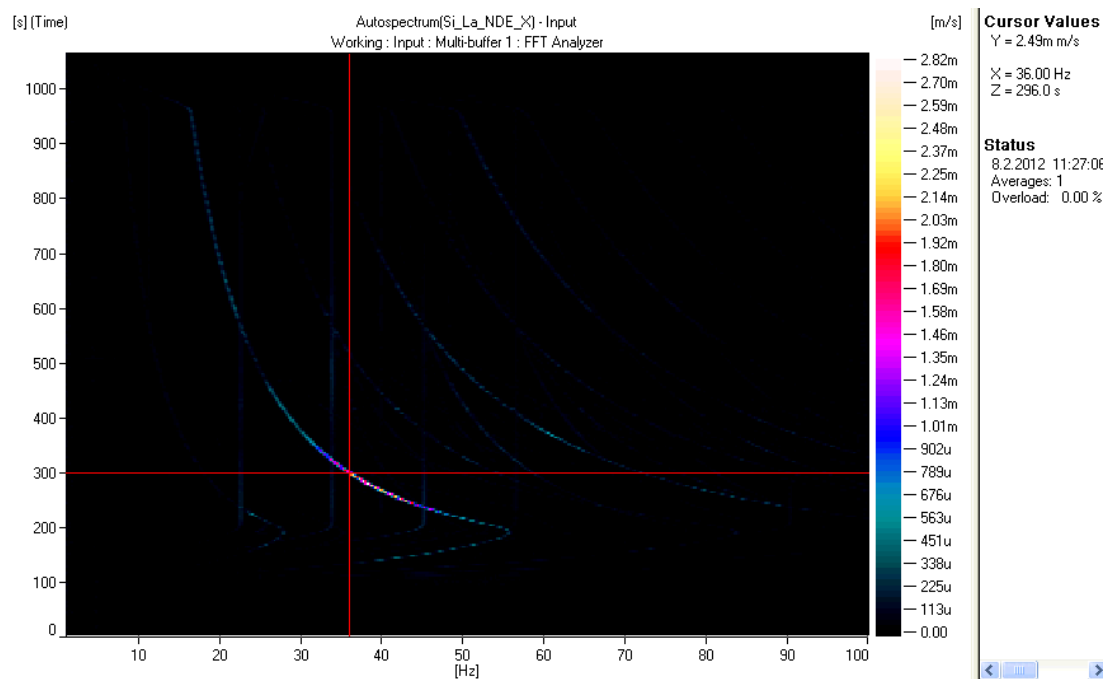


## 6.3.3.3 8.2.12; VI muutto

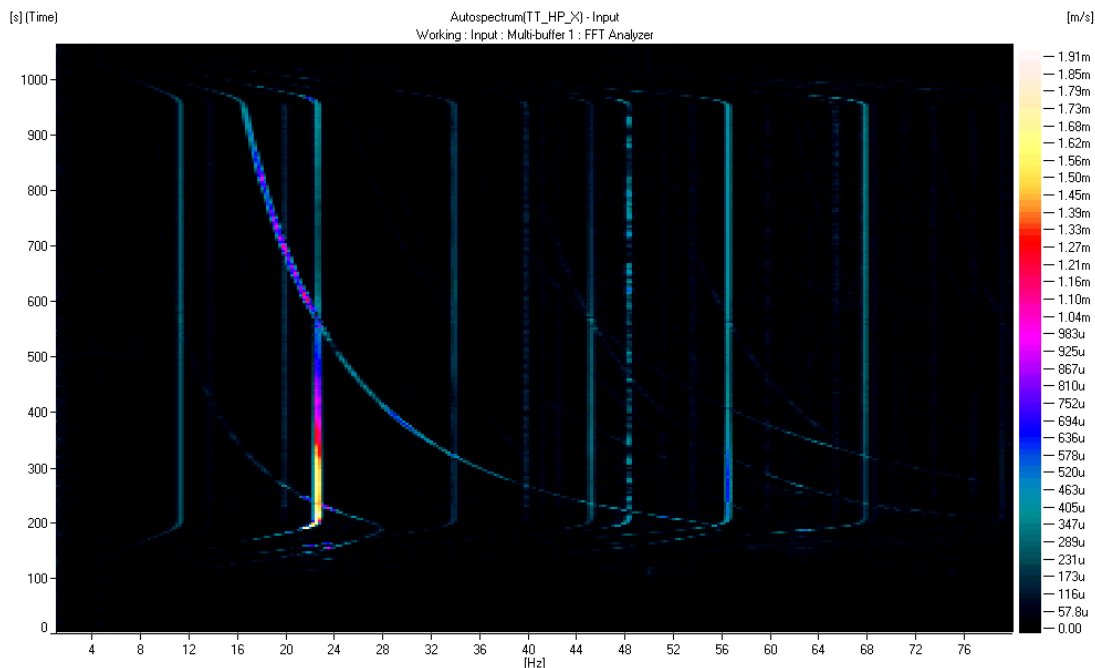
Saman päivän kuudennen muuton nopeus oli 1800 m/min. Edelleen voimakkain värähtely on rullauspäässä, tällä kertaa rullan toisella monikerralla.



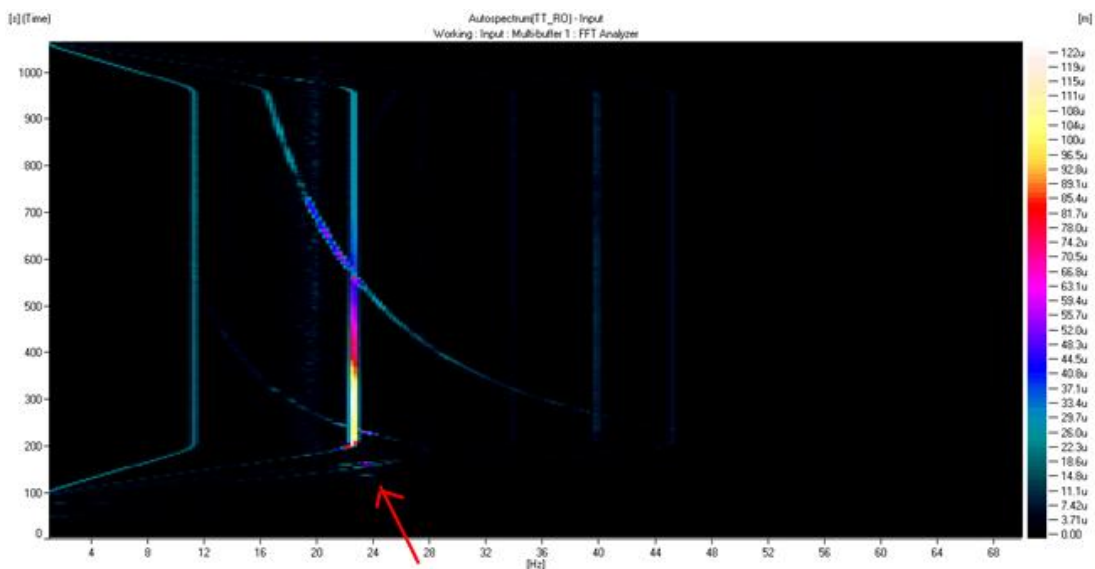
Rullauspään värähtely. Värähtely on voimakkainta rullan toisella monikerralla, halkaisijassa 535 mm (36,00 Hz, 45,7 mm/s<sub>RMS</sub>, 5400 m, 4:56) ja alkaa, jälleen, n. halkaisijan 430 mm (3500 m) kohdalta.



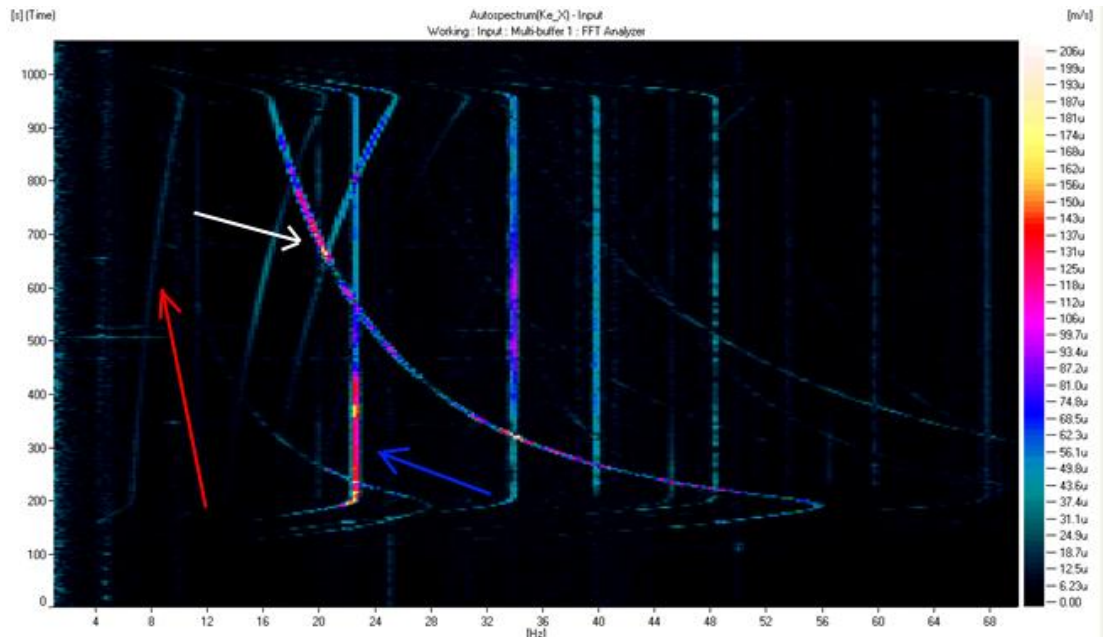
3-aseman konetasen vaste. Konetasolta nähdään saman rullan toinen monikerta (36,00 Hz, 2,49 mm/s<sub>RMS</sub>).



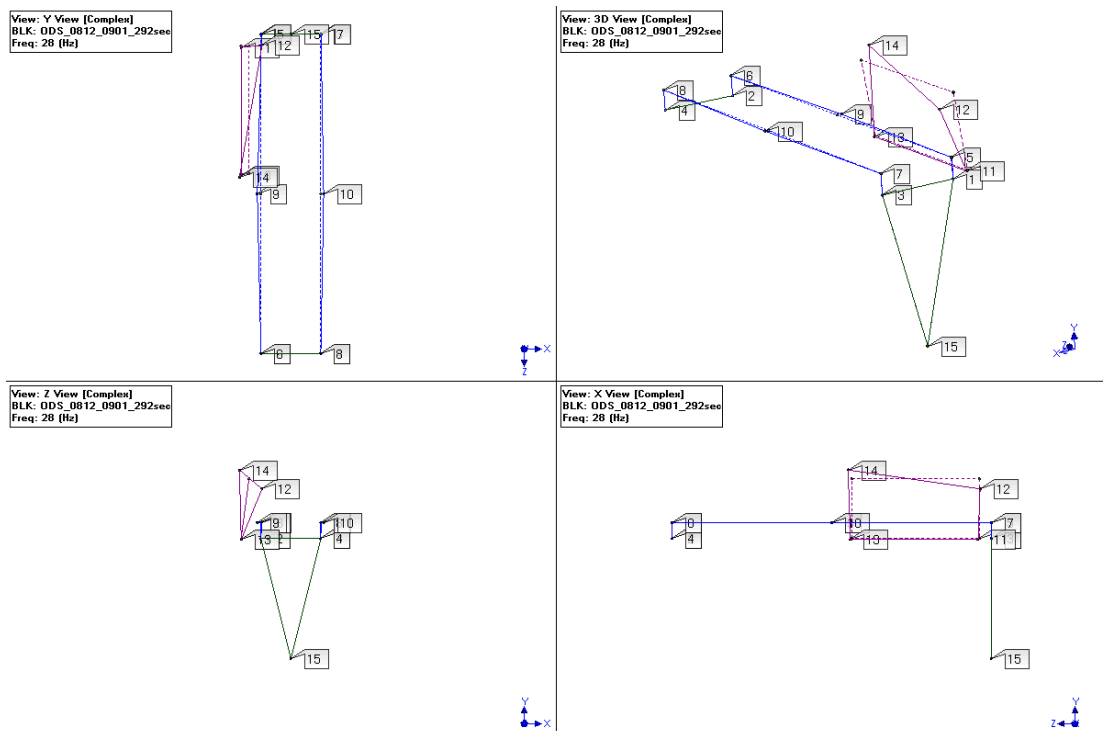
Sisäpuolen rullaustelan hp:n laakeripesän vaste. Telalla näkyy sen toinen monikerta. Rullan halkaisijan kasvaessa heräte ”siirtyy” pois telan ominaistaajuuden kohdalta ja tällöin telan vaste laskee, joten telassa itsessään ei ole soikeutta. Kuvasta näkyy myös resonanssikohta, kun rullan ja telan toinen monikerta kohtaavat toistamiseen.



Sisäpuolen rullaustelan heitto. Kuvassa on sama taajuuskomponentti kuin edellä olevassa kuvassa eli telan toinen monikerta. Nuolen kohdalla näkyy jo alkukiihdytyksessä rullaan syntyvä monikerran komponentti. Halkaisija on tällöin vasta 190 mm eli 680 metriä.



Kellaritason vaste. Kuvaajissa näkyy selvästi sekä rullan (valkoinen) että telan (sininen) herätteet. Tässä näkyy myös tampurin heräte (punainen).



ODS – muoto taajuudella 28.00 Hz.

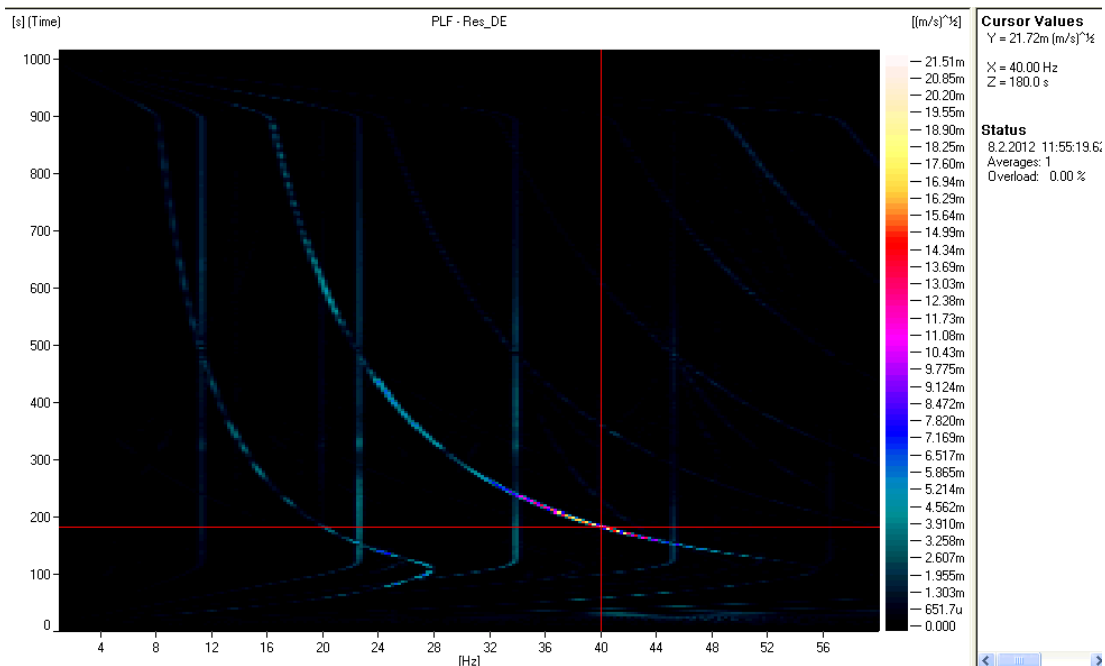
ODS\_28\_Hz.wmv Muoto on pääosin rullan värähtelyä.

ODS\_16-25\_Hz.wmv Muodossa telojen liikettä rullan lisäksi.

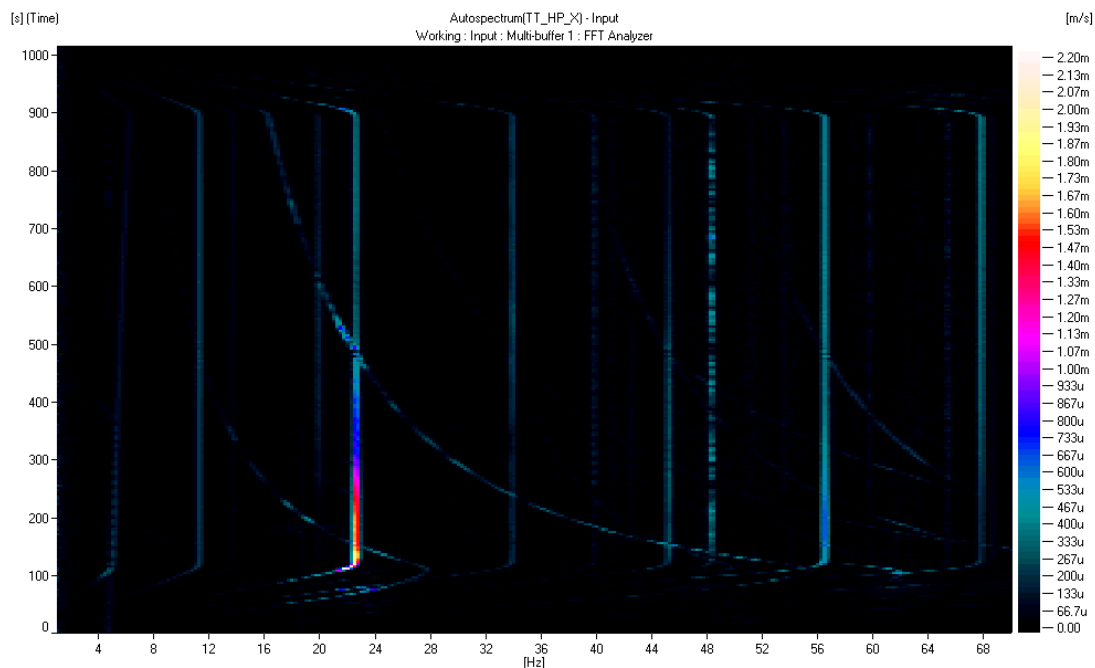
ODS\_38-25\_Hz.wmv Muodossa teloilla liikettä rullan lisäksi.

## 6.3.3.4 8.2.12; VII muutto

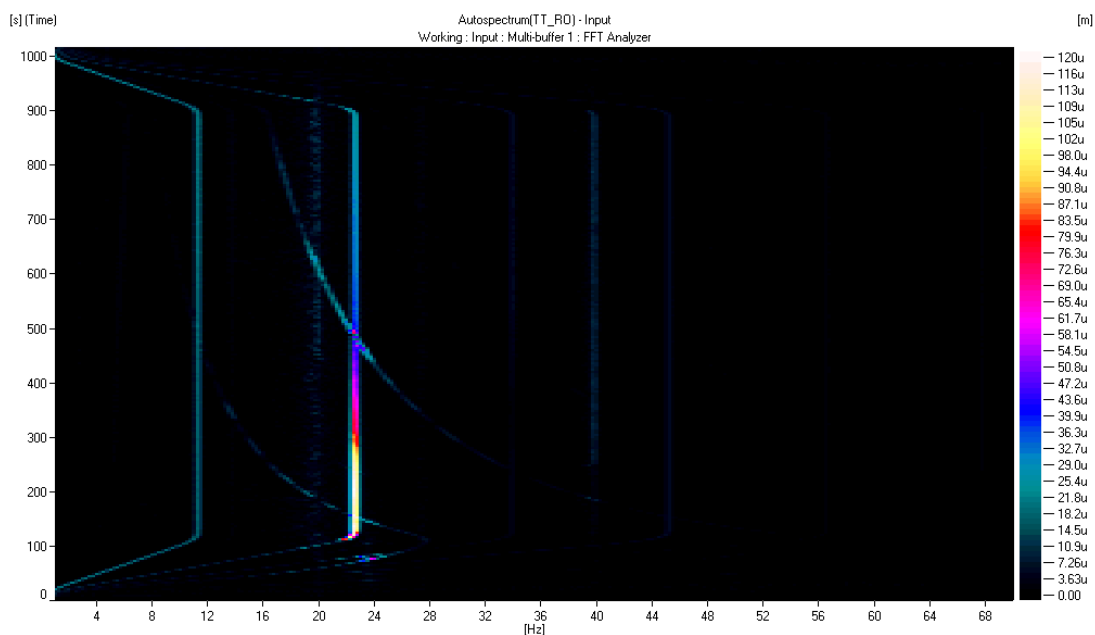
Seitsemäs muutto on nopeudeltaan ja reunaehdoiltaan samanlainen kuin edellisessä muutossa sekä värähtely esiintyy samalla tavalla. Erotuksena on selvästi matalampi vastetaso 3-aseamalla, vaikka sisäpuolen rullaustelan heitto ja laakeripesän vaste ovat samansuuruiset kuin edellisessä muutossa. Koska rulla muok-  
kaantuu jollekin sen monikerralle, eivät muutot käyttäydy keskenään samalla tavalla.



Rullauspään värähtely on voimakkainta rullan toisella monikerralla, maksimissaan 22 mm/s<sub>RMS</sub>; 40,00 Hz (ed. mto 45 mm/s<sub>RMS</sub>, 36,00 Hz). Rullan halkaisija on 485 mm (4400 m, 3:00) ja jälleen värähtely alkaa voimistua 430 mm jälkeen.



Sisäpuolen rullaustelan hp:n laakeripesän vaste samanlainen kuin edellisessä muutossa, kuitenkin rullauspään vaste vain puolet vastaavasta.



Sisäpuolen rullaustelan heittosignaali. Vaste samanlainen kuin edellisessä muu-  
tossa, tässä suurin vaste halkaisijavälillä 330–630 mm (2000–7500 m).

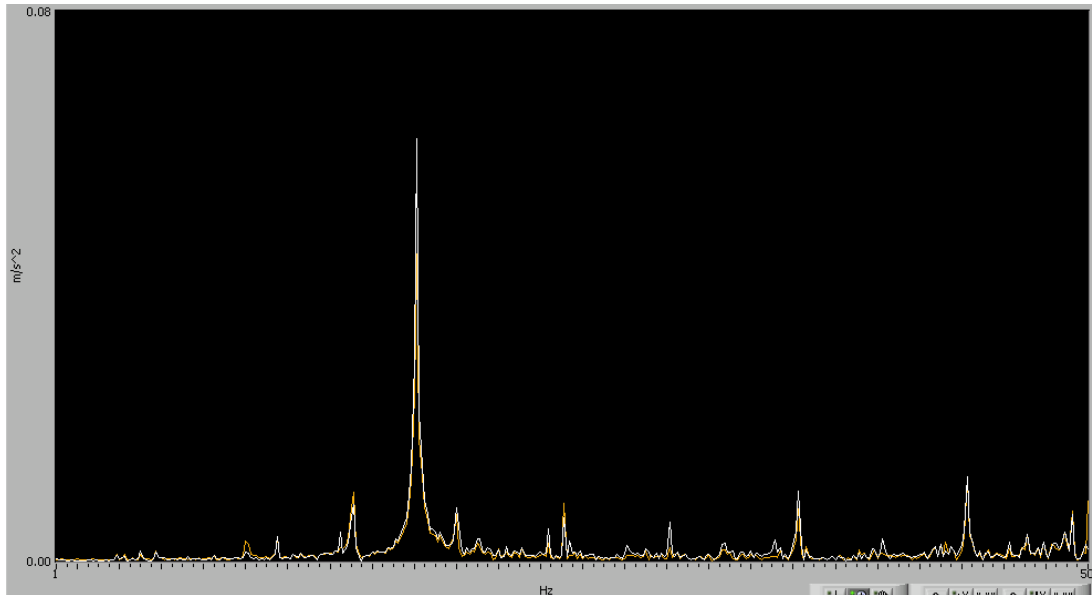
#### 6.3.4 VibLog-mittaukset

Kolmen päivän aikana mitattuihin värähtelyihin ei osunut pahimpia, kunnan värähtelyä omaavia tilanteita. Pituusleikkurille jätettiin tästä syystä VibLog-mittalaite tallentamaan mahdollisia värähtelyjä. Mittapisteen olivat ulko- ja sisäpuolen rullaustelojen

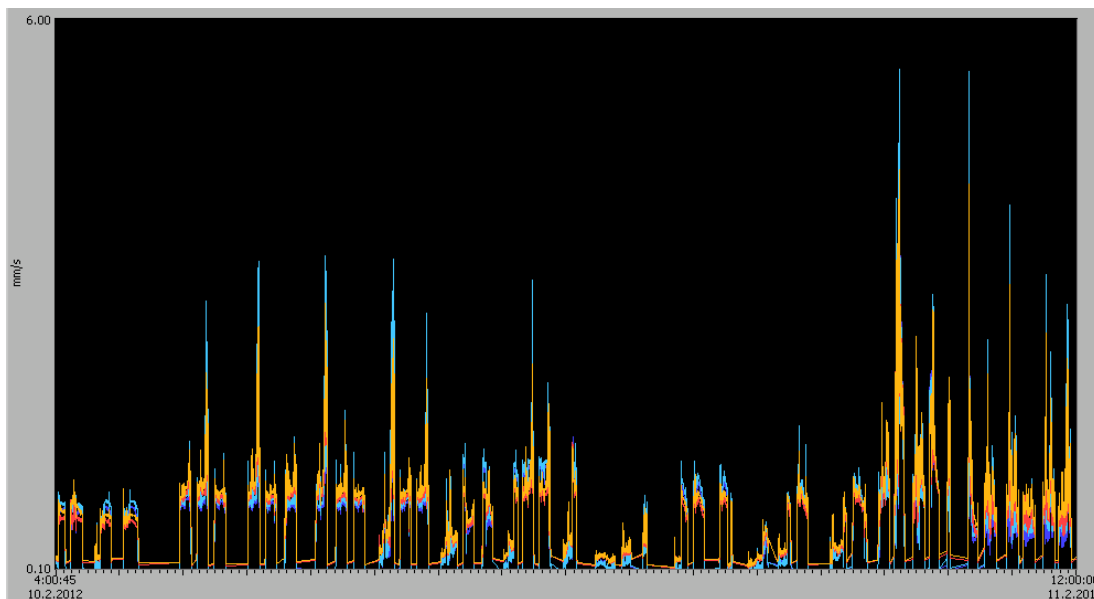
laakeripesät ja sisäpuolen rullaustelan hp:n takometri. Pitkäaikaisseurannassa ei rullausasemaan voinut jättää kiihtyvyyssantureita jo niiden vaatiman johtoviidakon takia. Mittaus kesti kuukauden (8.02–9.3.2012). Jotta pituusleikkurilla tapahtuvat, todella voimakkaat värähtelyt saatiin kohdistettua mittalaitteen tallentamiin tietoihin, jätettiin leikkurille päiväkirja, johon leikkurin väki sai merkata ko. ajankohdan. Kellonajat eivät ole täsmälleen samoja koska aikoja ei synkronoitu. (LIITE 3)

#### 6.3.4.1 10.02.12 klo 14:55

Kirjanpidon mukaan 10.04.12 klo 14:55 valvomo tärisee kunnolla. Edellisiin, on-site-mittauksiin verrattuna pituusleikkurilla oli tuolloin viiden rullan trimmi rullajärjestyksen ollessa 400/3028/1140/3028/570 ja  $65 \text{ g/m}^2$  LWC-paperi. On-site-mittausten aikana mitattiin vain kolmen rullan trimmiä, jolloin suurin rulla oli leikkurin etureunassa, 3-asemalla. Tässäkin trimmissä etureunan 3028 mm rulla oli 3-asemalla.



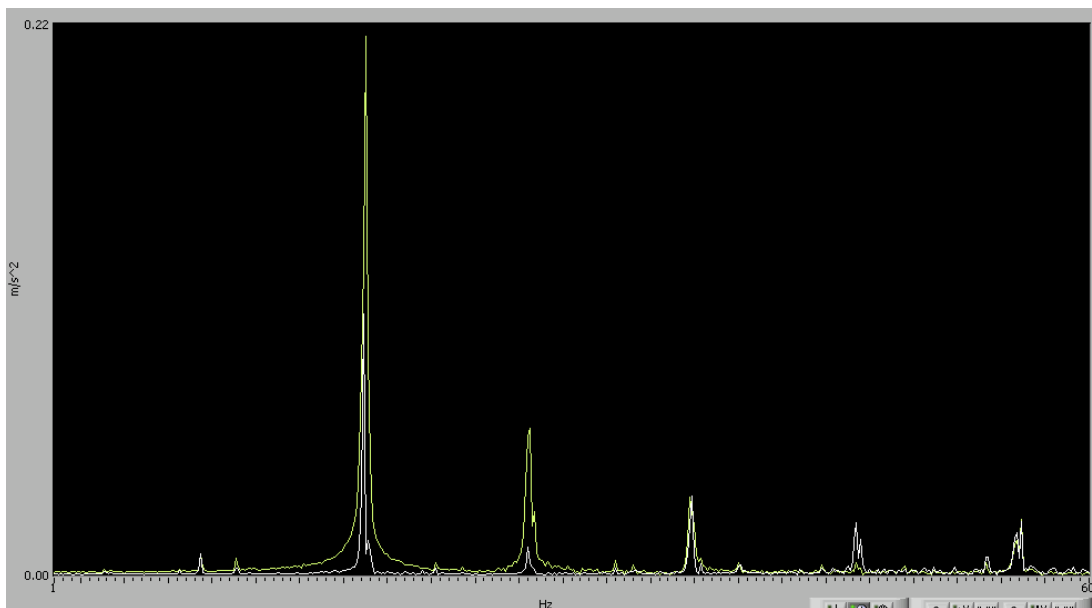
Kuvassa taajuus  $f = 18,125 \text{ Hz}$ . Kyseinen taajuus on rullan toinen monikerta.



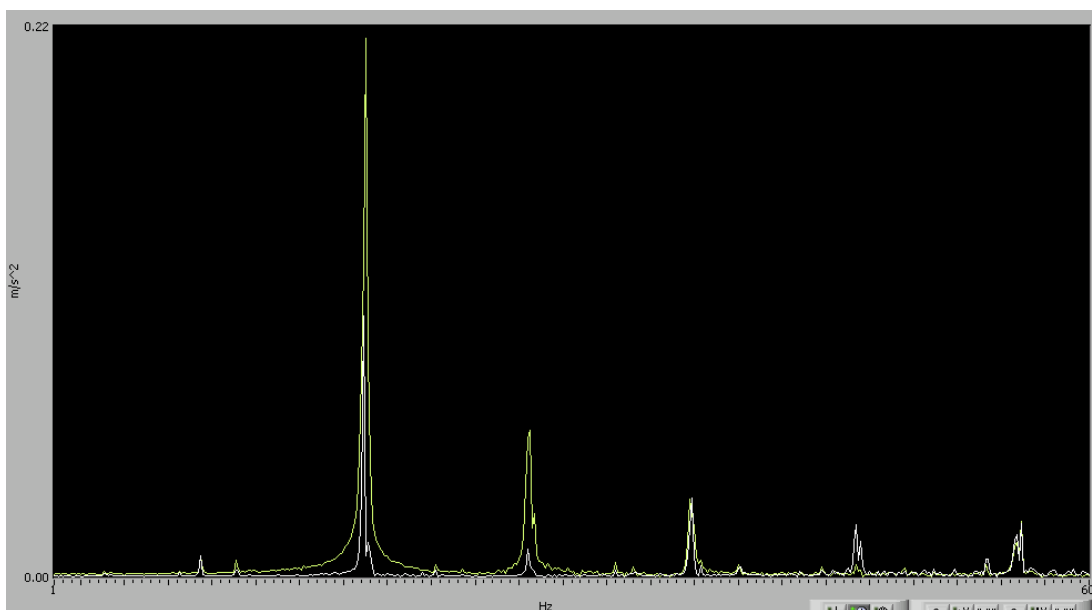
Trendi  $v_{RMS}$  ajalta 10.02 klo 04:00 – 12:00. Mainitut tapahtumat erottuvat korkeina arvoina. Etenkin laakeripesältä mitattuna ko. värähtelyenergiat ovat todella korkeita.

#### 6.3.4.2 11.02.12 klo 06:53 – 08:32

11.02.12 aamuvuoron alkupuolella ajettiin neljä muuttoa, joista jokainen aiheutti valvomolle ja pituusleikkurille huomattavia värinöitä. Paperilajina oli  $52 \text{ g/m}^2$  ja nopeus vaihteli  $1300 \text{ m/min}$  ja  $1500 \text{ m/min}$  välillä. Trimminä oli kolmen rullan trimmi 3045/2208/3045. Värähtelyt ajoittuivat kiinnirullattuun metrimääriin välille  $5500\text{--}8500 \text{ m}$ ,  $9000\text{--}12500 \text{ m}$ ,  $6000 \text{ m} \Rightarrow$  ja neljännen muuton  $5500 \text{ m}$ . Neljännen muuton aikana värähtely aiheutti jo ratakaton. Loppuvuoro ajettiin siten rauhallisemmin,  $1200 \text{ m/min}$ . Erityisen huomioitavaa on, että näihin neljään ”värähtelymuuttoon” ajettu paperi oli kiillotettu kaikilla kolmella eri superkalanterilla (SC21, SC22 ja SC23), joten tämä sulkee pois superkalanterista johtuvan herätteen aiheuttajan.



Kuvassa näkyvät taajuudet on sisemmän rullaustelan monikertoja (11.2.12 klo 06:27)  
 Taajuudet  $f_1 = 18,75$  Hz ja  $f_2 = 28,00$  Hz, jotka ovat 2x ja 3x telan pyörimistaajuus.  
 Nopeus on 1500 m/min, jolla pyörimistaajuus on 9,37 Hz.

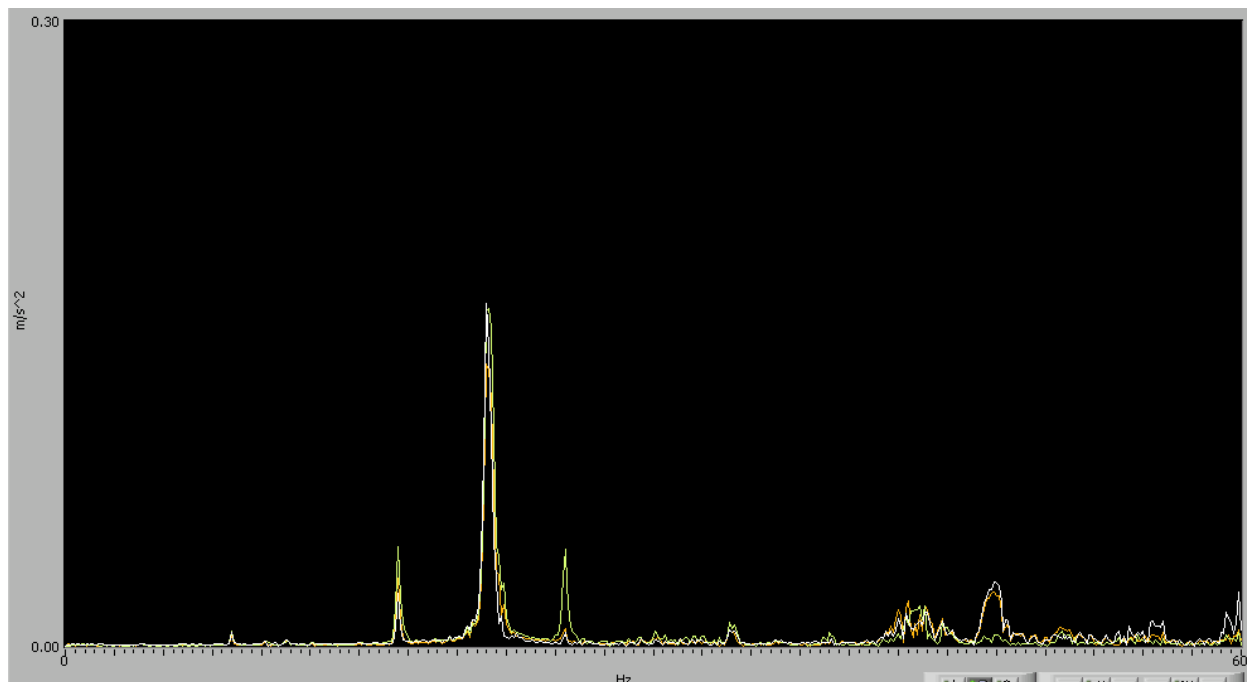


Taajuus on sisemmän rullaustelan monikertoja, 18,875 Hz (11.02.12 klo 08:38).

6.3.4.3 12.02.12 klo 10:20

12.2.2012 klo 10:20 oli trimminä kuuden rullan trimmi 1030/2908/1030/1030/1030/1030 ja paperina  $56 \text{ g/m}^2$ . Värähtely oli pahimmillaan välillä 6000  $\Rightarrow$  9000 m (halk. 590–720 mm) Tämä muutto todistaa edelleen sen, että värähtelyihin riittää yksi leveä rulla.





Kuvassa näkyvä korkein taajuus on rullan monikertoja, sisemmältä telalta. Taajuudet ovat  $f_1=21,50$  Hz,  $f_2 = 17,00$  Hz ja  $f_3=25,50$  Hz. Ko. taajuudet ovat rullan monikerta sekä telan 2. ja 3. monikerta. Nopeus on 1345 m/min, joka on laskettu värinöiden vuoksi 1500 m/min.

### 6.3.5 Johtopäätökset Metson värähtelymittauksista

Kaikista oleellisista tuloksista voidaan erottaa kaksi toisistaan poikkeavaa ilmiötä. Rullan värähtely esiintyy taajuusalueella  $f_1 = 40\text{--}50$  Hz. Sisäpuolen rullaustelan värähtelyt esiintyvät taajuusalueella  $f_2 = 20\text{--}25$  Hz. Värähtelyn tahdistuminen rullaan on voimakasta, varsinkin ensimmäisellä taajuusalueella. Tahdistuminen ei tapahdu kuitenkaan vain tällä tietyllä kerrannaisella, vaan se voi tapahtua myös toisella tai kolmannella monikerralla. Vaikka vaste näkyy toisella taajuusalueella selvästi teloilta, on se kuitenkin sidoksissa rullaan, sillä vaste muuttuu voimakkaasti rullan kasvaessa. Rullan muokkautumista vahvistavat koneen ominaistaajuudet jo rullauksen alussa, herätteet ovat resonanssitilanteessa tietyllä rullan halkaisijalla. Ilmiö ei kuitenkaan ole täysin toistuva, vaan muuttojen välillä on eroja. Perusilmiö säilyy kuitenkin samana. Nopeudella näyttää olevan merkitystä, mille monikerralle rullan värähtely muodostuu. Nopeudella 1500 m/min ja yli muokkaantuminen muodostuu rullan toiselle monikerralle. Tällöin rulla on soikion muotoinen. Taasen 1300 m/min

rulla muokkaantuu kolmannelle monikerralle. Kolmannella monikerralla värähtelevä rulla on kolmikantainen.

Kuten kohdan 6.3.3.3 neljännessä kuvassa nähdään, on rulla muokkautunut jo halk. 190 mm eli 680 metrin kohdalla sen osuessa sisemmän rullaustelan toiselle monikerralle. Raportissa ei ole kaikkia kuvaajia, mutta käytäessä tuloksia läpi, nähtiin myös 08.02.12 VIII muutossa, että rullan muokkaantuminen alkoi halkaisijassa 203 mm eli 770 metriä, kun se osui telan toisella monikerralla.

Huomattavia ja selkeitä, ihmisen havaitsemia värähtelyjä ei esiinny aina, vaikka pituusleikkurilla olisi värähtelyille suotuisa trimmi. Kuten kaikista kuvaajista näkee, sisemmän rullaustelan värähtely alkaa kun rullan monikerta kohtaa telan monikerran. Sisemmän rullaustelan värähtely kuitenkin vaimenee sen jälkeen, kun rullan pyörimistaajuus kasvaa ja se poistuu resonanssialueelta. Tämä siksi, ettei rullan pyörimistaajuus enää lisää energiaa telan värähtelysystemiin.

Mittauksissa kiinnitettiin huomiota ja parhaiten pituusleikkurin värähtelyn aisti pituusleikkurin valvomossa sen voimakkaana tärinänä. Vaikka mittauspäivinä eivät läheskään kaikki muutot aiheuttaneet valvomon tärinää, niin kellarintasolla, perustuksissa oleva kiihtyvyyssanturi rekisteröi silti jokaisen muuton rullan toisen monikerran värähtelyn. Pituusleikkuri ja valvomo on rakennettu samalle laatalle, eikä näiden välissä ole liikuntasaumaa, joten värähtelyt pääsevät johtumaan suoraan valvomoon.

## 7 TULOKSET

Tehtyjen koeajon perusteella voidaan siis todeta, että pituusleikkurin tuotantoa rajoittava voimakas värähtely ja pituusleikkurin valvomon ”Ruotsinlaiva saapuu satamaan”-ilmiö johtuvat sisäpuolen rullaustelan ja 3-aseman rullan yhteisistä taajuusalueista ja sitä kautta rullan muokkaantumisen. Sekä Sonoco Alcoren ja Metson toisistaan riippumattomissa mittauksissa saatiin suurimmat värähtelytulokset rullan pyörimistaajuuksilla. Ilmiö ei ole täysin toistuva muutosta toiseen vaan muutosten välillä on eroja. Perusilmiö säilyy kuitenkin mittausten perusteella samana.

Pituusleikkurille 21 tehtävät mittavat investoinnit viikolla 51/12 luovat omat haasteensa. Mitä uusien, pehmeäpintaisten rullaustelosten ominaistuuksien ovat ja miten taajuudet käyttäytyvät rullan taajuuksien kanssa. Mitä vähemmän herätettä telat aiheuttavat, sitä vähemmän telataajuisia värähtelyjä syntyy. Tai miten raskaat, keskiökäyttöiset rullausasemat tulevat vaikuttamaan rullataajuuksiin. Tulokset ja raportit antavat vielä muutamia ehdotuksia, joilla voidaan saada herätteet ja resonanssit kuriin.

- Jäykemmän hylsyn kokeilu.

Metson koeajoissa käytettiin normaalia Sonoco Alcoren V6M 150x13-jumbohylsyä. V8M 150x13-jumbohylsy on jäykempi ( $4800 \text{ N/mm}^2$  vs.  $6500 \text{ N/mm}^2$ ). Ominaisuuden kaavassa jäykkyyden kasvaessa ominaisuus myös kasvaa. Näin ollen aika, jona rullan taajuus ja rullaustelan taajuus ovat samalla alueella pienenee ja värähtelysystemi ei ehdi kerätä energiaa. V8M-hylsy on tämän hetken markkinahinnoilla 43 % kalliimpi kuin V6M-hylsy.

- Rullauksen erilaisten kiihtyvyyssparametrien vaikutus

Pituusleikkuri kiihdyttää normaalisti ajonopeuteensa arvolla 0,3m/s. Kun kiihdytysnopeutta nostetaan, pyyhkäisee rullan pyörimistaajuus nopeammin ohi rullaustelan taajuuden eikä ehdi kerryttämään energiaa värähtelysystemiin. Värähtely ei ehdi kypsyä haitallisen suureksi.

- Värähtelyvalvonta

Pituusleikkuriin voidaan rakentaa värähtelyvalvonta, joka seuraa esimerkiksi 3-aseman värähtelyä. Kun värähtelymittaus saavuttaa tietyn tason, muuttaa se leikkurin nopeutta ja siten ehkäisee haitallisen värähtelytason.

## LÄHTEET

1. <http://intranet.rauma.upm-kymmene.com/> 12.1.2012
2. [http://www.knowpap.com/www\\_demo/suomi/paper\\_technology/general/5\\_papermaking/frame.htm](http://www.knowpap.com/www_demo/suomi/paper_technology/general/5_papermaking/frame.htm), 26.1.2012 (VIIRAOSA)
3. Metso Paper, Formerikansio 1, Käyttö- ja huolto-ohjeet 2004, 3 Rakenne ja toimintaperiaate
4. [http://knowpap.upm-kymmene.com/knowpap/suomi/paper\\_technology/fiber\\_to\\_paper/7\\_fiber\\_wet\\_press/frame.htm](http://knowpap.upm-kymmene.com/knowpap/suomi/paper_technology/fiber_to_paper/7_fiber_wet_press/frame.htm), 26.1.2012 (PURISTINOSA)
5. [http://knowpap.upm-kymmene.com/knowpap/suomi/paper\\_technology/general/5\\_papermaking/frame.htm](http://knowpap.upm-kymmene.com/knowpap/suomi/paper_technology/general/5_papermaking/frame.htm), 26.1.2012 (KUIVATUSOSA)
6. VALMET, Kaksoisrullain JR1000, käyttö- ja huolto-ohjeet; kansio 1-4, 1987
7. [http://home.tamk.fi/~m-lahteen/arkistot/vmek\\_pdf/luku\\_1.pdf](http://home.tamk.fi/~m-lahteen/arkistot/vmek_pdf/luku_1.pdf), 1.2.2012
8. [www.youtube.com/watch?v=3mclp9QmCGs](http://www.youtube.com/watch?v=3mclp9QmCGs) 22.4.2012
9. Keskinen, E.K., Kivinen, J-M., Launis S., Dynamic analysis of roll nip mechanisms in papermaking systems, Proceedings of the 10<sup>th</sup> European Simulation Symposium, Ed. Bargiela, A. and Kerckhoffs, E., SCS, Nottingham, 1998, pp. 474-476
10. Kivinen, J-M., Keskinen, E., Järvenpää V-M, A Dynamically Stable Nip Loading Mechanism For Paper Finishing Systems, Tenth World Congress On The Theory Of Machines And Mechanisms, 1999.
11. [www.sonoco.com](http://www.sonoco.com), 30.1.2012
12. Sonoco Alcore Oy, Pietikäinen J., Hylsyt ja niiden ominaisuudet, 2011
13. [http://www.teraskonttori.fi/easydata/customers/teraskonttori/files/mittausvali neet/Mitu\\_luettelo\\_158-259.pdf](http://www.teraskonttori.fi/easydata/customers/teraskonttori/files/mittausvali neet/Mitu_luettelo_158-259.pdf) ,sivu 10, 13.2.2012
14. [http://www.wilcoxon.com/prodpdf/726%20spec%20\(98038h3\).pdf](http://www.wilcoxon.com/prodpdf/726%20spec%20(98038h3).pdf) 26.2.2012
15. [http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB\\_Corporate/Vibration/products/sp ecsheets/353B34\\_M.pdf](http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/Vibration/products/sp ecsheets/353B34_M.pdf) 26.2.2012
16. Airila, Marko. Mekatroniikka: Anturit, Luku 4, s.28. Helsinki: Otatieto, 1993.

17. Lauren Aaronson. How it Works. A Time 4 Media Company,  
[http://www.time4.com/time4/microsites/popsci/howitworks/nintendo\\_wii.html](http://www.time4.com/time4/microsites/popsci/howitworks/nintendo_wii.html)  
1. 15.02.2012
18. [www.promaint.net/downloader.asp?id=3789&type=1](http://www.promaint.net/downloader.asp?id=3789&type=1), 17.02.2012
19. [http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB\\_Corporate/IMI/products/Manuals/629A11.pdf](http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/IMI/products/Manuals/629A11.pdf) 27.2.2012
20. [http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB\\_Corporate/IMI/products/Manuals/621B41.pdf](http://www.pcb.com/contentstore/docs/PCB_Corporate/IMI/products/Manuals/621B41.pdf) 27.2.2012

## LIITTEET

LIITE 1: Sonoco Alcoren mittausraportti

LIITE 2: Metson mittausraportti

LIITE 3: Tärinöiden päiväkirja

## UPM Rauma measurements 02.02.2012

**Sonoco-Alcore:** Marko Ilomäki, Jari Pietikäinen

**UPM:** Tomi Leino & the winder crew

### Executive summary

Tests on JR1000 winder suggest that straightness deviation or elongation should not be a reason for winder vibrations in this case. Waterfall spectrums in appendix 2 show that highest vibrations occur at the rotation frequency of rolls. Vibration components of winding drum and rider rolls can be seen in the spectrums as well but roll vibrations seem to dominate. To avoid roll induced vibrations, it is important to attach paper web on cores in such a way that the joint creates as small bump as possible. Forming rolls will then be rounder and vibrate less. Paper caliper and density variation has certainly also its impact on roundness or rolls. Anyway, the most interesting observation was that when running successive set of rolls on V6M and V6M HT with same paper and winder parameters, vibrations were clearly lower with rolls wound on V6M HT. That result gives a good reason to test and run more V6M HT cores on this winder whenever there are vibration problems with other cores.

### General

Purpose of the test was to troubleshoot winder vibrations in UPM Rauma at JR1000 supported center winder. This winder is located next to almost identical Wärtsilä winder which was observed to vibrate less. The target was to concentrate on cores and understand better what could be done with cores side to ease the problem.

Most interesting results are collected on table 1. Images of test arrangements and equipment are shown on page 3. Curves in appendix 1 show ISO 3945-1977 vibration levels on winding arms 3 and 5 as a function of time. These curves do not reveal vibration frequencies but show overall vibration level as a function of time. Height of the curves correlates with vibration energy. Theory in appendix 3 help understanding these graphs better. Vrms waterfall spectrums in appendix 2 give information of frequencies as a function of time. Those reveal that highest vibration levels in the beginning of winding occur at the rotation frequency of rolls. The same trend continues through the winding.

### About the tests and results

Three different cores were tested: V6M, V6M HT and V8M. All cores were so straight (deviation less than 0.3 mm/m) that straightness deviation does not cause vibrations. Earlier measurements with JR1000 suggest that if core straightness deviation is not more than 0.5 mm/m then core induced vibrations are at minimal level. Core elongation was also at very low level. In many cases, elongation was less than 0.2 mm/m and measured maximum value was only 0.5 mm/m. This indicates low winding pressure since 6" cores elongate typically closer to 1 mm/m.

Vibration measurements delivered the most interesting results (see table 1, appendix 1-2 and theory in appendix 3). The first measured set was run with V6M cores but this is not comparable with other measurements due to different rolls in winding stations 2, 4 and 6 (see table 1). Width of rolls has an impact on roll vibrations and only sets with identical rolls are comparable. 2<sup>nd</sup> set was run with V6M HT but vibrations were at low level (start was accelerated very gently). Next two sets 3 and 4 with V8M cores did not deliver much usable information due to low speed. There seemed to be paper profile problems and loose web edge flapped menacingly on the cutting table. There was also a web break in the start of 3<sup>rd</sup> set at roll diameter 254 mm and 4<sup>th</sup> set was driven slowly. After the end of set 4, it was decided that web speed will be increased even though there was a risk of web break. There was still paper left for two more sets in the tambour which seemed to suffer from profile problem. These last two set provided the most interesting comparison data of the whole test.

Set 5 was first driven with V6M cores and there were severe vibrations. Speed was accelerated right from the start to 1500 m/min. It was possible to see even by eyes how the big rolls shake as they rotated. Anyway, there was no web break even though the paper was from the same tambour as previous V8M rolls and the speed was higher. Paper web was flapping as badly on the cutting table as on the previous slower run. Measured vibrations of set 5 were a clear record of the day.

Last set 6 was wound on V6M HT cores in the same way as set 5. Speed was accelerated right from the start to 1500 m/min and paper came from the same tambour as in the previous set (last rolls). Vibration levels were now approximately half of what they were with V6M cores. It was not possible to test more sets this time but based on the results, V6M HT cores should be tested more in practice. These cores have proven useful when fighting against center burst. The same mechanics could work here and help reducing vibrations.



Table 1. summary of the test results

| Core number | Core grade    | Date     | Core length and elongation      |                                |                      |                        | Straightness deviation      |  | Core outside diameter [mm] | Vibration measurements during winding |   |  |  |  | Web speed [m/min]          |                           | Roll width at different winding stations (3 & 5 measured) |                   |                   |                   |                   | Comment   |
|-------------|---------------|----------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|--|----------------------------|---------------------------------------|---|--|--|--|----------------------------|---------------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---|
|             |               |          | Core length before winding [mm] | Core length after winding [mm] | Core elongation [mm] | Core elongation [mm/m] | Straightness deviation [mm] | Straightness deviation / length [mm/m] |                            | Winder number                         | Max. ISO 3945 v <sub>rms</sub> vibration level [mm/s] |  |  |  | Roll diameter up to 400 mm | Roll diameter 520-1200 mm | Winding station 3   | Winding station 5 | Winding station 2 | Winding station 4 | Winding station 6 |   |
|             |               |          |                                 |                                |                      |                        |                             |  |                            |                                       | Accelerometer sensor 1 (winding arm 3A, winder 21)    | Accelerometer sensor 2 (winding arm 3B, winder 21) | Accelerometer sensor 3 (winding arm 5A, winder 21) | Accelerometer sensor 4 (winding arm 5B, winder 21) |                            |                           |   |                   |                   |                   |                   |   |
| 1           | V6M 150x13    | 1.2.2012 | 3028.5                          | 3030.0                         | 1.5                  | 0.50                   | 0.83                        | 0.27                                   | 175.6                      | 21                                    | 3   | 1.9  | 2  | 2  | 600                        | 1500                      | 3028  | 3028              | 570               | 900               | 570               | Smooth run but different set of rolls as in the following sets (= results not comparable) |
| 2           | V6M 150x13    | 1.2.2012 | 3028.5                          | 3029.5                         | 1.0                  | 0.33                   | 0.82                        | 0.27                                   |                            | 21                                    | 3.3   | 4.3  | 3.4  | 2.4  | 600                        | 1500                      | 3028  | 3028              |                   | 2040              |                   | Not bad vibrations  |
| 3           | V6M HT 150x13 | 1.2.2012 | 3028.0                          | 3029.0                         | 1.0                  | 0.33                   | 0.48                        | 0.16                                   | 176.2                      | 21                                    | 2.67  | 2.16   | 2.73   | 2.07   | 600                        | 1500                      | 3028  | 3028              |                   | 2040              |                   | Splice (new tambour), web break at 254 mm (paper profile).                                |
| 4           | V6M HT 150x13 | 1.2.2012 | 3028.0                          | 3028.5                         | 0.5                  | 0.17                   | 0.59                        | 0.19                                   |                            | 21                                    | 9.93  | 8.42   | 5.68   | 3.6  | 600                        | 1500                      | 3028  | 3028              |                   | 2040              |                   | Speed 1500 m/min right from the start. Big vibrations!                                    |
| 5           | V8M 150x13    | 1.2.2012 | 3028.0                          |                                |                      |                        | 0.57                        | 0.19                                   | 177.2                      | 21                                    | 5.18  | 6  | 2.8  | 1.8  | 600                        | 1500                      | 3028  | 3028              |                   | 2040              |                   | Speed 1500 m/min right from the start. Clearly lower vibrations than in the previous      |
| 6           | V8M 150x13    | 1.2.2012 | 3028.0                          |                                |                      |                        | 0.69                        | 0.23                                   |                            | 21                                    | 1   | 1.23   | 2.6  | 1.43   | 300                        | 900                       | 3028  | 3028              |                   | 2040              |                   | Very slow speed due to paper profile problem (loose web).                                 |
| 7           | V8M 150x13    | 1.2.2012 | 3028.5                          | 3028.5                         | 0.0                  | 0.00                   | 0.61                        | 0.20                                   |                            | 21                                    | 9.93  | 8.42   | 5.68   | 3.6  | 1500                       | 1500 - 1000               | 3028  | 3028              |                   | 2040              |                   | Speed 1500 m/min right from the start. Big vibrations!                                    |
| 8           | V8M 150x13    | 1.2.2012 | 3028.0                          | 3028.5                         | 0.5                  | 0.17                   | 0.09                        | 0.03                                   |                            | 21                                    | 5.18  | 6  | 2.8  | 1.8  | 1500                       | 1500                      | 3028  | 3028              |                   | 2040              |                   | Speed 1500 m/min right from the start. Clearly lower vibrations than in the previous      |
| 9           | V6M 150x13    | 1.2.2012 | 3028.5                          | 3029.0                         | 0.5                  | 0.17                   | 0.76                        | 0.25                                   |                            | 21                                    | 9.93  | 8.42   | 5.68   | 3.6  | 1500                       | 1500 - 1000               | 3028  | 3028              |                   | 2040              |                   | Speed 1500 m/min right from the start. Big vibrations!                                    |
| 10          | V6M 150x13    | 1.2.2012 | 3028.0                          | 3028.5                         | 0.5                  | 0.17                   | 0.69                        | 0.23                                   |                            | 21                                    | 5.18  | 6  | 2.8  | 1.8  | 1500                       | 1500                      | 3028  | 3028              |                   | 2040              |                   | Speed 1500 m/min right from the start. Clearly lower vibrations than in the previous      |
| 11          | V6M HT 150x13 | 1.2.2012 | 3028.0                          | 3028.5                         | 0.5                  | 0.17                   | 0.59                        | 0.19                                   |                            | 21                                    | 5.18  | 6  | 2.8  | 1.8  | 1500                       | 1500                      | 3028  | 3028              |                   | 2040              |                   | Speed 1500 m/min right from the start. Clearly lower vibrations than in the previous      |
| 12          | V6M HT 150x13 | 1.2.2012 | 3028.0                          | 3028.5                         | 0.5                  | 0.17                   | 0.30                        | 0.10                                   |                            | 21                                    | 5.18  | 6  | 2.8  | 1.8  | 1500                       | 1500                      | 3028  | 3028              |                   | 2040              |                   | Speed 1500 m/min right from the start. Clearly lower vibrations than in the previous      |



a)



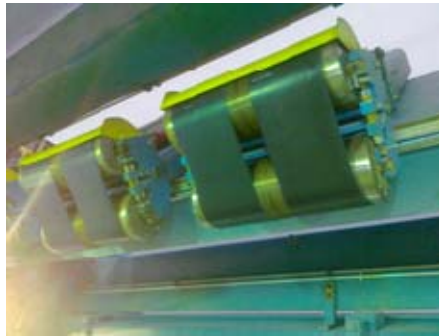
b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



j)

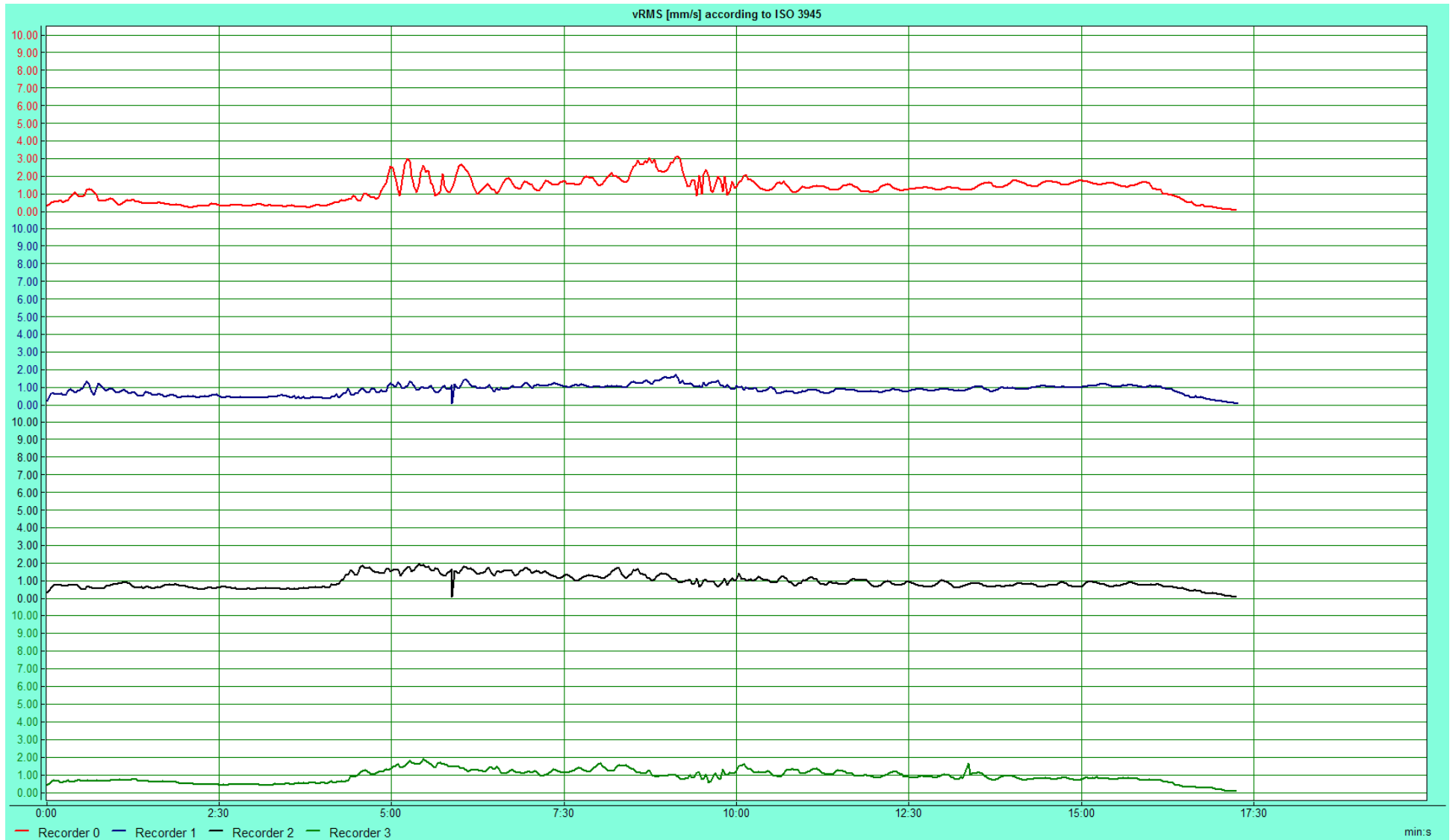


k)

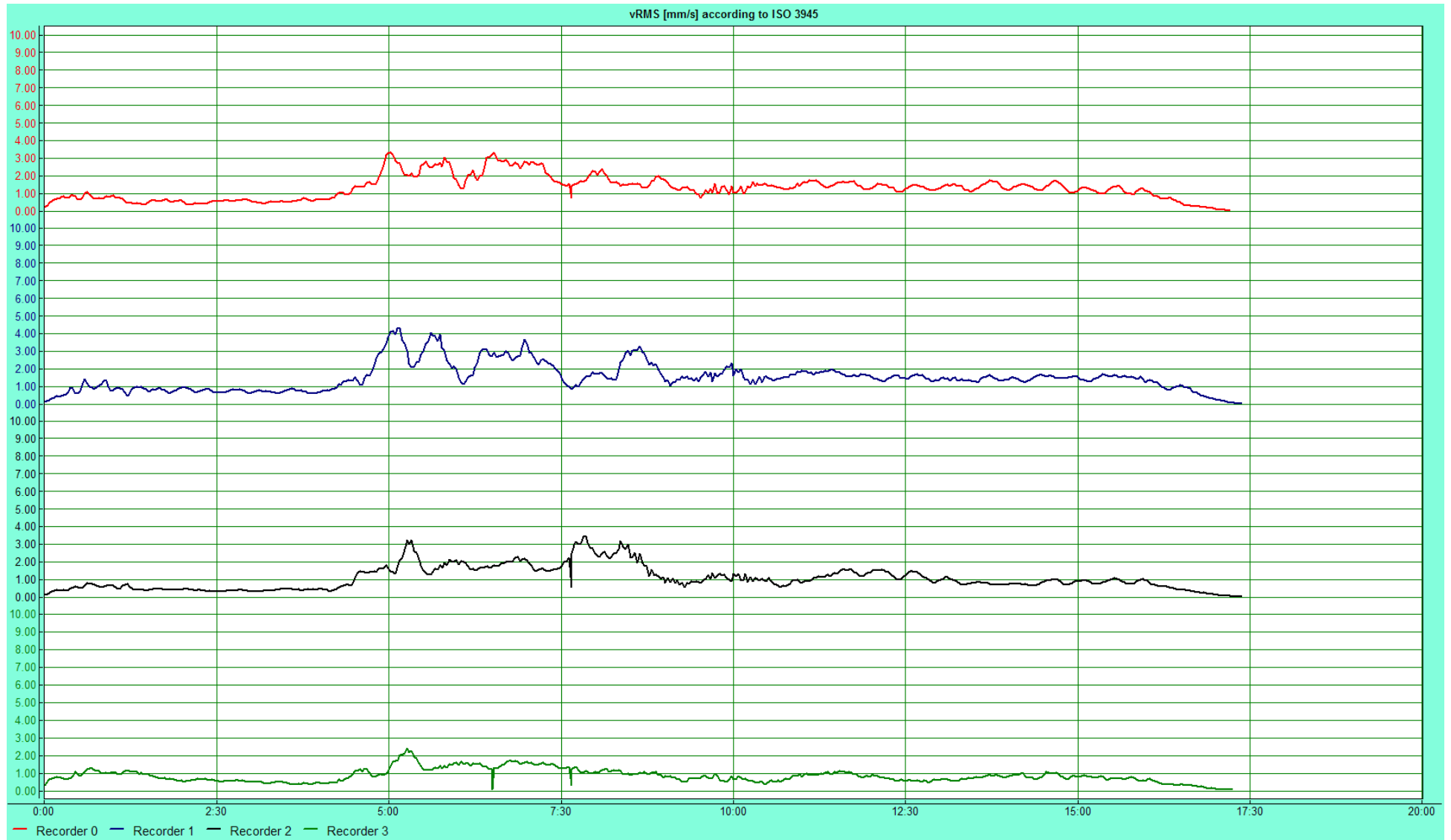
Figure 1. These images were taken during the tests. Accelerometers were attached on the winding arms of winding stations 3 and 5. Winding speed was often decreased towards the end of winding process. The purpose of this was to minimize sidewise movement of paper shown in figure g. Winding tension decreases towards the outer surface of rolls and make them prone to slide sidewise. The slower the web speed, the less air enters between paper layers and there is less sliding (author's own thinkin). Anyway, in some cases sudden change in web speed can also provoke sidewise movement.

## Appendix 1. vrms vibration levels according to ISO 3945 (see the theory in appendix 3)

Color codes: red = winding arm 3A, blue = winding arm 3B, black = winding arm 5A and green = winding arm 5B



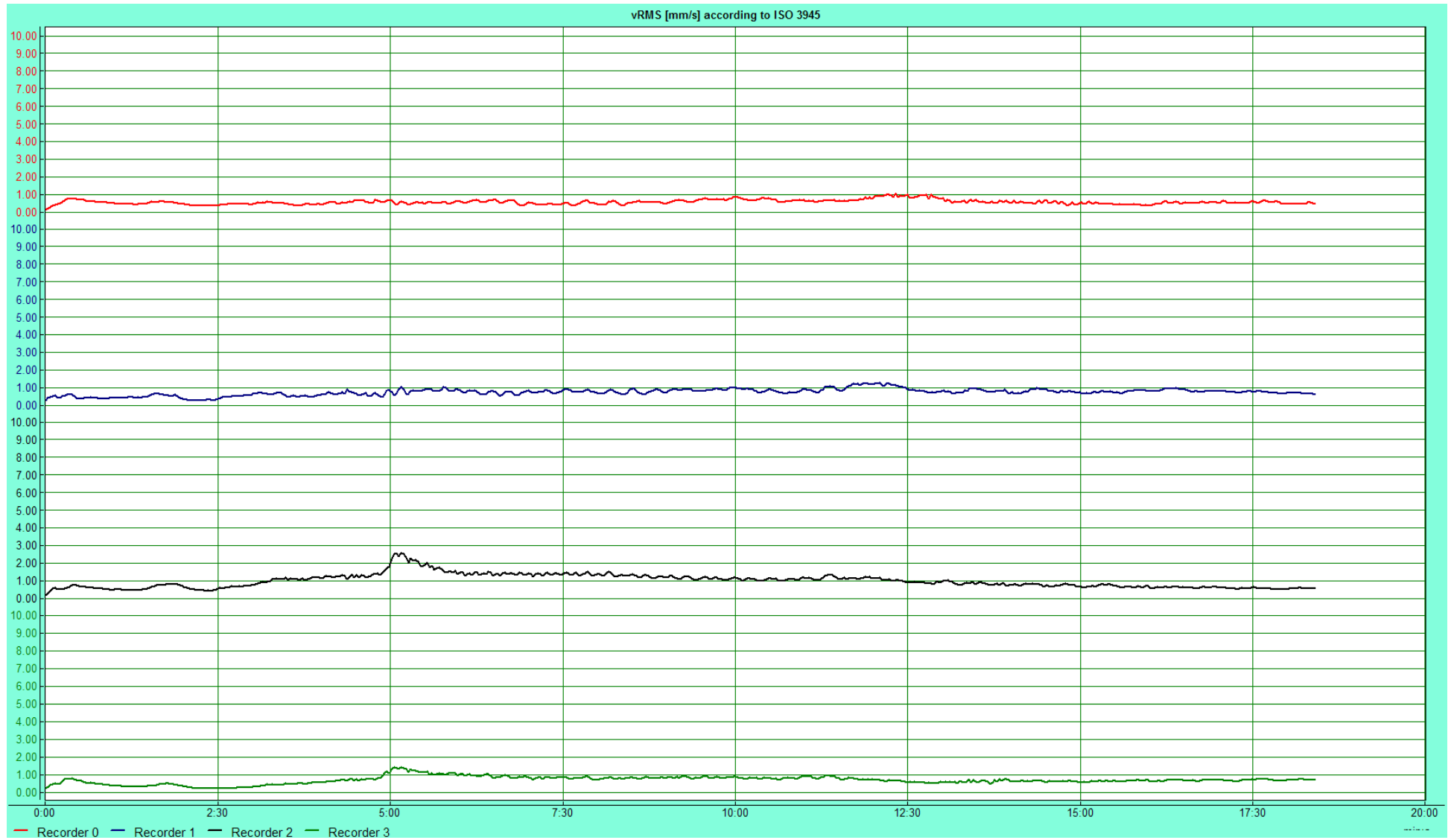
UPM Rauma set 1 with standard V6M cores. Speed 600 m/min up to 400 mm diameter, 1500 m/min from 520 mm diameter to the end. Smooth run, no vibrations or web breaks.



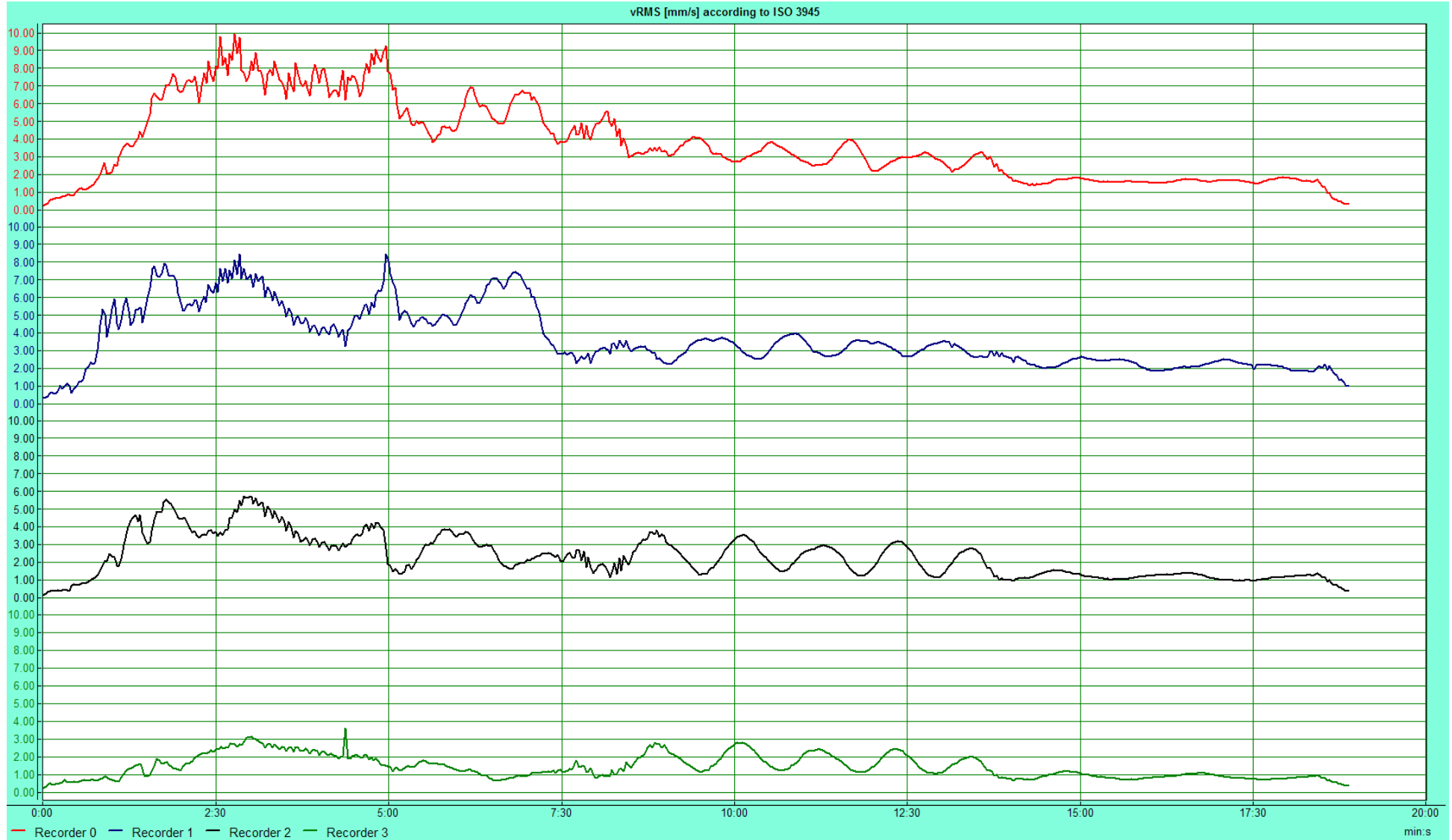
UPM Rauma set 2 with V6M HT cores. Rolls were changed on the other side of the winder (see table). Not yet bad vibrations according to the winder crew.



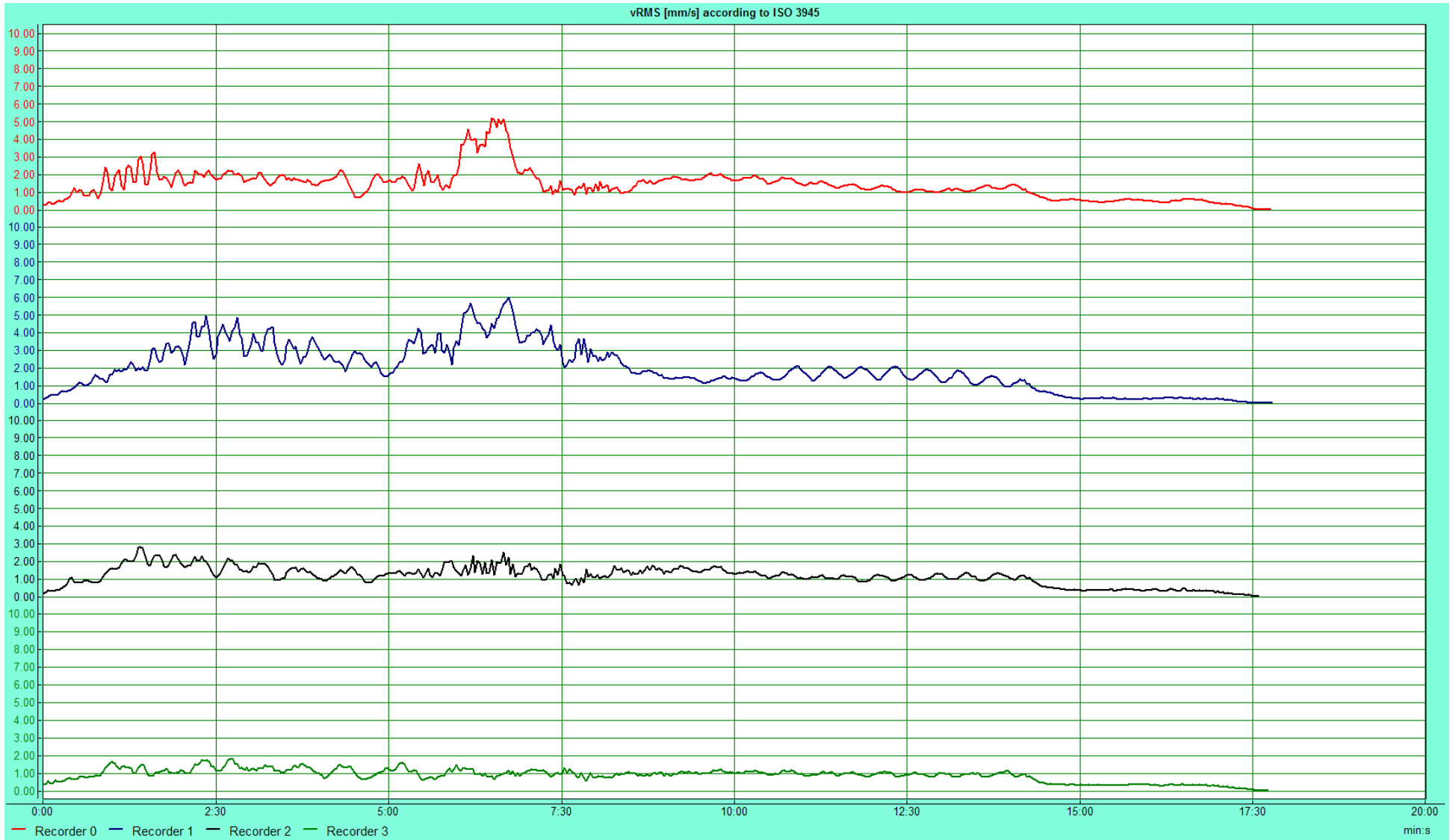
UPM Rauma set 3 with V8M cores. Web break at 254 mm after splice (new tambour). Vibrations were highest so far in the start.



UPM Rauma set 4 with V8M cores. Slow speed (900 m/min) due to paper profile problem (loose web).



UPM Rauma set 5 with V6M cores. Acceleration straight from the start to 1500 m/min. Speed was this high at 300 mm diameter but then it was reduced to 1300 m/min at 630 mm diameter. At 1000 mm diameter, the speed was further reduced to 1000 m/min to avoid side vice movement of outer layers. There were in general very high vibrations but no web break. It was possible to see by eyes how for example roll in winding station 3 vibrated.

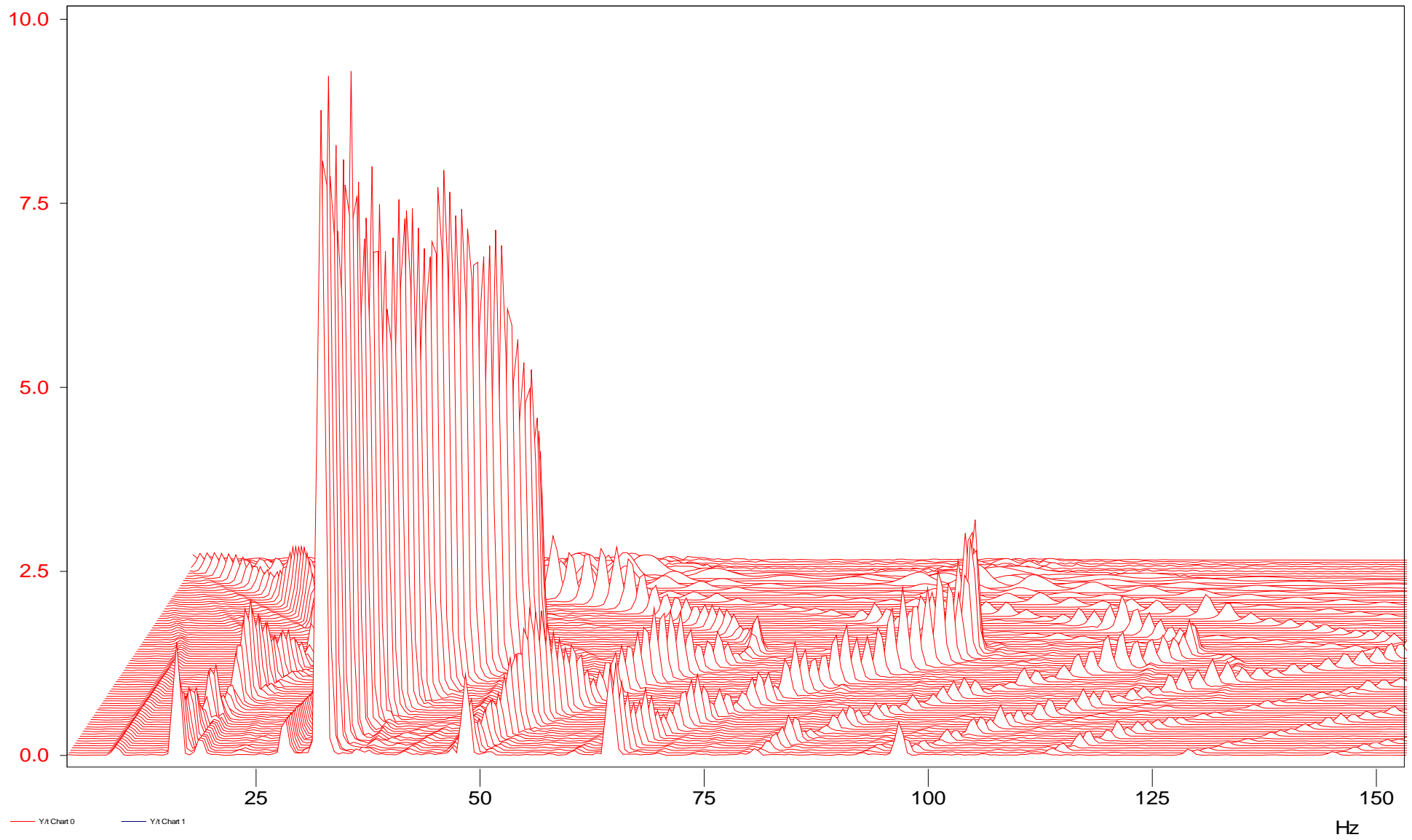


UPM Rauma set 6 with V6M HT-cores. Acceleration straight from the start to 1500 m/min and that speed was retained almost till the very end. Clearly lower vibrations than in the previous set.



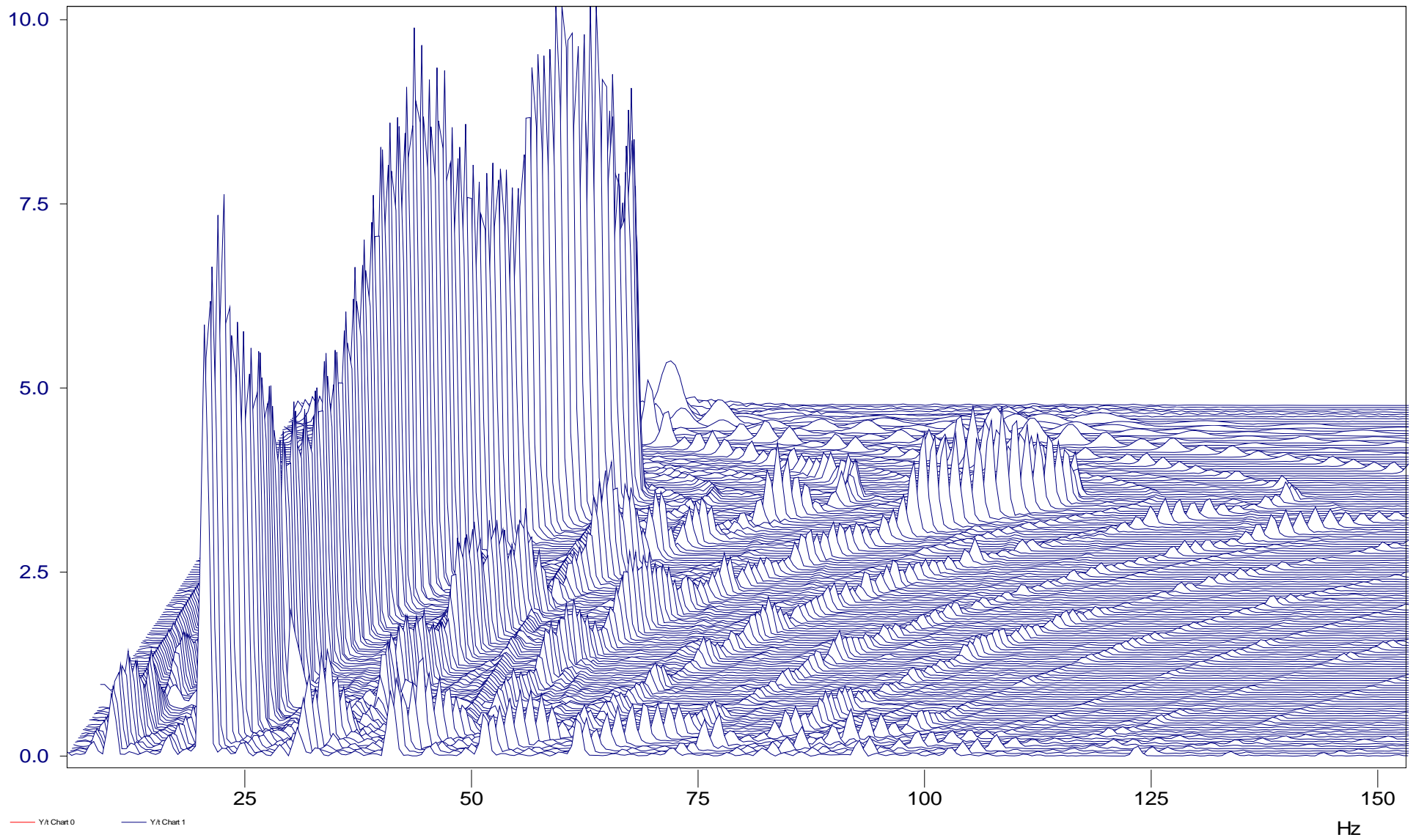
**Appendix 2 a)**

Start of measured set 5 (V6M in winding stations 3 and 5). Waterfall display of sensor 1 (winding arm 3A) in the start of winding. Speed 25 m/s.



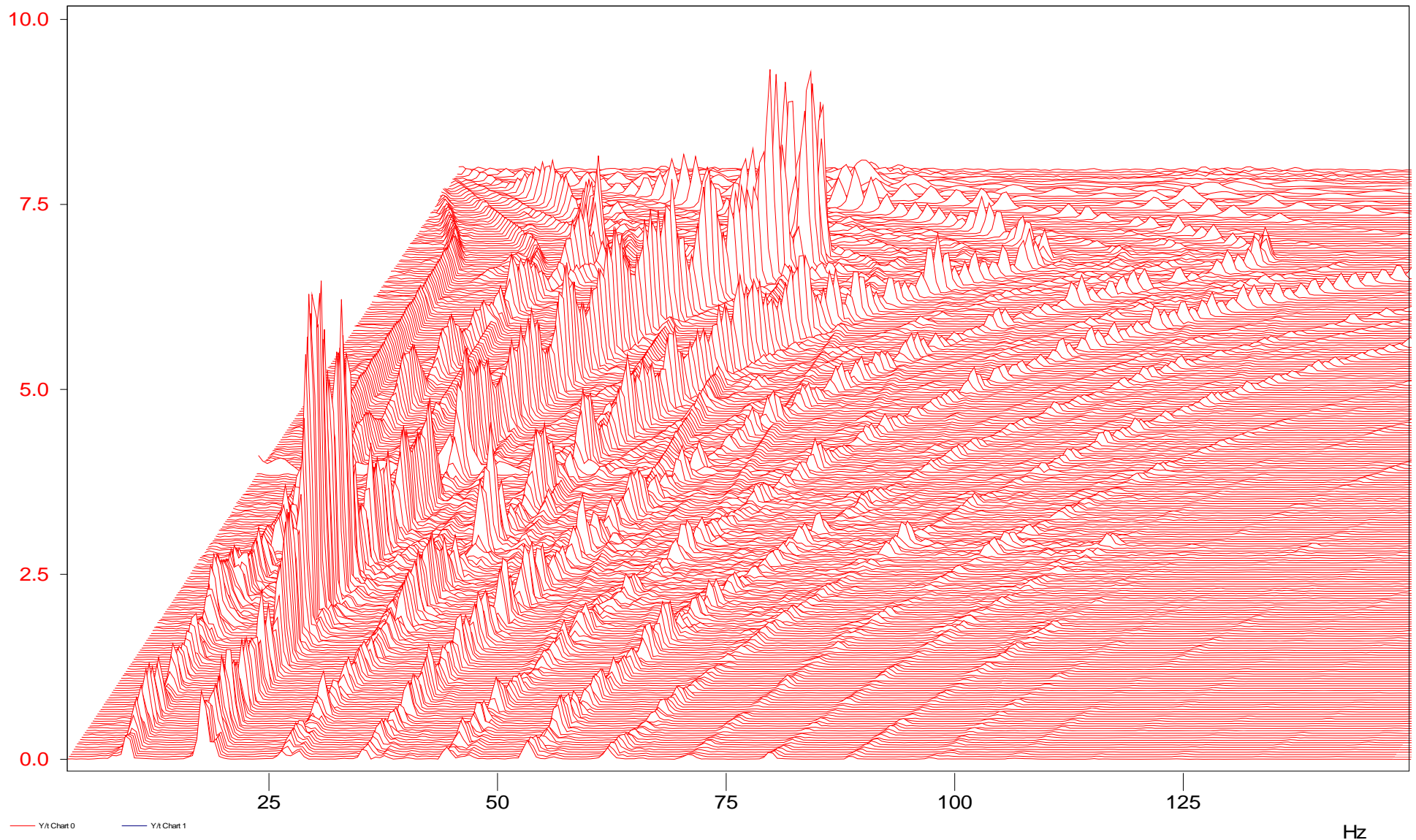
**Appendix 2 b)**

Start of measured set 5 (V6M in winding stations 3 and 5). Waterfall display of sensor 2 (winding arm 3B) in the start of winding. Speed 25 m/s.



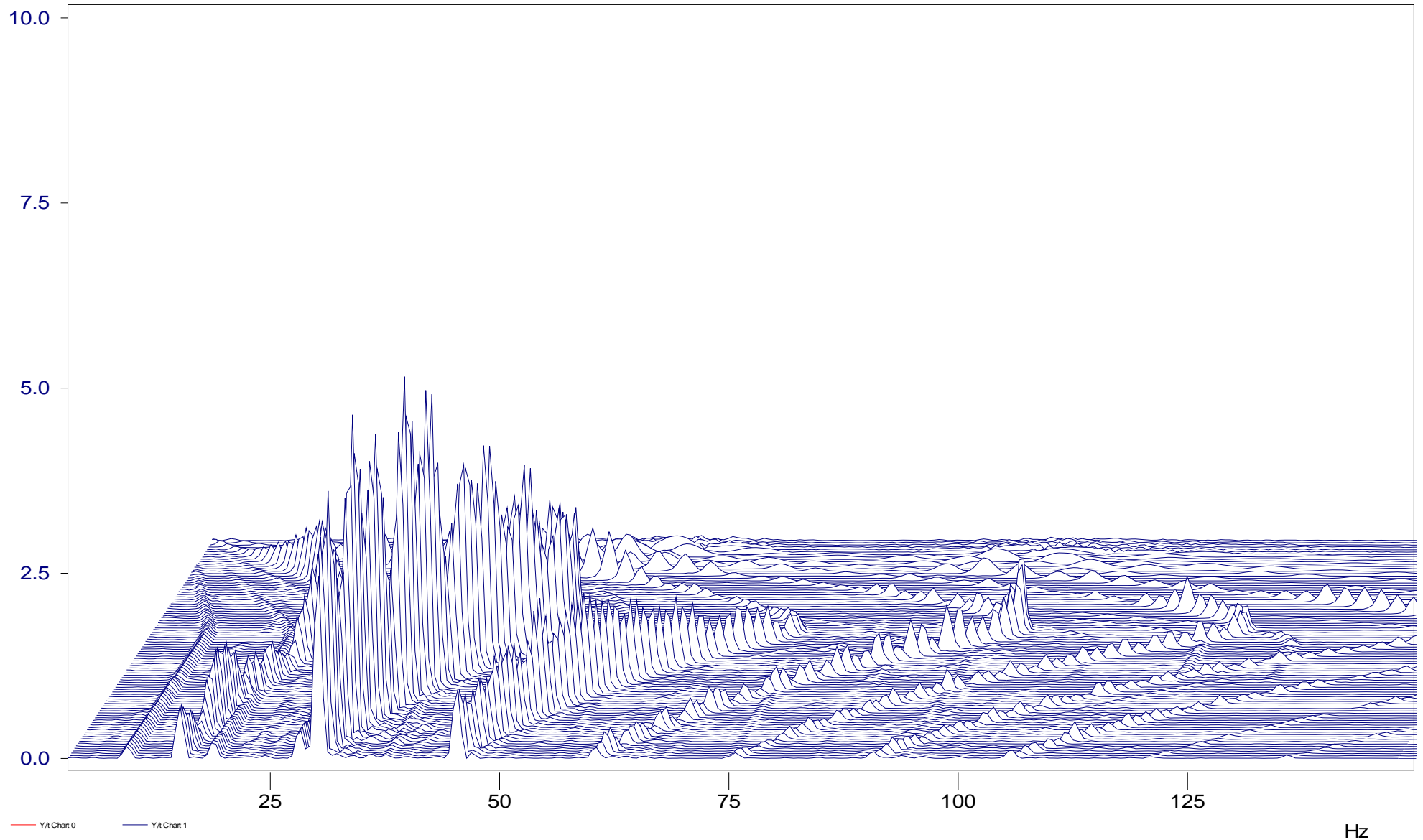
**Appendix 2 c)**

Start of measured set 6 (V6M HT in winding stations 3 and 5). Waterfall display of sensor 1 (winding arm 3A) in the start of winding. Speed 25 m/s.



**Appendix 2 d)**

Start of measured set 6 (V6M HT in winding stations 3 and 5). Waterfall display of sensor 2 (winding arm 3B) in the start of winding. Speed 25 m/s.



## Appendix 3. About measuring winder vibrations

### 1. ABOUT THE MEASURING PARAMETERS

#### 1.1 ACCELERATION

Usually the mechanical vibration measurements are done by using piezoelectric accelerometers. These sensors give voltage output [mV/g], acceleration  $a$  and its RMS value  $a_{RMS}$  could be used as measuring parameters if the vibration frequency is over 1000 Hz. Speed and displacement spectrums can be calculated from the acceleration spectrum. According to frequency domain spectrum, the time domain signal itself can be sometimes a very useful tool. It reveals the variation of signal magnitude as a function of time. By studying for example the time domain acceleration signal of a gear, it is possible to detect faults that are caused by assembly errors or defects in gears.

#### 1.2 SPEED

RMS (Root Mean Square) value of speed  $v$  [mm/s] is a very useful measuring parameter in the frequency range 10-1000 Hz ISO 3945-1977. Based on experience, vibrations with the same RMS velocity anywhere in the frequency band 10 to 1000 Hz are generally considered to be of equal severity. Vibration severity is evaluated by summing all of the  $v_{RMS}$  amplitudes in the frequency range 10-1000 Hz according to ISO 3945-1977.

#### 1.3 DISPLACEMENT

Displacement is a usable measuring parameter for low frequency measurements. The upper frequency limit is not more than a couple hundreds of hertz. If the acceleration level remains the same, say  $1g$ , the displacement amplitude is 100 times higher at 10 Hz than at 100 Hz.

### 2. CALIBRATION

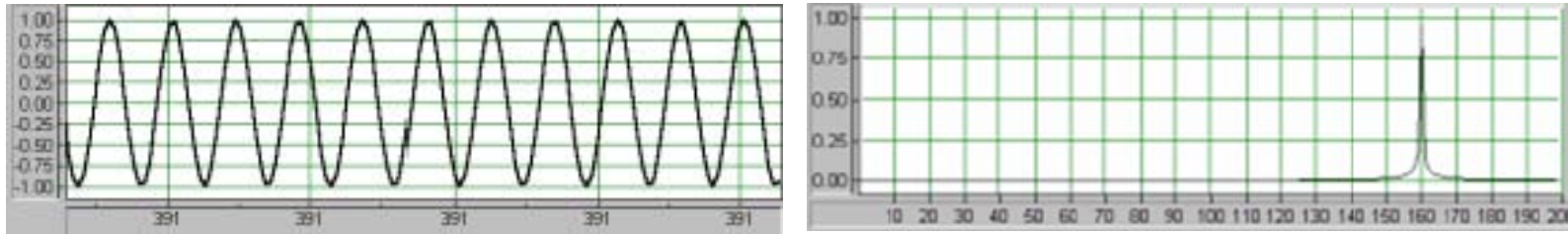
The measurement system is calibrated by using reference shaker. The amplitude of harmonic acceleration is  $1 [g] = 9.81 [m/s^2]$  at 160 Hz frequency. Because of the good linearity of piezoelectric accelerometers, calibration of the amplitude output for one frequency is usually enough. Figure 1 shows an example of calibration of accelerometer. The accelerometer is vibrating at 160 Hz frequency and the acceleration level is  $1 g = 9.81 [m/s^2]$ . The spectral line height in figure 1 b) is 1 and it is located at 160 Hz. The acceleration speed [mm/s] can be calculated by equation

$$v = \frac{a \cdot 9810}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (1)$$

Where  $a$  is the spectral line height of acceleration spectrum and  $f$  is the vibration frequency [Hz] i.e. the spectral line x-position. If the spectral line height is 1 then the nominator of equation 1 equals to 9810 [mm/s<sup>2</sup>]. If  $f$  is 160 Hz, then the vibration speed is  $9.76 \text{ mm/s} \approx 10 \text{ mm/s}$ . The displacement [mm] can be calculated by equation

$$x = \frac{a \cdot 9810}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2} \quad (2)$$

The displacement is  $0.0097 \text{ mm} \approx 10 \text{ } \mu\text{m}$ , if  $a = 1$  and  $f = 160 \text{ Hz}$ .



a) Time domain signal, amplitude 1, freq. 160 Hz

b) Signal after the FFT transform

Figure 1. Example of time and frequency domain display of input signal.

### 3. ABOUT INTERPRETING THE ACCELEROMETER DATA

Winder vibrations are usually measured with piezoelectric accelerometers. These are placed on winding arms and press roll frames. The strongest excitation comes at the rotation frequency of the reel. Considering the low frequency range, acceleration spectrum and its waterfall display are not very useful in interpreting the measured data. Better information can be collected by summing the spectral lines in the frequency range 10-1000 Hz according to ISO 3945-1977 (equation 3). The sampling rate is usually 2000 Hz and the block size  $2^{11} = 2048$  samples. The sampling frequency should be generally at least two times the highest measured frequency. The analog low pass antialiasing filter is used to avoid aliasing effects. The filtering frequency is in our measurements 500 Hz. The spectral lines of each block are summed according to ISO 3945-1977 as

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left[ \left( \frac{a_1}{\omega_1} \right)^2 + \left( \frac{a_2}{\omega_2} \right)^2 + \left( \frac{a_n}{\omega_n} \right)^2 \right]} \quad (3)$$

where  $a_1, \dots, a_n$  are the acceleration amplitudes (height of the spectral lines in acceleration spectrum) and  $\omega_1, \dots, \omega_n$  are the angular frequencies of each spectral line. Drawing the results of each block as a function of time gives the curves in appendix 2. These curves reveal the ISO 3945-1977 vRMS level of each sensor as a function of time. The practice has shown that this result correlates reliably with the vibration level during winding and the resulted curve is also easy to read and compare with other measurements.

#### About vibration measurement system

Piezoelectric accelerometers are connected to measuring board through power units and 500 Hz anti-aliasing filter. The signal is filtered before routed to measuring board. The analyzer has been built utilizing DasyLab-program. The first operation which is done for the signal after measuring is window function (we use Hanning window). Sampling rate is 2000 Hz and the block size 2048 samples. After this, there are necessary scaling and FFT functions. After this, necessary arithmetic operations are done to the signal to get desired results.



UPM-Kymmene Oyj  
PL 95  
26101 RAUMA

PK 1/PL21 JR 1000  
Värähtelymittaukset



|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| SERVICE                         | 2/57       |
|                                 | 636/724992 |
| Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti | 14.2.2012  |

## Sisältö

|   |    |
|---|----|
| SUOSITUKSET                                   | 3  |
| KÄYNNIN SYY / TARKOITUS                       | 4  |
| AJOARVOT JA HAVAINNOT                         | 5  |
| Maanantaina 6.2.2012.                         | 5  |
| Tiistai 7.2.2012                              | 6  |
| Keskiviikko 8.2.2012                          | 7  |
| VÄRÄHTELYANALYYSIT                            | 8  |
| Mittausuunnat                                 | 8  |
| Iskukokeet                                    | 8  |
| Telojen heitot                                | 12 |
| Tuotannonaikaiset mittaukset                  | 13 |
| Mittaus 6.2.2012                              | 14 |
| Mittaus 8.2.2012/ 1                           | 17 |
| Mittaus 8.2.2012/ 2                           | 20 |
| Mittaus 8.2.2012/ 3                           | 23 |
| Pakkovärähtelymuodot                          | 26 |
| VibLog -mittaus                               | 34 |
| Johtopäätökset värähtelymittauksista          | 44 |
| LIITE 1. KÄYTETYT MITTALAITTEET JA ANTUROINTI | 44 |
| MITTALAITTEET                                 | 46 |
| VIERAILUN TIEDOT                              | 56 |
| Käynnin päivämäärä                            | 56 |
| Metso Paper Oy:n edustaja                     | 56 |
| Tilausnumerot                                 | 56 |
| Asiakkaan yhteyshenkilö                       | 56 |
| METSO PAPER OY:N YHTEYSHENKILÖT               | 57 |



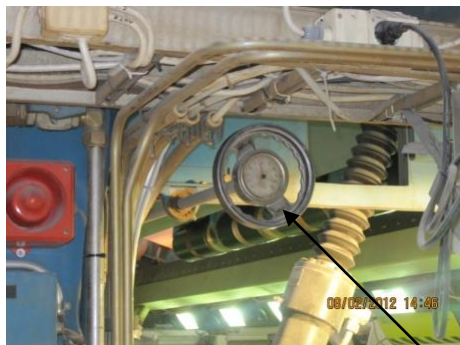
## SUOSITUKSET

Alla olevista taulukoista ilmenee käyntimme aikana havaitut kunnossapitotarpeet ja varaosasuositukset. Pyydämmekin teitä käymään listan läpi, jotta seurantalaverissa voisimme tehdä suunnitelman miten kyseiset kohdat korjataan ja millä resursseilla. Sivunumero listassa viittaa raportin sivuun, missä asia on selostettu tarkemmin.

|    | Pieninvestointisuositukset                             | Sivu |  |
|----|--|------|--|
| 1. | Hylsänsyöttö makasiineista.                            |      |  |
| 2. | Päänviennin arkinsiirtonarun muutos ympäri pyöriväksi. |      |  |
| 3. | Levitystelojen säätöön moottorit                       |      |  |
| 4. | Kireydenmittaus profiilimittaukseksi.                  |      |  |



Hylsänsyöttö. Makasiinit suoja-aitoihin. Suoja-aidat menevät uusiksi.



Käsiyörän tilalle moottori

---

SERVICE

---

---

4/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

14.2.2012

---



Nykyinen kireysmittaus vain päistä.



Profiilimittauksessa anturit tulisivat pätkätelalaakeripesien alle.

## KÄYNNIN SYY / TARKOITUS

Pituusleikkurilla on ollut värinäongelmia leveitten rullien ajossa. Suoritettiin värähtelymittauksia rullausteloista, rullausasemista, rullauspäistä ja perustuksista.

---

 SERVICE
 

---



---

 5/57
 

---



---

 Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti
 

---



---

 636/724992
 

---



---

 14.2.2012
 

---

## AJOARVOT JA HAVAINNOT

Maanantaina 6.2.2012.

Ajossa oli 57 g/m.

**Trimmitys** 3394+2424+2424. Levein rulla oli sisäpuolella asemalla 3.  
Muut käytössä olevat asemat olivat 4 ja 5.

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| <b>Painotelat:</b> Asemalla 3 | 4 kpl |
| Asemalla 4                    | 2 kpl |
| Asemalla 5                    | 2 kpl |

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| <b>Ajokireys</b> Lähdössä | 320 N/m |
| Ajon aikana nosto         | 360 N/m |

|                       |       |          |
|-----------------------|-------|----------|
| <b>Nippikuormitus</b> | Lähtö | 3150 N/m |
|                       | Loppu | 3280 N/m |

|                           |           |              |
|---------------------------|-----------|--------------|
| <b>Painotelakuormitus</b> | Lähtö     | 4000 N/m     |
|                           | Ylösnousu | Halk. 400 mm |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| <b>Keskiömomentti</b> | 12 N/m |
|-----------------------|--------|

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| <b>Kiihtyvyys/hidastuvuus</b> | 0,3 m/sec. |
|-------------------------------|------------|

### I muutto

Ajonopeus 1300 m/min. Ei tärinöitä

### II muutto

Ajonopeus 1500 m/min. Kireys 380 N/m. Ei mainittavaa tärinää

---

SERVICE

---

---

6/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

14.2.2012

---

**III muutto**

Ajonopeus 1500 m/min. Kireys 400 N/m . Lievää tärinää.

Rullat OK.

**IV muutto**

Ajonopeus 1600 m/min. Tärinä alkoi halk. 550 mm. Halk. 750 lievää tärinää ja kohti loppua hävisi kokonaan.

**V muutto**

Ajonopeus 1600 m/min. Tärinää halk 650 mm.

Tiistai 7.2.2012

Ajossa 51 g/m

**Trimmi** 3360+2400+2400

**Kireys** 380 N/m

**Muut ajoarvot samat kuin edellisenä päivänä.**

Leveitä rullia saatiin ajoon vasta illansuussa.

**I muutto**

Nopeus 1100 m/min. Loppu halkaisija oli 1220 mm. Ei tärinöitä.

**II muutto**

Nopeus 1200 m/min. Halkaisijalla 788 mm tuli katko.

Takareunasta lähti reuna lepattamaan ja katkesi esileikkausterille. Ei tärinöitä

Ajoja ei päästy jatkamaan katkojen takia. Siirrettiin mittaukset seuraavalle päivälle.

---

SERVICE

---

---

7/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

14.2.2012

---

Keskiviikko 8.2.2012

Ajossa 50 g/m.

**Trimmi** 3500+2400+2400  
**Kireys** 340 N/m.  
**Muut** Samat kuin edellä.

**I muutto**

Nopeus 1200 m/min. Lievää tärinää.

**II muutto**

Nopeus 1300 m/min. Leikkausosalla lepatusta.

**III muutto**

Nopeus 1400 m/min. OK

**IV muutto**

Nopeus 1700 m/min. OK

**V muutto**

Nopeus alussa 1000 m/min. ( reikä). Nostettiin nopeus 1700 m/min. OK

**VI muutto**

Nopeus 1800 m/min.OK

**VII muutto**

Nopeus 1800 m/min OK

**VIII muutto**

Nopeus 1700 m/min OK

**IX muutto**

Nopeus 1600 m/min OK

**X muutto**

Nopeus 1500 m/min OK

---

SERVICE

---

---

8/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

14.2.2012

---

## XI muutto

Leikkuri pysäytettiin rullan halkaisijan ollessa 500 mm. Tässä tehtiin iskukoe. Seuraava pysäytys halkaisijalla 750 mm ja iskukoe. Viimeinen pysäytys halkaisijalla 900 mm.

## VÄRÄHTELYANALYYSIT

### Mittaussuunnat

Kaikissa mittauksissa käytetään samaa koordinaatistoa. Mittaussuunnat ovat:

X = MD (konesuunta)

Y = pystysuunta

Z = CD (poikkisuunta).

Ennen varsinaista raportointia tulosten tarkastelu suoritettiin yhdessä Metson ja UPM Rauman kesken Järvenpäässä 12. – 13.03.2012.

### Iskukokeet

Iskukokeet tehtiin seisovilla teloilla ilman rullia sekä rullien kanssa kolmella eri rullan halkaisijalla. Rullien kanssa mitattiin vain sisäpuolista telaa/ rullaa. Iskukokeiden tarkoituksena oli selvittää mahdolliset ominaistajuudet ja sitä kautta resonanssit ongelmataajuusalueella. Taulukoissa 1 on esitetty mitatut ominaistajuudet, kuvissa 2 mitatut taajuusvastefunktiot.

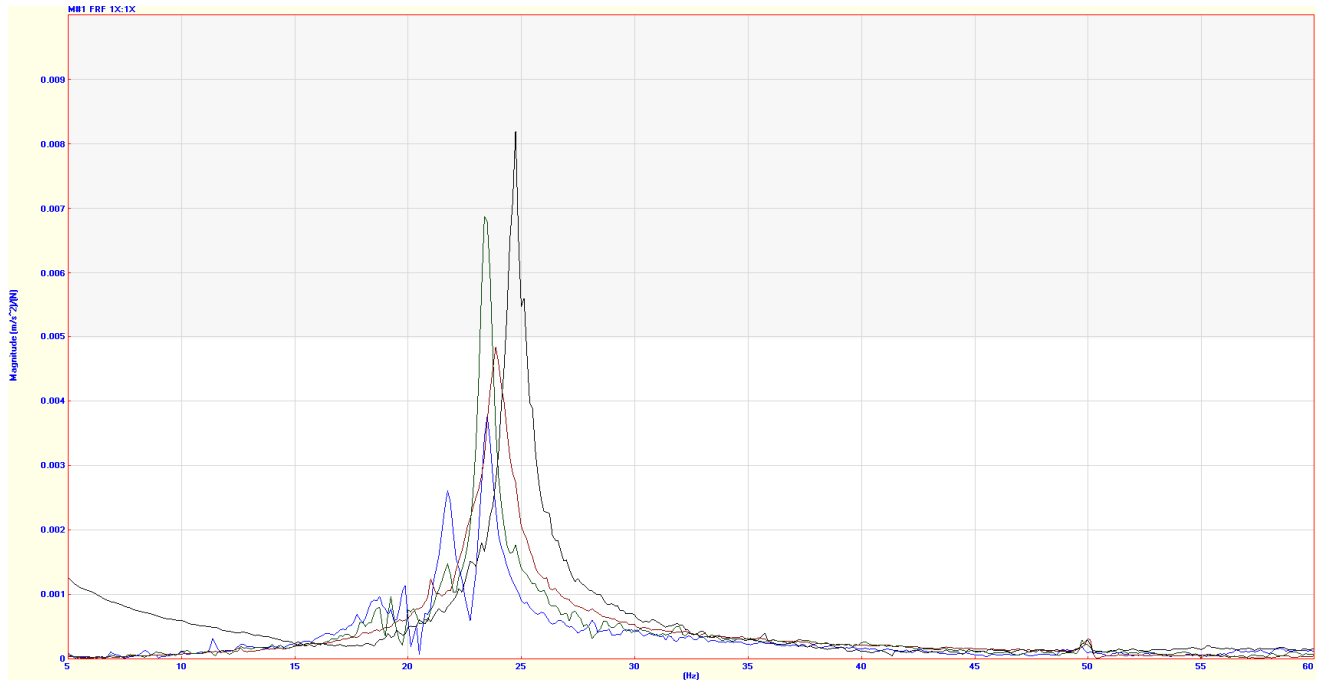
Iskukokeilla mitattiin taajuusvastefunktiot (FRF = Frequency Response Function). Taajuusvastefunktio kuvaa systeemiin tuodun voiman ja systeemin vasteen välistä suhdetta sisältäen mm. vaihekulmatiedon. Telojen mittauksessa vaste ja heräte annettiin keskelle telaa. Rullan kanssa heräte annettiin edelleen keskelle telaa, vaste mitattiin sekä telalta että rullalta.

**Taulukko 1a.** Iskukokeilla mitatut ominaistajuuudet teloilta.

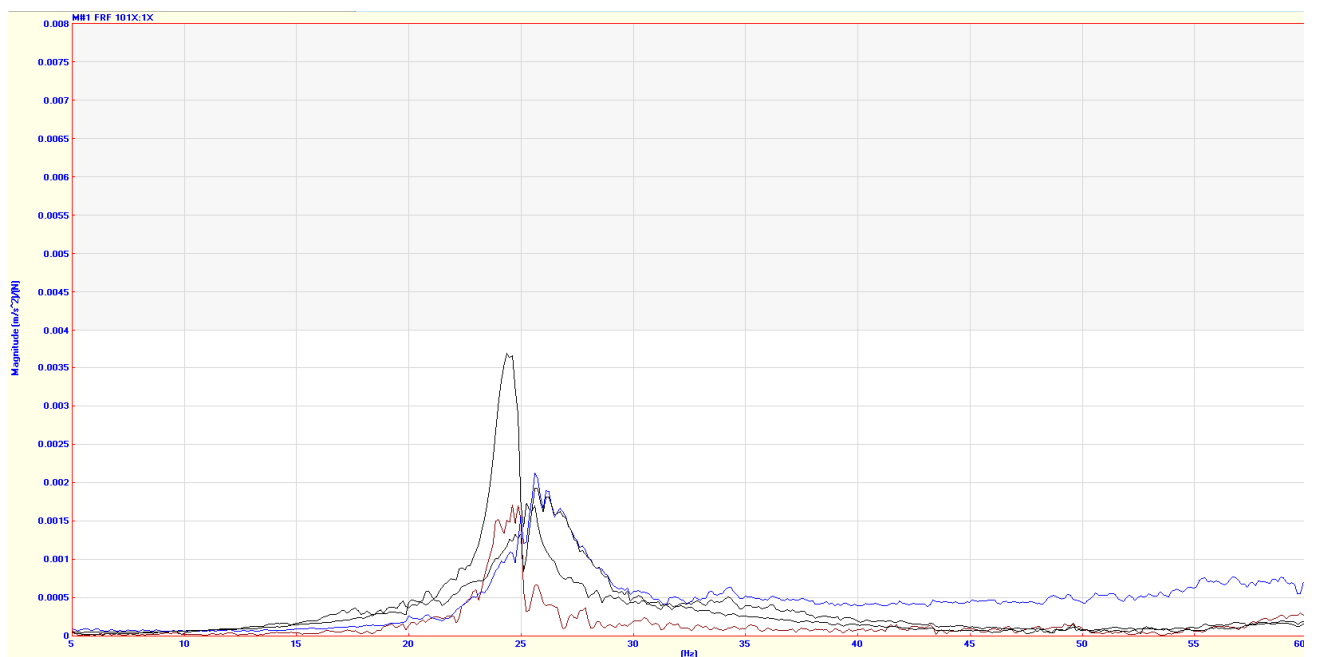
| Tela | Suunta | f [Hz]  | Amp. [m/s <sup>2</sup> / N] | Amp. [μm/ N] |
|------|--------|---------|-----------------------------|--------------|
| TT   | X      | 23.4291 | 0.00687036                  | 0.317        |
| TT   | Y      | 24.737  | 0.0081938                   | 0.339        |
| ET   | X      | 23.923  | 0.004846                    | 0.214        |
| ET   | Y      | 23.4163 | 0.003772                    | 0.174        |
|      | X      | 21.764  | 0.002615                    | 0.140        |

**Taulukko 1b.** Iskukokeilla mitatut ominaistajuuudet, rullat teloilla pysäytetty.

| Rulla D | Suunta | f [Hz] | Amp. [m/s <sup>2</sup> / N] | Amp. [μm/ N] |
|---------|--------|--------|-----------------------------|--------------|
| 503 mm  | X      | 24.500 | 0.0036348                   | 0.153        |
|         | Y      | 25.625 | 0.0021301                   | 0.082        |
| 762 mm  | X      | 23.125 | 0.0040295                   | 0.191        |
|         | Y      | 27.875 | 0.0017596                   | 0.057        |
|         | Y      | 49.625 | 0.0015234                   | 0.0157       |
| 897 mm  | X      | 22.625 | 0.0042387                   | 0.210        |
|         | Y      | 26.500 | 0.0014285                   | 0.052        |
|         | Y      | 44.375 | 0.0019599                   | 0.025        |

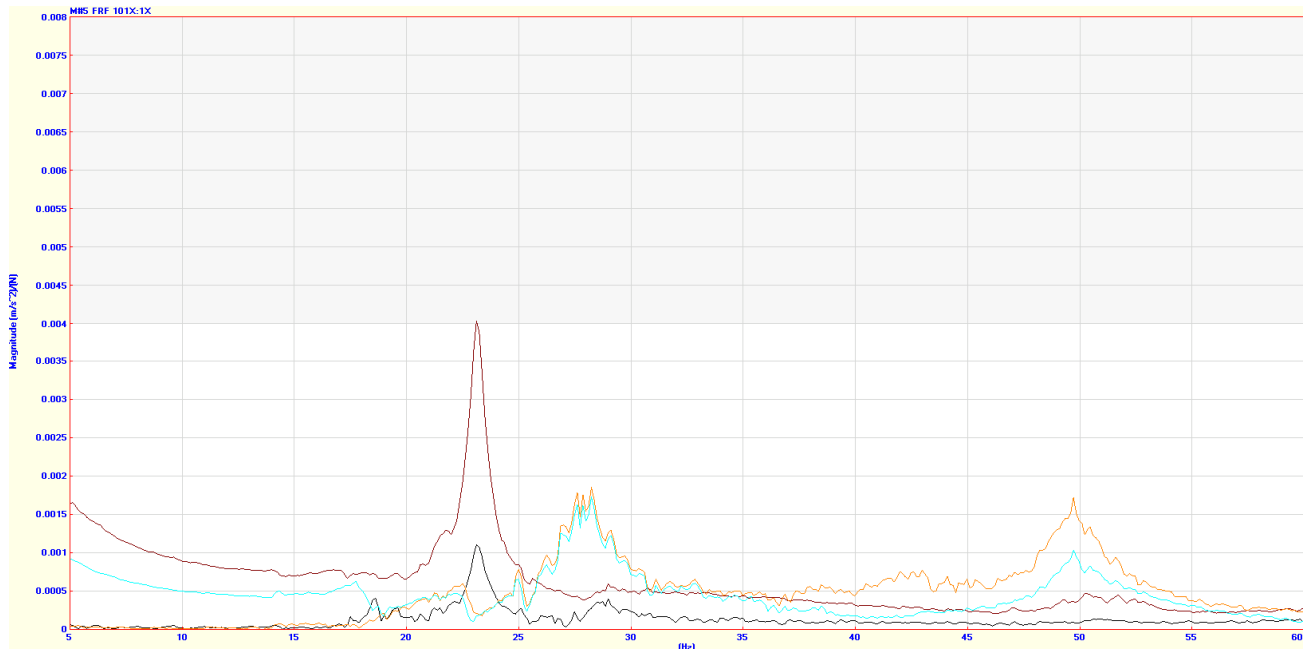


Kuva 2a. Taajuusvastefunktiot teloilta.

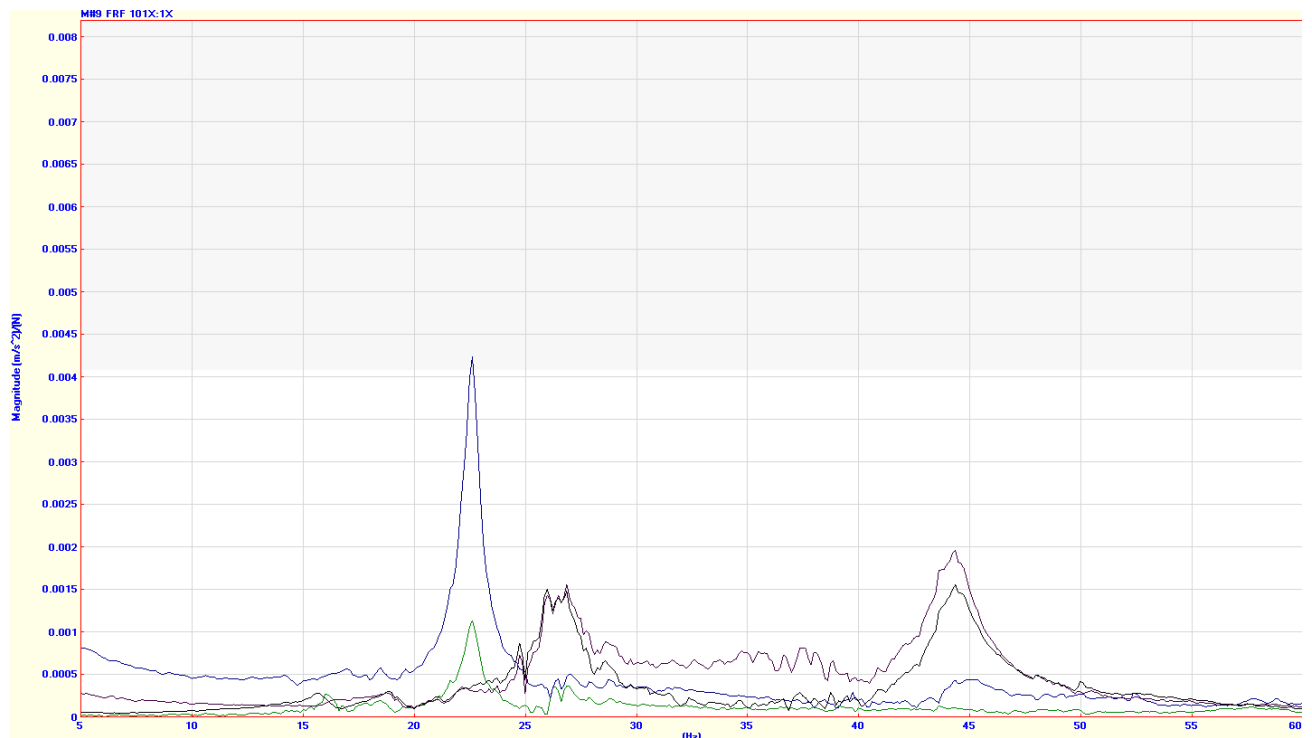


Kuva 2b. Taajuusvastefunktiot, rulla 503 mm.





Kuva 2c. Taajuusvastefunktiot, rulla 762 mm.



Kuva 2d. Taajuusvastefunktiot, rulla 897 mm.

Rullan mukanaolo muuttaa systeemin dynamiikkaa. Rullan mukanaan tuomien ilmiöiden taajuus muuttuu rullan halkaisijan kasvaessa (massa ja jäykkyys muuttuvat). Iskukokeissa näkyy halkaisijan 503 mm jälkeen taajuus alueella  $df = 40...50$  Hz, taajuudella  $f \approx 26$  Hz esiintyvä taajuus näkyy myös myöhemmissä tuloksissa.

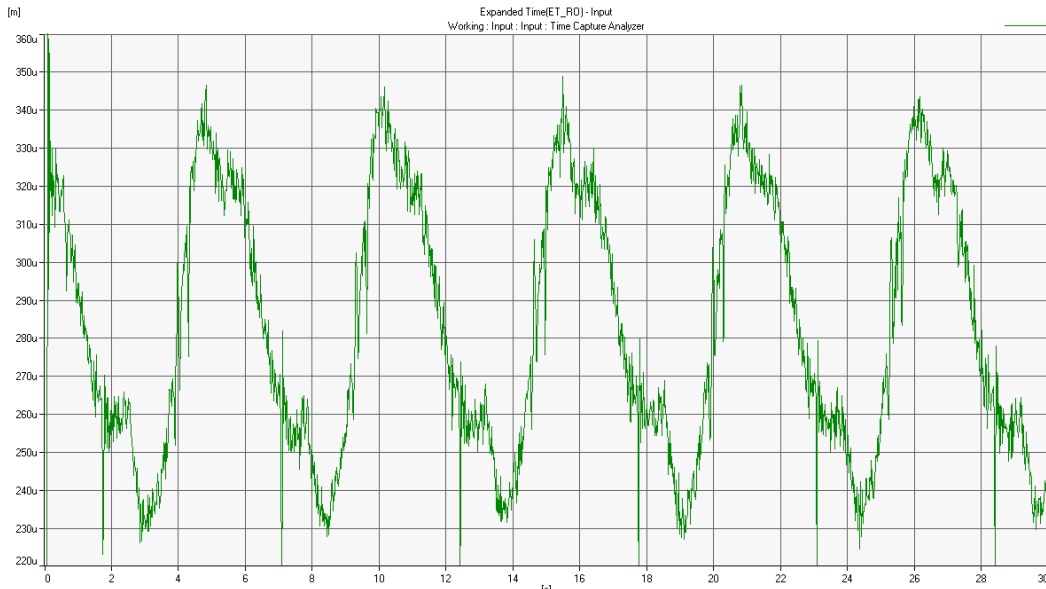
## Telojen heitot

Telojen heitot on määritetty hitaasta pyöryksestä (staattinen) sekä tässä tuotannolla ajetulta maksiminopeudelta  $v = 1800$  m/min (dynaaminen). Mitatut heittoarvot  $[\mu m]_0 - P$  on esitetty taulukossa 2. Mitatut heittoarvot ovat hyväksyttävissä lukemissa.

**Taulukko 2.** Telojen heitot.

|                    |       |             |             |
|--------------------|-------|-------------|-------------|
| Heitto @30 m/min   |       |             |             |
| ET                 |       |             |             |
|                    |       | 1 x n 0 - P | 2 x n 0 - P |
|                    |       | 51.0        | 10.0        |
| -----              |       |             |             |
| TT                 |       |             |             |
|                    |       | 1 x n 0 - P | 2 x n 0 - P |
|                    |       | 35.0        | 10.0        |
| Heitto @1800 m/min |       |             |             |
| ET                 |       |             |             |
| 1 x n              | 2 x n | 0 - P       | 0 - P       |
| 58                 | 69    | 82.0        | 97.6        |
| -----              |       |             |             |
| TT                 |       |             |             |
| 1 x n              | 2 x n | 0 - P       | 0 - P       |
| 19                 | 26    | 26.9        | 36.8        |

Staattiset heittoarvot on luettu aikatasosignaalista, kuva 3. Kuten taulukosta nähdään, tuotannolla telojen käyttäytymiseen vaikuttaa koko systeemin dynamiikka. Mitä vähemmän teloissa on heittoa, sitä vähemmän herätettä systeemiin tulee. Vaikka heittoarvot ovat hyväksyttäviä, on telojen välillä selkeästi eroa.



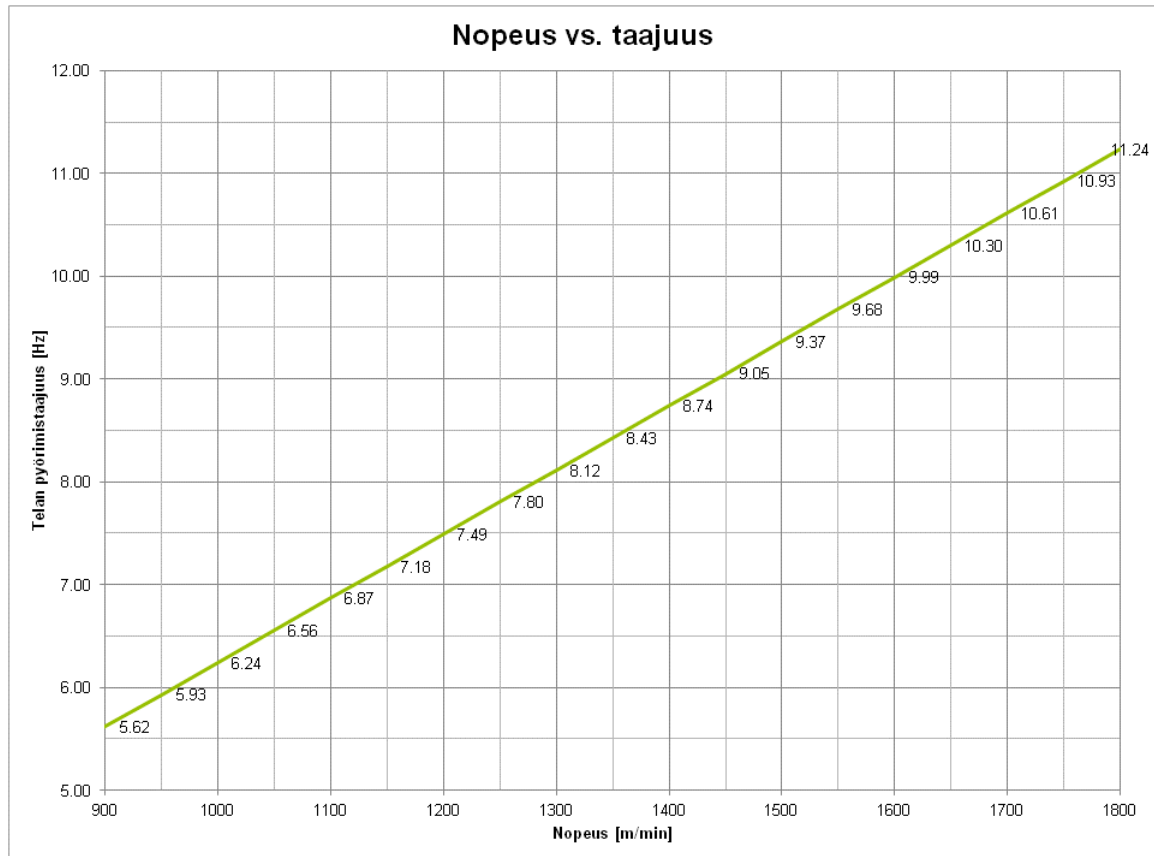
Kuva 3. Etutelan heitto nopeudella 30 m/min, staattinen heitto.

## Tuotannonaikaiset mittaukset

Tuotannonaikaisia mittauksia tehtiin kolmena päivänä välillä 06. – 8.2.2012. Tämän raportin sivuilla 6 – 9 on esitetty ajettut muutokset asetuksiin. Testipäivältä 07.02.2012 ei saatu mitattua yhtään haluttua muutosta, joten ko. päivältä ei myöskään esitetä analyysin tuloksia.

Tuotannon aikaisissa mittauksissa on löydettävissä kaksi selkeää resonanssikohtaa taajuuskaistalla  $df = 0 \dots 100$  Hz. Korkeampi taajuus on alueella  $df_1 \approx 40 - 50$  Hz, joka on tulosten valossa selkeästi rullan (aseman) tärinää. Matalampi taajuus on alueella  $df_2 \approx 20 - 25$  Hz, jossa alueella puolestaan värähtelyssä on voimakkaasti mukana myös telat. Iskukoetuloksissa näkyvät myös ominaistaajuudet samalla alueella.

Kuvassa 4 on esitetty tulosten tulkitsemisen avuksi ajonopeus suhteessa telan pyörimistaajuuteen.

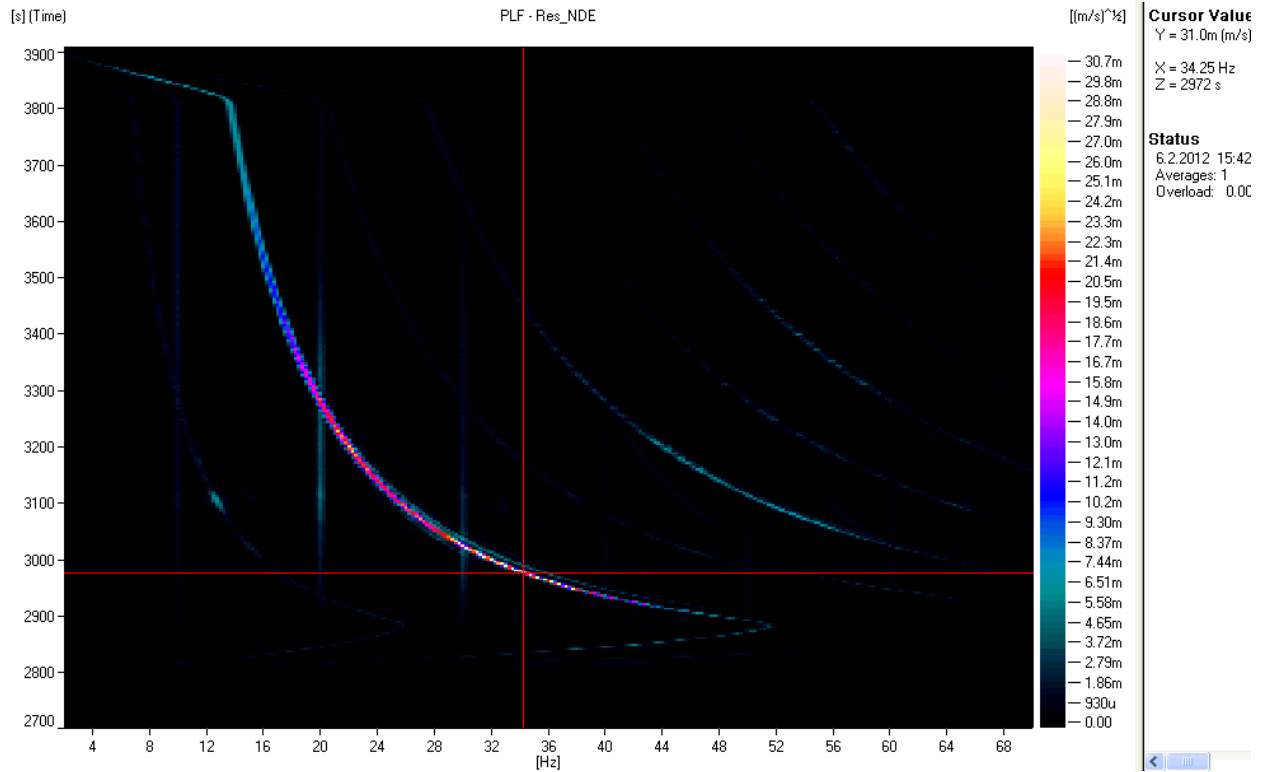


*Kuva 4. Ajonopeus vs. pyörimistaajuus.*

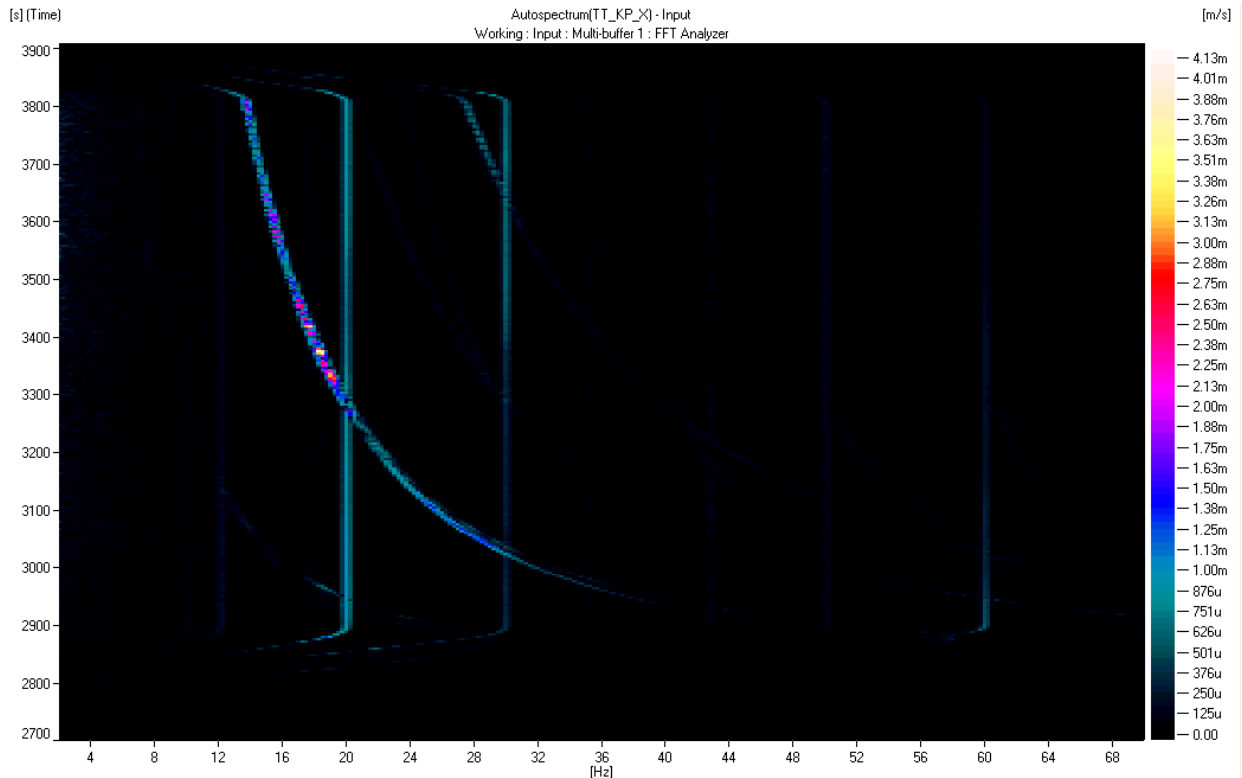
## Mittaus 6.2.2012

Tuotannon aikana mitattiin värähtelyä telojen laakeripesiltä, rullausasemalta (3) sisäpuolelta rullauspäistä sekä konetasolta, telojen heittoa keskeltä sekä leikkurin alapuoliselta tasolta. Kaikki vasteet ilmoitetaan yksiköissä  $[\text{mm/s}]_{\text{rms}}$  lukuunottamatta heittoa signaaleita, jotka ovat yksikössä  $[\mu\text{m}]_{\text{rms}}$ .

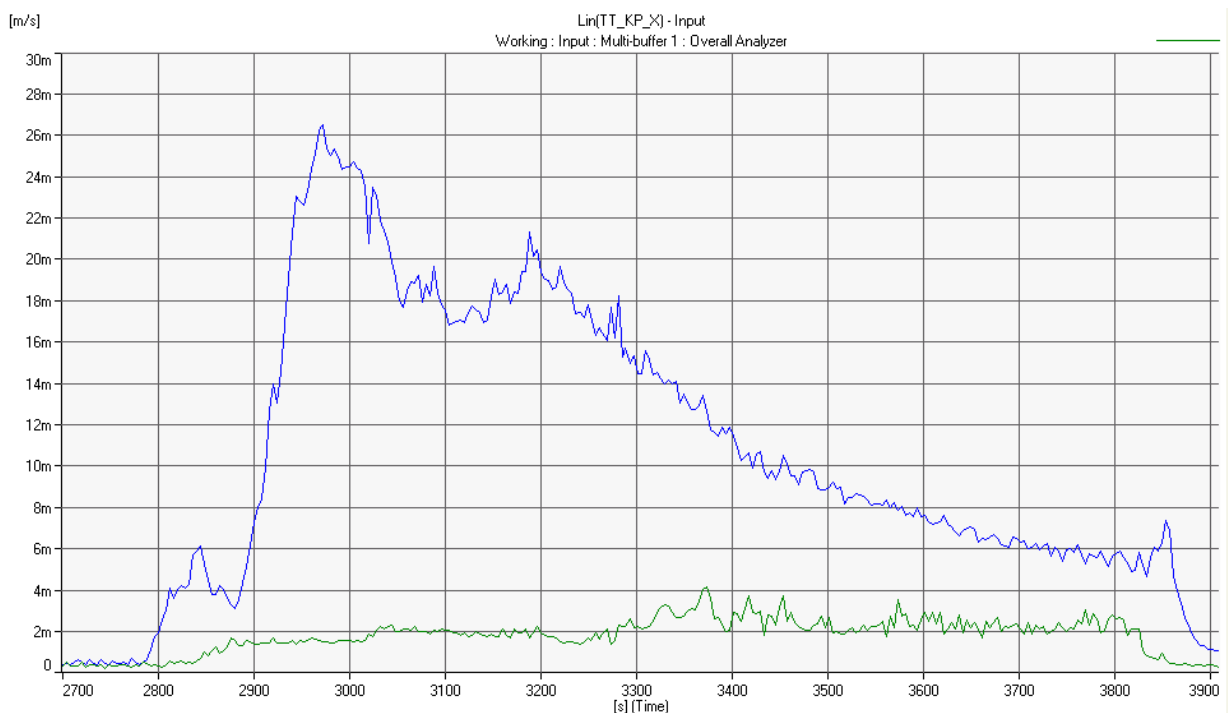
Seuraavassa esitetty muutto on järjestyksessä muutto IV ko. päivältä, nopeus 1600 m/min ja laji 57 g/m<sup>2</sup>. Voimakkainta värähtely on rullauspäässä rullan toisella monikerralla rullan halkaisijalla 500 mm. Teloilta vastaavalla monikerralla värähtely näkyy myöhemmin, kun rullan ja telan toinen monikerta yhtyvät. Korkein värähtely on tässä rullan tärinää.



*Kuva 5a.* Rullauspään resultanttivärähtely ( $\sqrt{X^2 + Y^2}$ ). Värähtely on voimakkainta rullan toisella monikerralla. Rullan halkaisija on 500 mm kursorin kohdalla, värähtely alkaa voimistua halkaisijan n. 450 mm jälkeen.



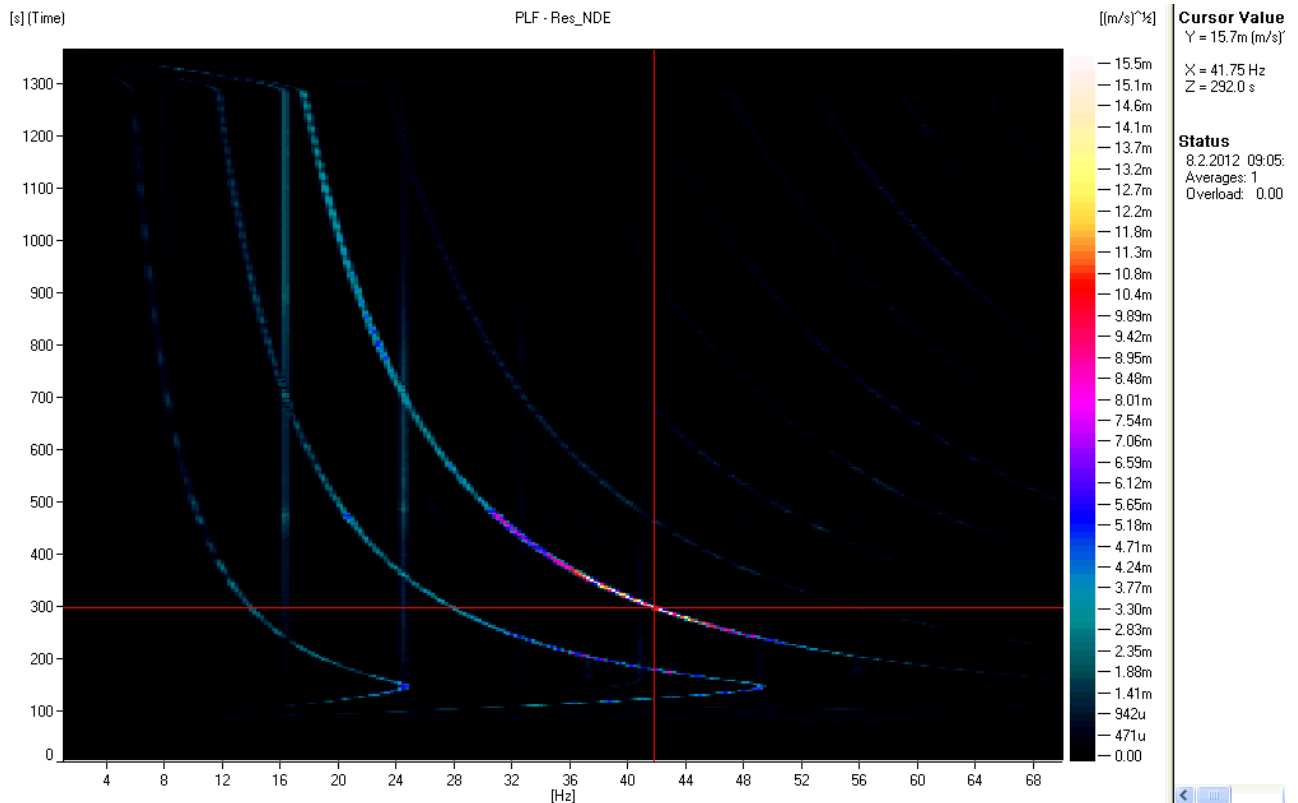
Kuva 5b. Telan KP laakeripesän vaste.



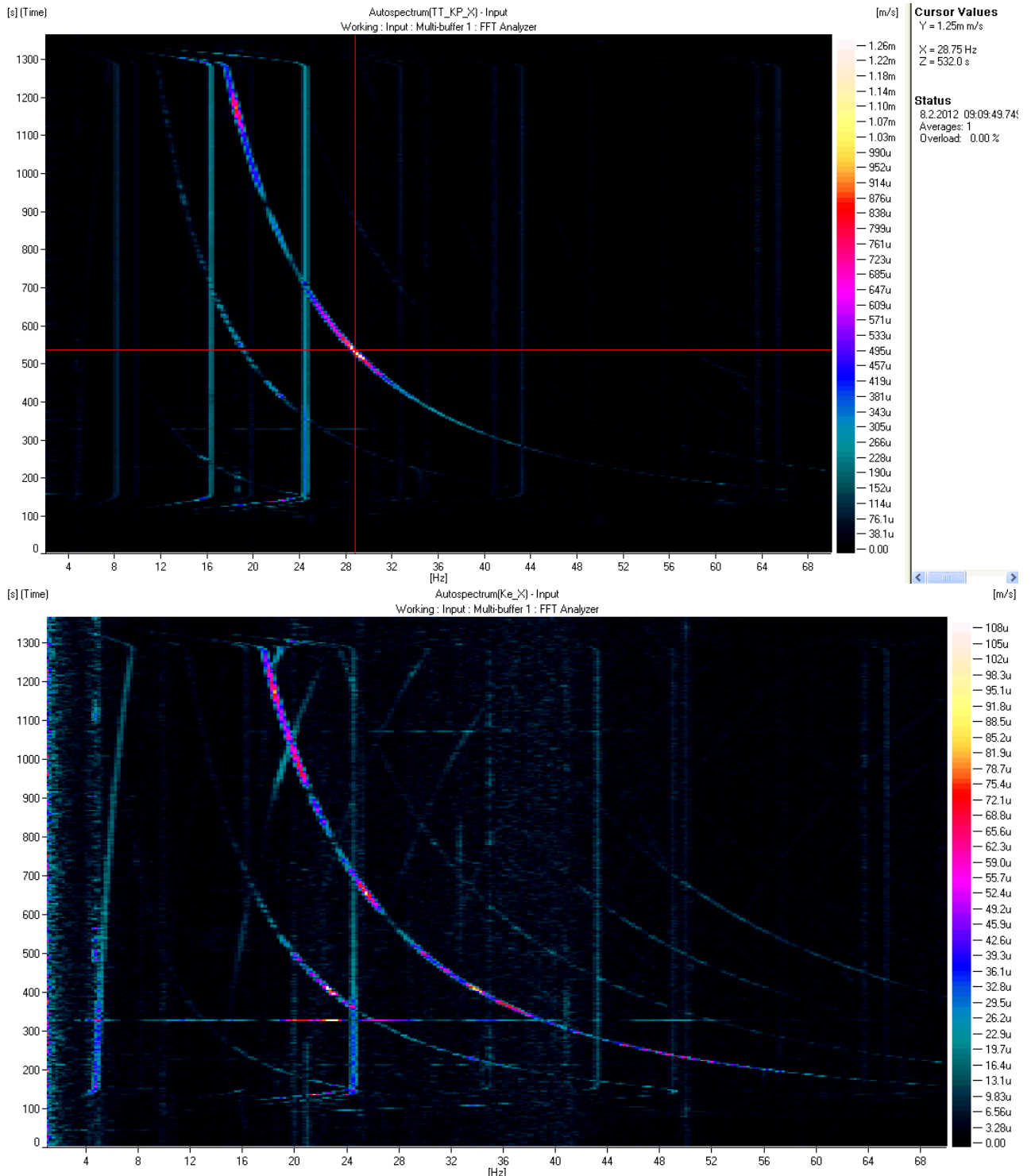
Kuva 5c. Kokonaistasovaste  $v_{rms}$  kaistalla  $df = 0.7 - 100$  Hz. Sininen = rullauspää, vihreä = telan laakeripesän vaste. Rullauspään värähtely on rullauksen alussa voimakasta.

### Mittaus 8.2.2012/ 1

Ensimmäisenä tältä päivältä esitettävä muutto on järjestyksessä muutto II ko. päivältä, nopeus 1300 m/min ja laji 50 g/m<sup>2</sup>. Tässäkin voimakkain värähtely on rullauspäässä, mutta tässä tapauksessa rullan kolmannella monikerralla, samalla rullan halkaisijalla 500 mm, vastetaso on tässä matalampi. Edellä esitetystä muutosta samalla taajuusalueella värähtelyä esiintyi toisella monikerralla nopeuden ollessa 1600 m/min. Teloilla vastaavalla monikerralla värähtely näkyy myöhemmin, kun ko. monikerran taajuus pyyhkäisee resonanssin yli matalammalla taajuudella.

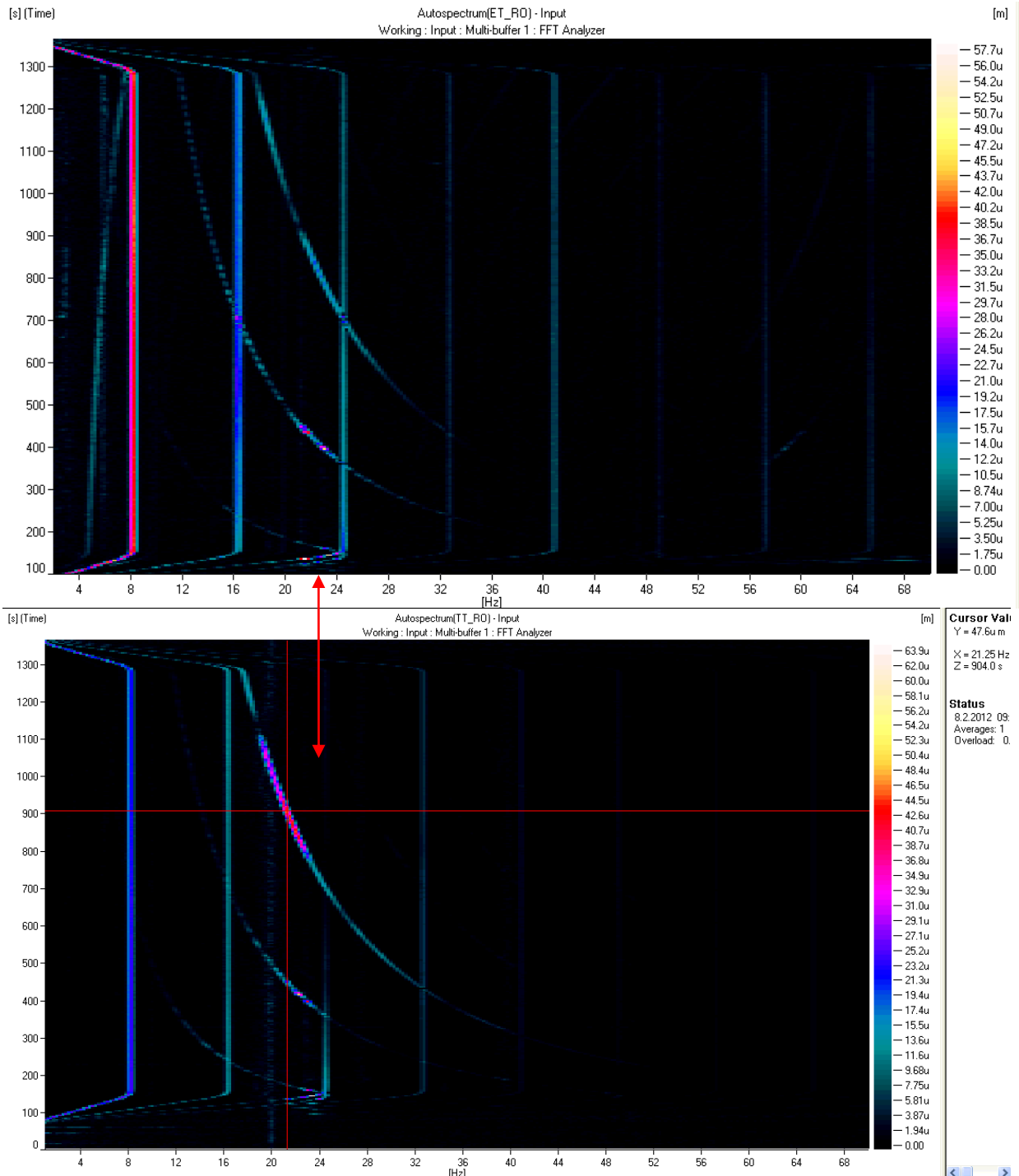


*Kuva 6a.* Rullauspään resultanttivärähtely. Värähtely on voimakkainta rullan kolmannella monikerralla. Rullan halkaisija on 500 mm kursorin kohdalla, värähtely alkaa voimistua halkaisijan n. 430 mm jälkeen.



Kuva 6b. Yllä telan laakeripesän vaste, alla leikkurin alapuolisen lattian vaste, molemmat X –suunnassa. Sama rullan monikerran vaste näkyy molemmissa signaaleissa. Ylemmän kuvan kursorin kohdalla rullan halkaisija on 725 mm.



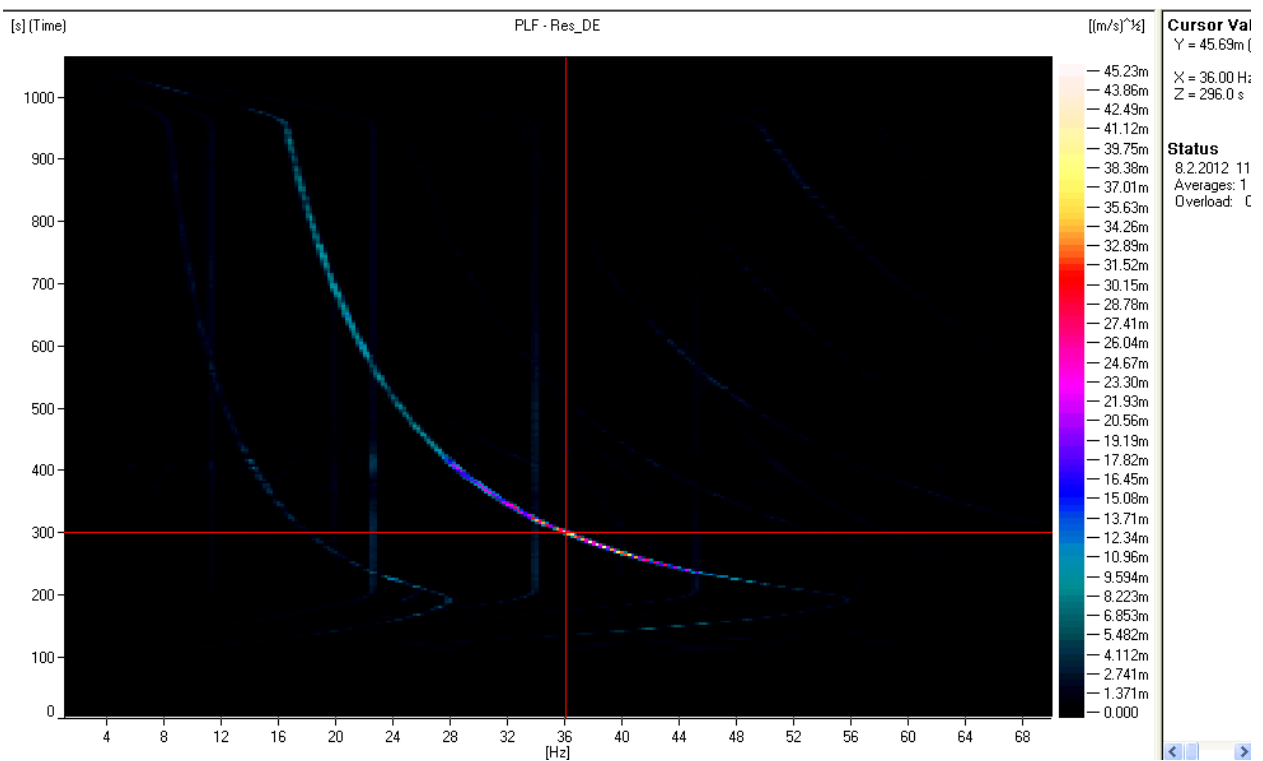


Kuva 6c. Heittosignaalit, yllä ulompi tela, alla sisempi. Ulommassa telassa näkyy pääasiassa telan kerran kierroksella vaste, sisemmässä telassa näkyy selvästi resonanssin (nuoli) ylitys kolmella alimmalla monikerralla. Kursorin kohdalla rullan halkaisija 980 mm.

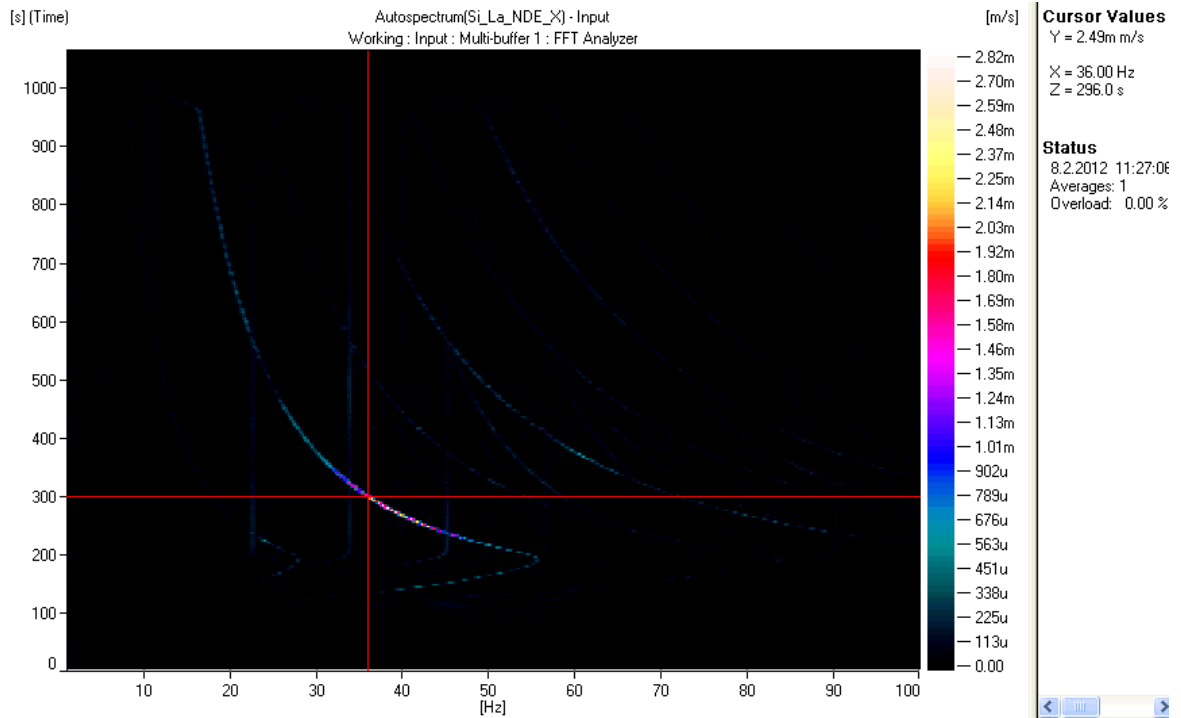
## Mittaus 8.2.2012/ 2

Tässä esitettävä muutto on järjestyksessä muutto VI ko. päivältä, nopeus 1800 m/min ja laji 50 g/m<sup>2</sup>. Tässäkin voimakkain värähtely on rullauspäässä ja rullan toisella monikerralla. Värähtely voimistuu rullan halkaisijasta 450 mm. Teloilla näkyy tässä voimakkaana niiden 2 x n heräte resonanssin kohdalla ja em. rullan monikerta myöhemmin. Molemmat ilmiöt näkyvät rullauksen alussa, samanaikaisesti vaikka kyseessä on kaksi eri ilmiötä.

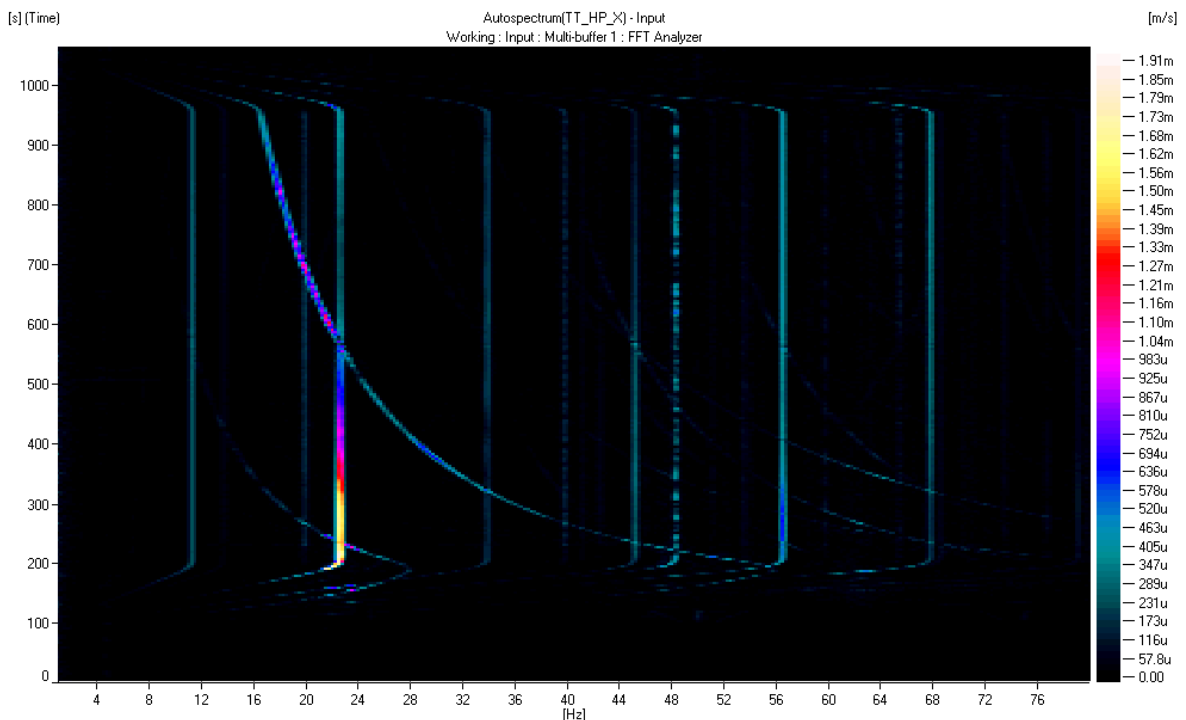
Aikaisempiin poiketen mm. tässä muutossa näkyy epäkeskeisen tampuurin aiheuttama heräte.



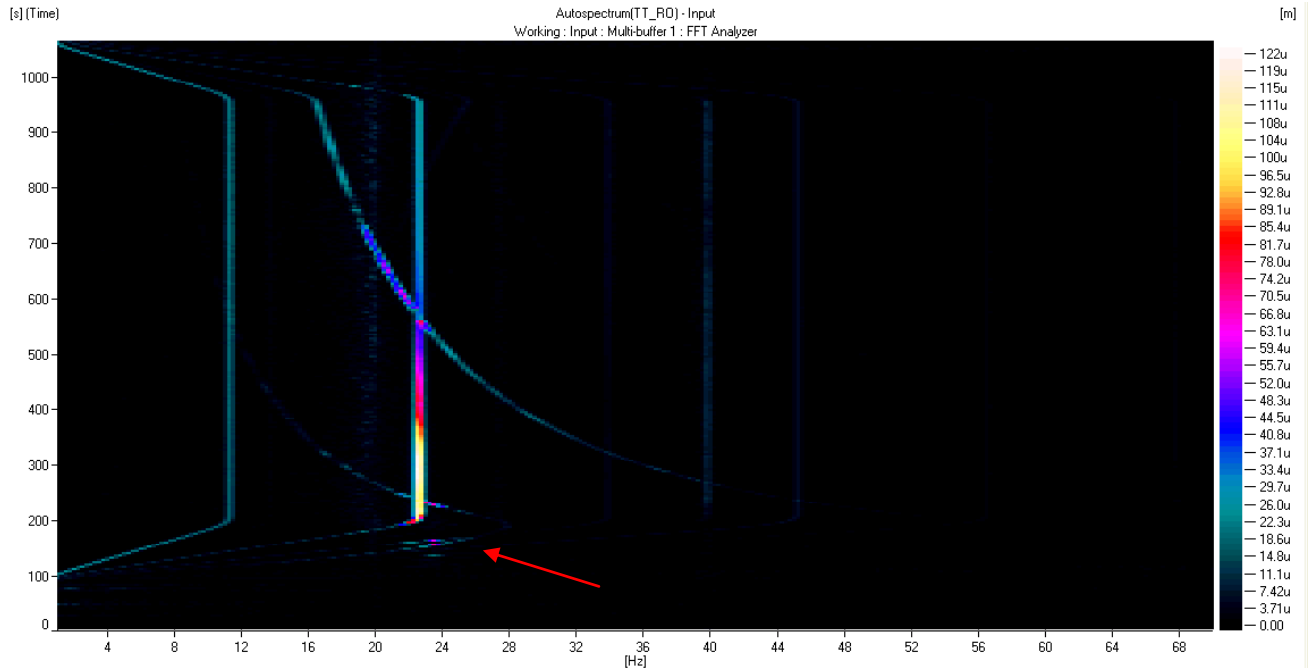
Kuva 7a. Rullauspään resultanttivaste. Värähtely on voimakkainta rullan toisella monikerralla, max 45 mm/s<sub>rms</sub>. Rullan halkaisija on 535 mm kursorin kohdalla, värähtely alkaa voimistua halkaisijan n. 430 mm jälkeen.



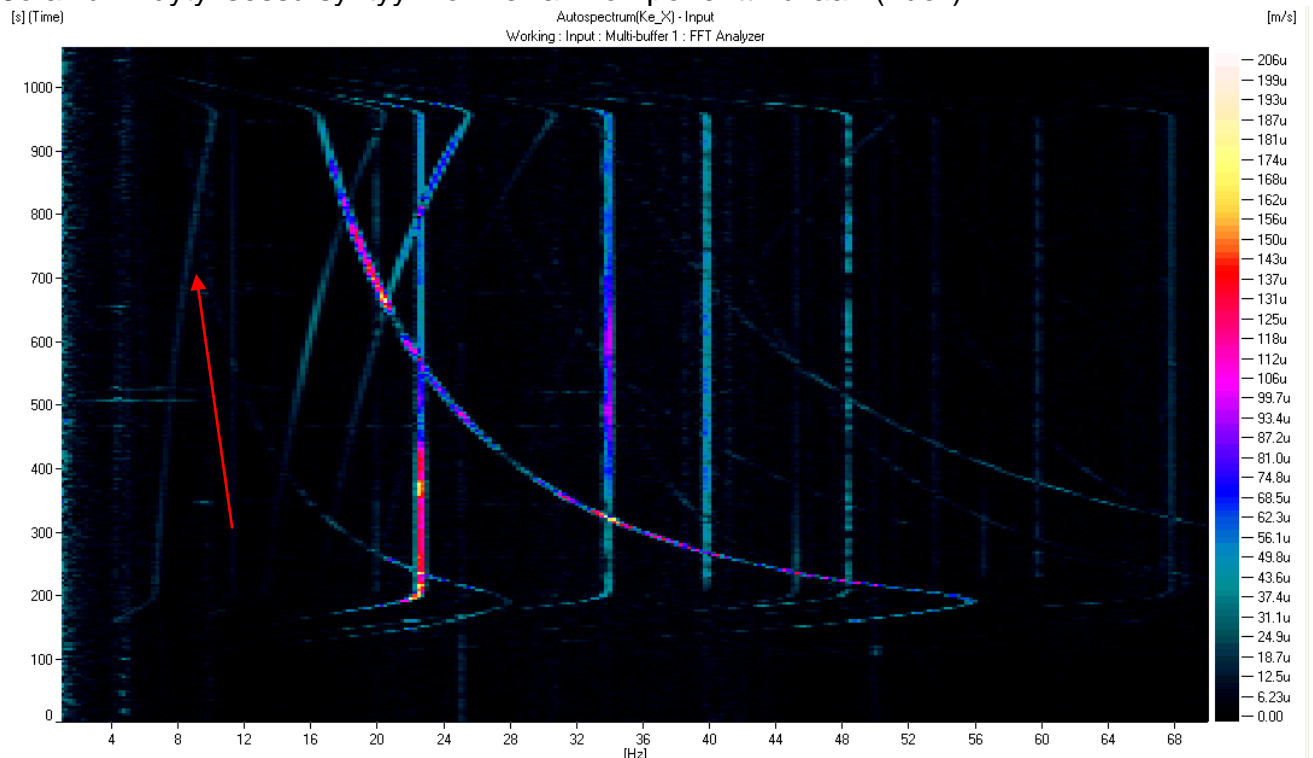
Kuva 7b. Konetason vaste asemalta kolme. Sama taajuuskomponentti.



Kuva 7c. Telan laakeripesän vaste. Telalla näkyy sen oma monikerta (2.). Rullan halkaisijan kasvaessa heräte ei ole enää ominaistaajuuden kohdalla ja ko. vaste laskee, telassa itsessään ei siis ole soikeutta.



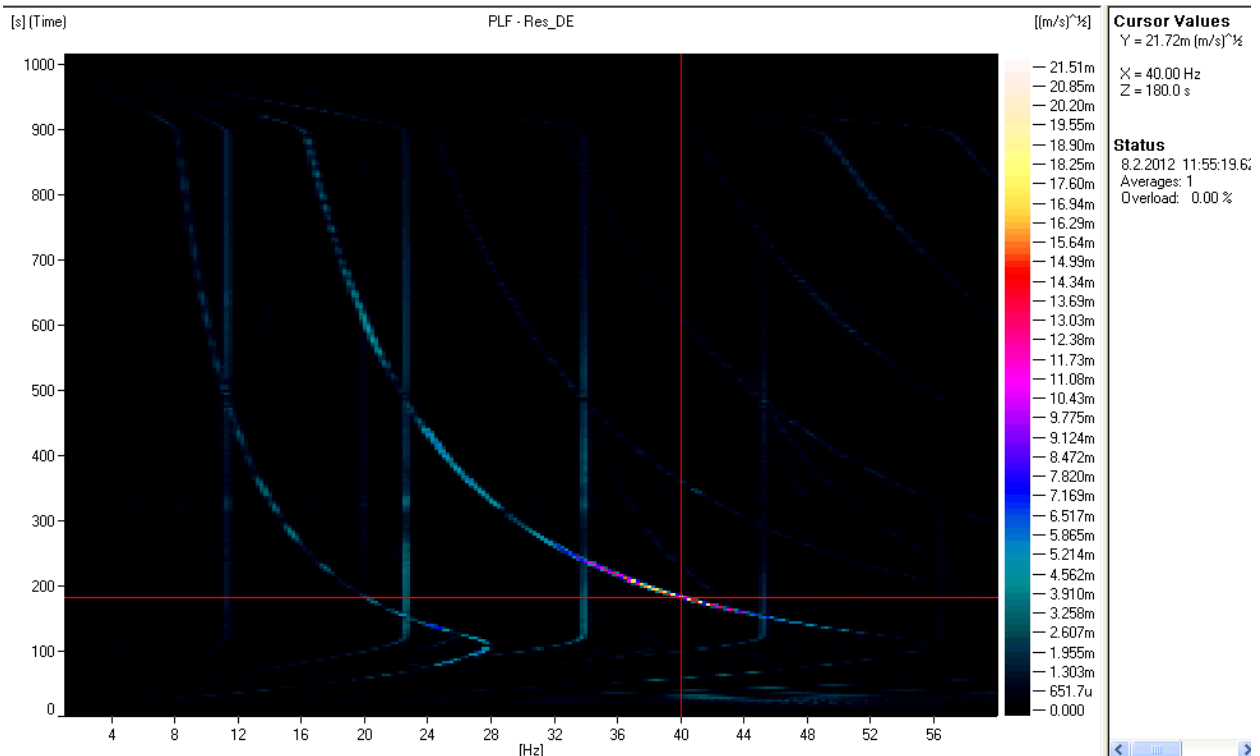
Kuva 7d. Sisätelan heitto. Sama taajuuskomponentti kuin laakerissa, telan 2. monikerta. Jo alkukiihdytyksessä syntyy monikerran komponentti rullaan (nuoli).



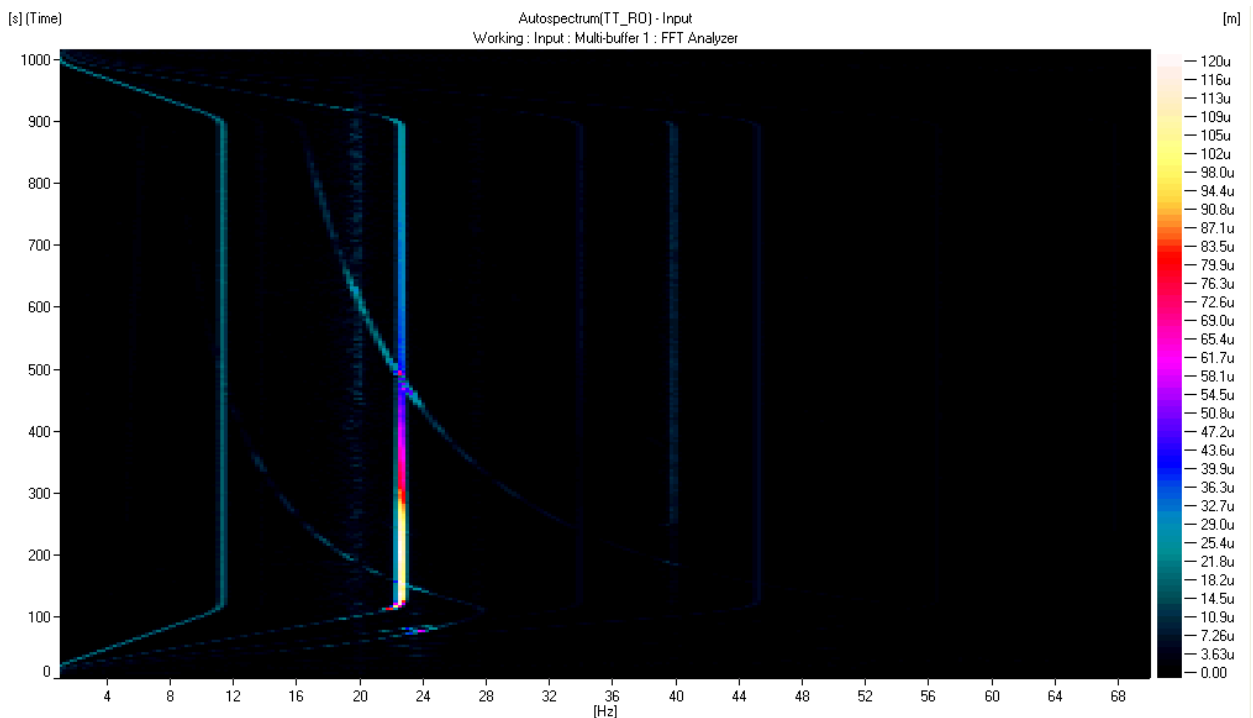
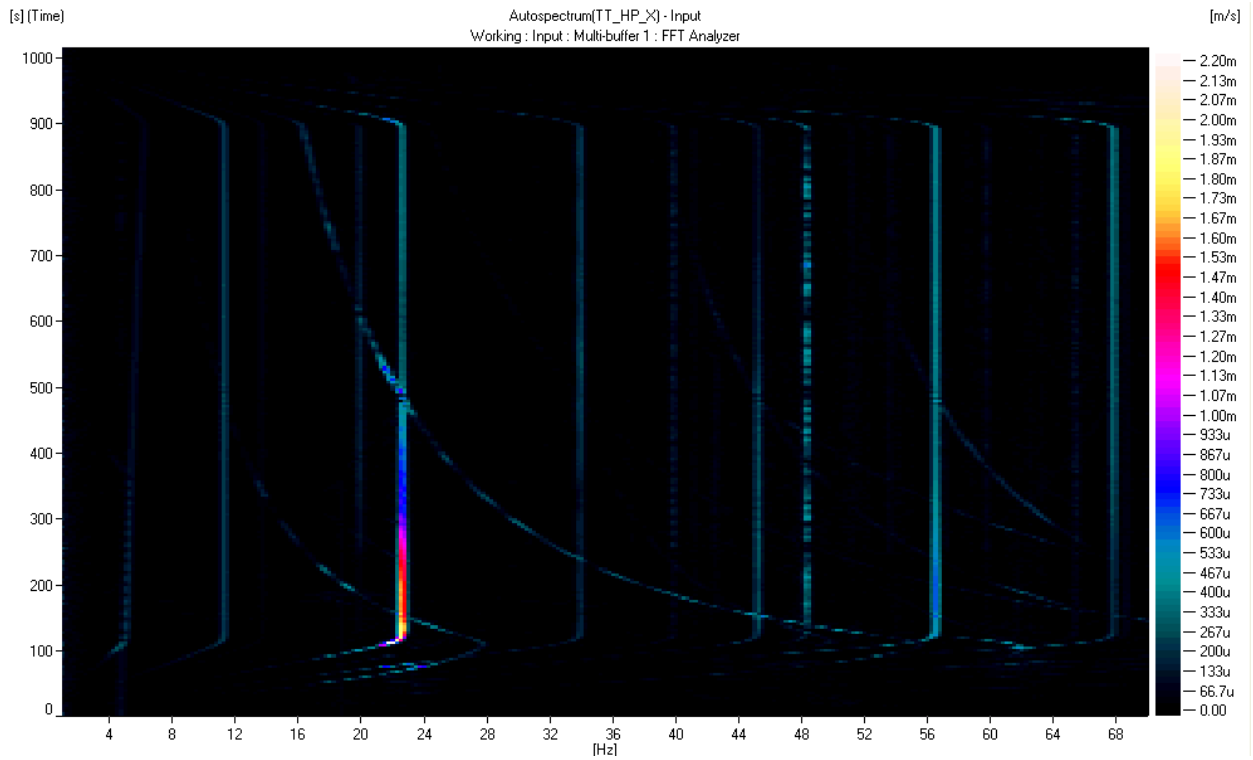
Kuva 7e. Kellaritason vaste. Sekä rullan että telan herätteet näkyvät selkeästi. Myös tampoarin heräte näkyy tässä selvästi (nuoli).

### Mittaus 8.2.2012/ 3

Tässä esitettävä muutto on järjestyksessä muutto VII ko. päivältä, nopeus 1800 m/min ja laji 50 g/m<sup>2</sup>. Sama nopeus ja reunaehto kuin edellisessä muutossa. Värähtely esiintyy samalla tavalla kuin edellisessä, erotuksena on tässä selkeästi matalampi vastetaso asemalla. Muuten lähes identtiset tapahtumat, heitto ja telan laakeripesän vaste saman suuruiset. Koska kyseessä on rullan muokkautuminen jollekin sen monikerralle, eivät muutot keskenään käyttäydy samalla tavalla.



*Kuva 8a.* Rullauspään resultanttivaste. Värähtely on voimakkainta rullan toisella monikerralla, max 22 mm/s<sub>rms</sub>. Rullan halkaisija on 485 mm kursorin kohdalla, värähtely alkaa voimistua halkaisijan n. 430 mm jälkeen.



Kuva 8b. Yllä laakeripesän vaste, alla heitto. Taajuudet ja vasteet identtiset edelliseen muuttoon nähden. Voimakas vaste rullan halkaisijalla  $\varnothing_r = 330 \dots 630$  mm.

---

SERVICE

---

---

25/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

14.2.2012

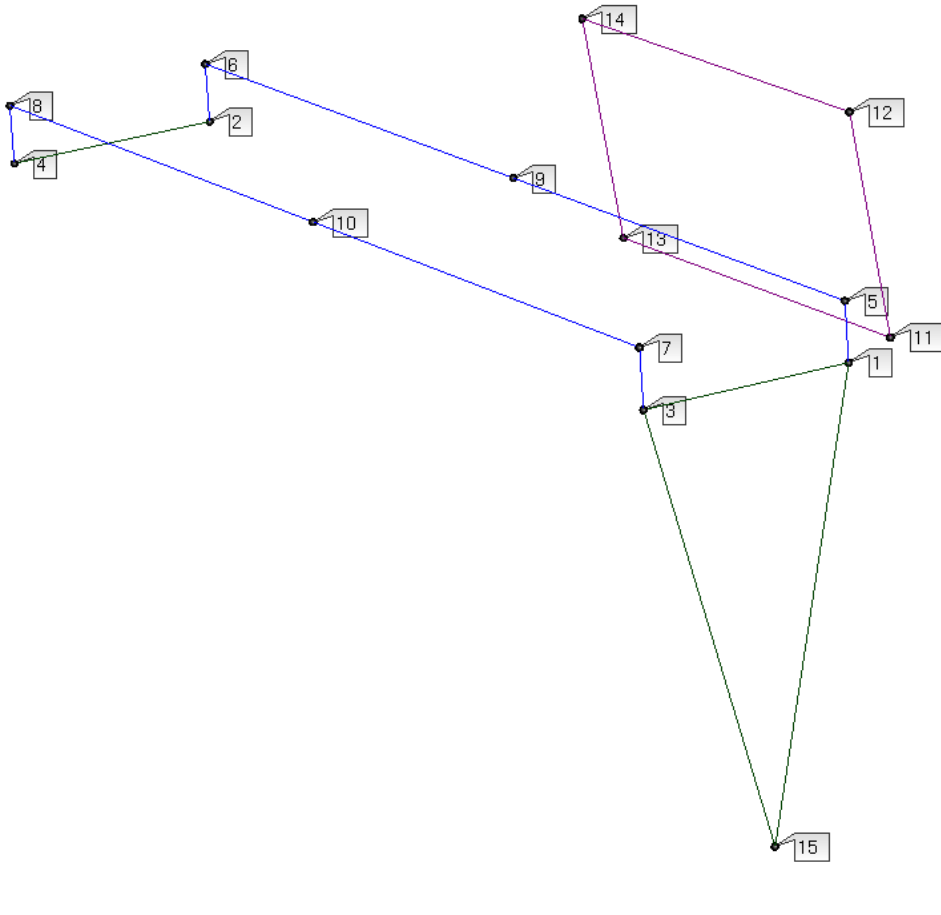
---

Tuotannon aikaisista mittauksista voidaan erottaa kaksi toisistaan poikkeavaa ilmiötä. Rullan värähtely esiintyy taajuusalueella  $df_1 \approx 40 \dots 50$  Hz, telalla näkyvät värähtelyt puolestaan taajuusalueella  $df_2 \approx 20 \dots 25$  Hz.

Värähtelyn tahdistuminen rullaan on voimakasta, varsinkin ensimmäisellä taajuusalueella. Vaikka vaste näkyy toisella taajuusalueella selvästi teloilla, on se kuitenkin sidoksissa rullaan, sillä vaste muuttuu voimakkaasti rullan kasvaessa.

## Pakkovärähtelymuodot

Tuotannonaikaisista vastemittauksista lasketaan rakenteen pakkovärähtelymuodot. Yksi vastepiste valitaan referenssipisteeksi, jonka suhteen lasketaan taajuusvastefunktiot. Käytettävässä referenssipisteessä tulee näkyä halutut taajuuskomponentit selkeästi. Taajuusvastefunktio sisältää eri vastepisteiden välisen vaihetiedon sekä amplitudisuhteen so. referenssipisteen taajuusvastefunktion arvo on yksi koko käytetyllä taajuuskaistalla ja vaihekulma nolla. Tässä käytetty referenssipiste on ulomman telan HP –laakeripesän Z –suunta.

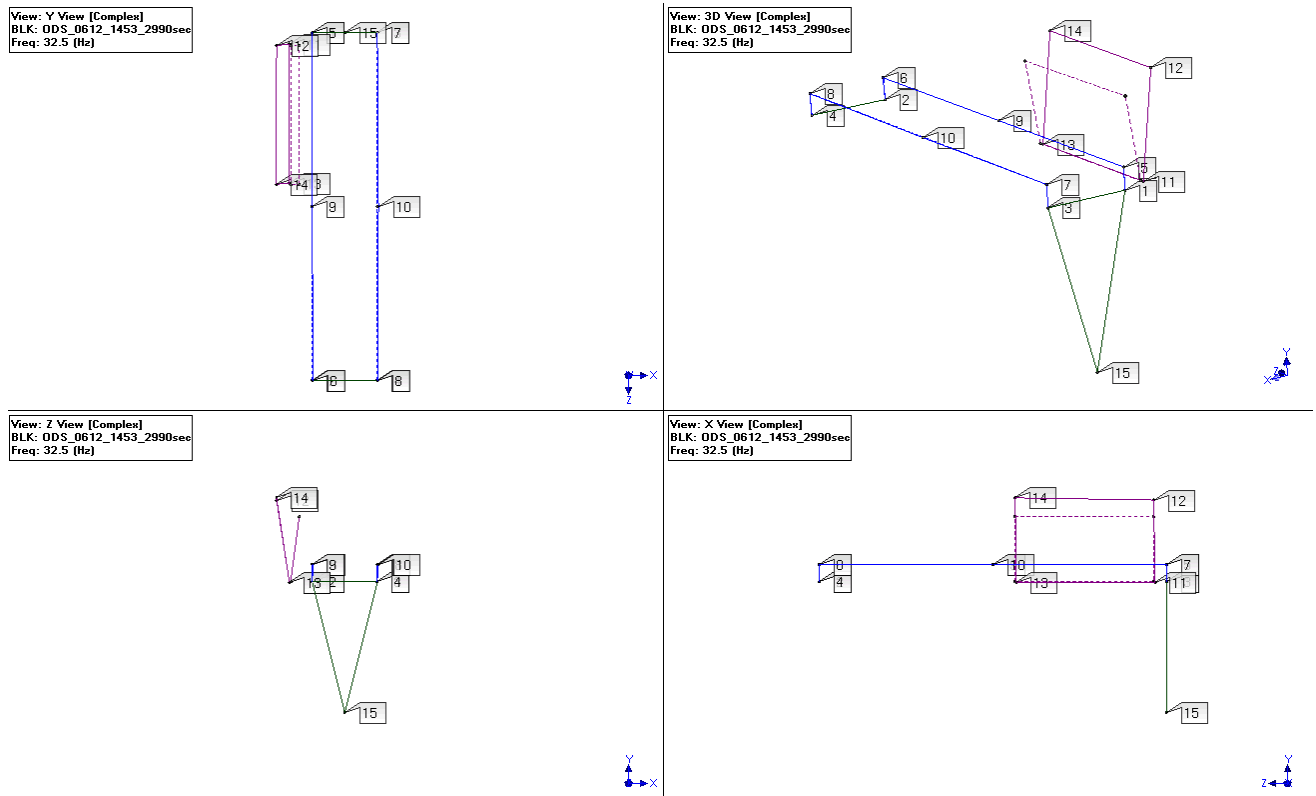


*Kuva 9.* Pakkovärähtelymuodon malli, jossa telojen laakeripesät ja kolmosasema. Pisteistä 1 – 4 (laakeripesän kohdalta konetaso) ei ole varsinaista mittausta, ne on otettu malliin mukaan havainnollisuuden takia. Piste 15 on leikkurin alapuoliselta tasolta ja pisteet 11 & 13 konetasolta.

Pakkovärähtelymuodot on laskettu edellä käsiteltyjen muuttojen osalta. Taajuudet on valittu sen mukaan, miten värähtelyä on esiintynyt.

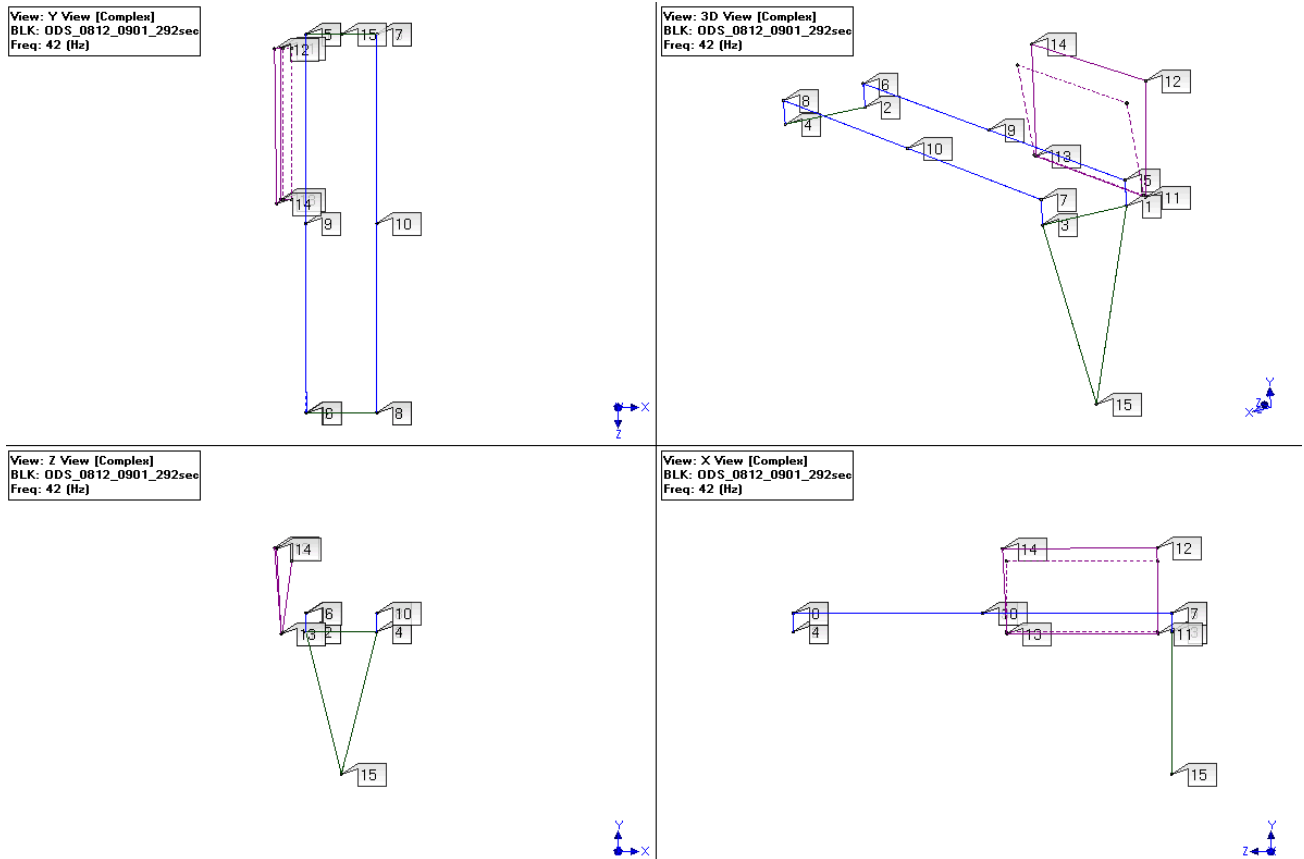


Nopeus 1600 m/min/ 6.2.2012 IV muutto.

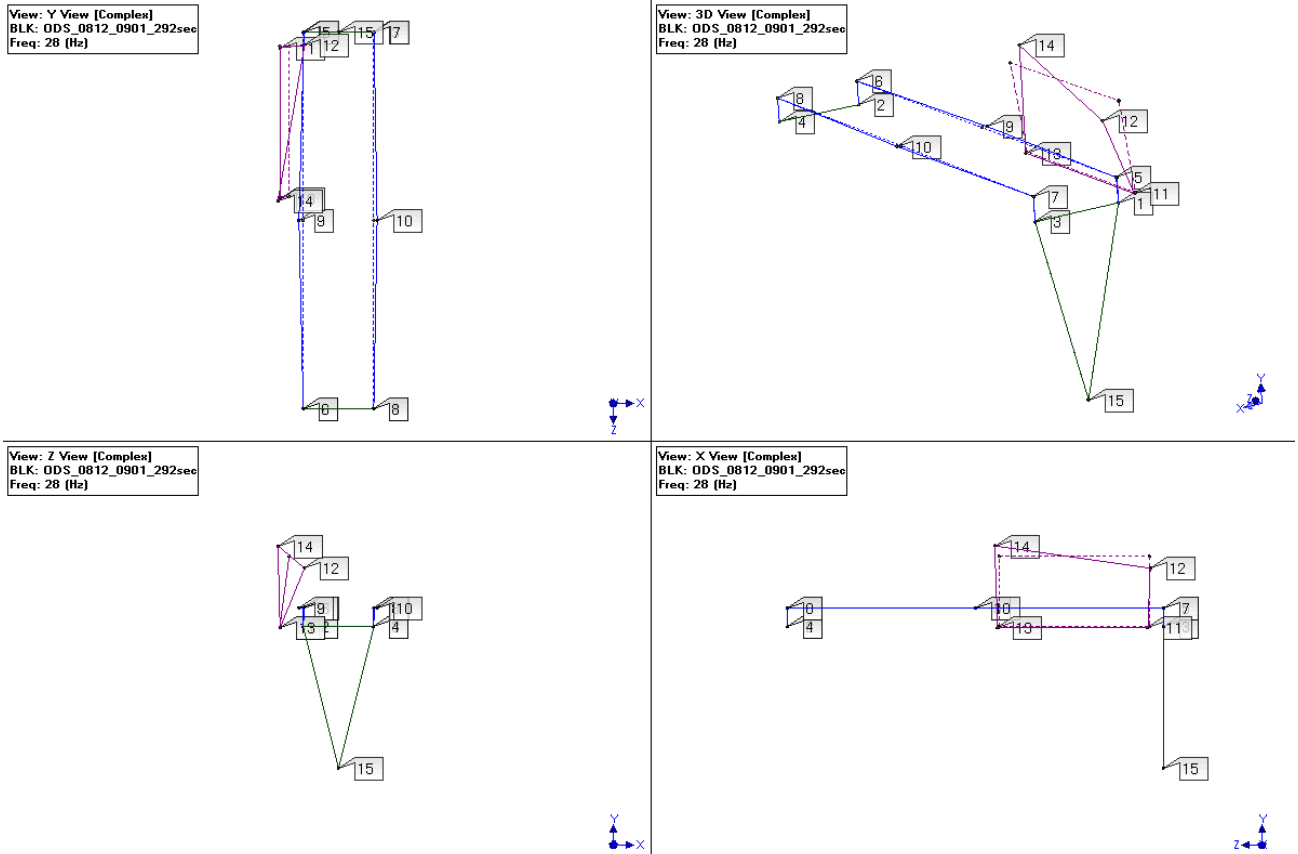


Kuva 10a. ODS –muoto taajuudella  $f = 32.50$  Hz. Muoto on rullan värähtelyä.

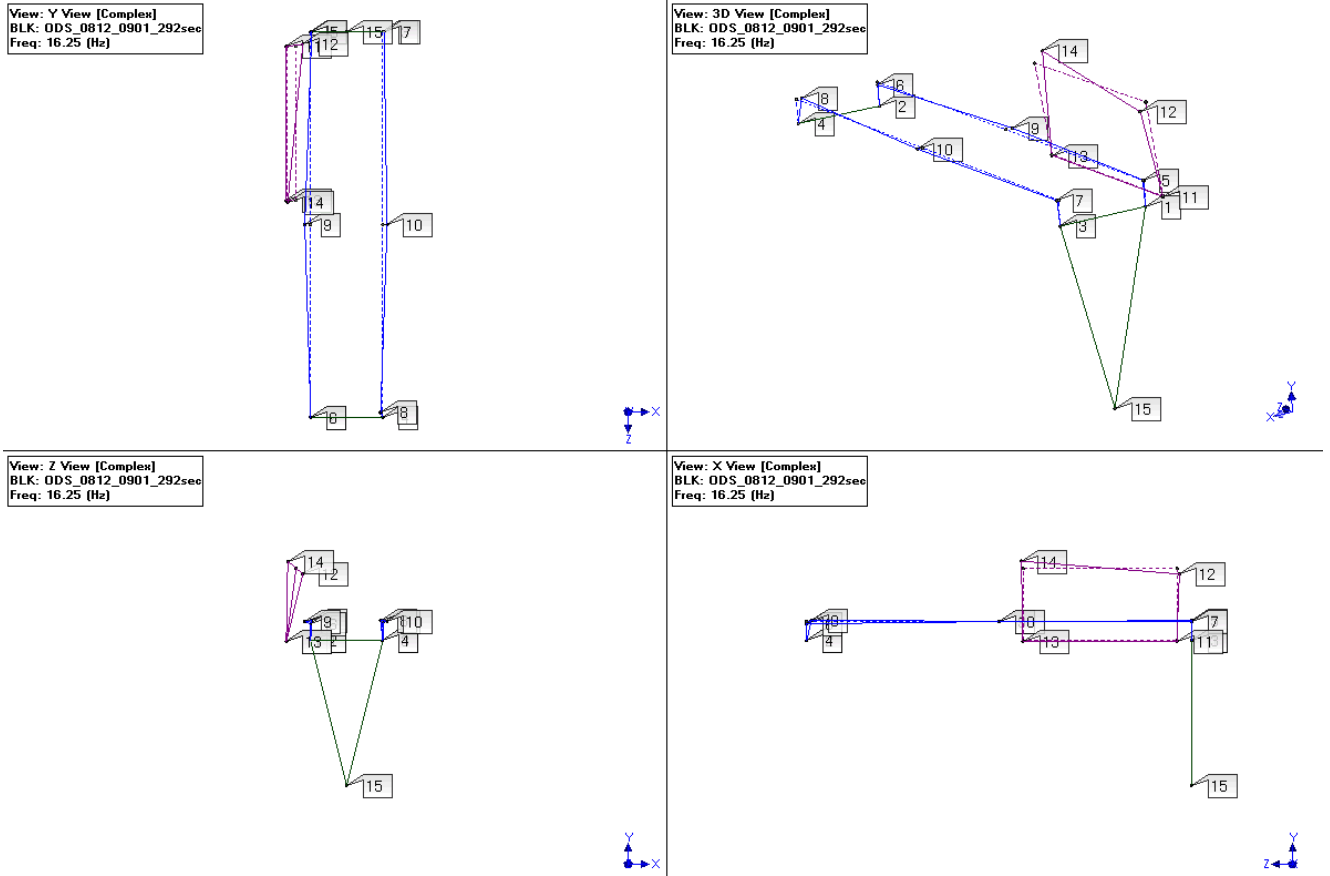
Nopeus 1300 m/min/ 8.2.2012 II muutto.



Kuva 10b. ODS –muoto taajuudella  $f = 42.00$  Hz. Muoto on rullan värähtelyä.

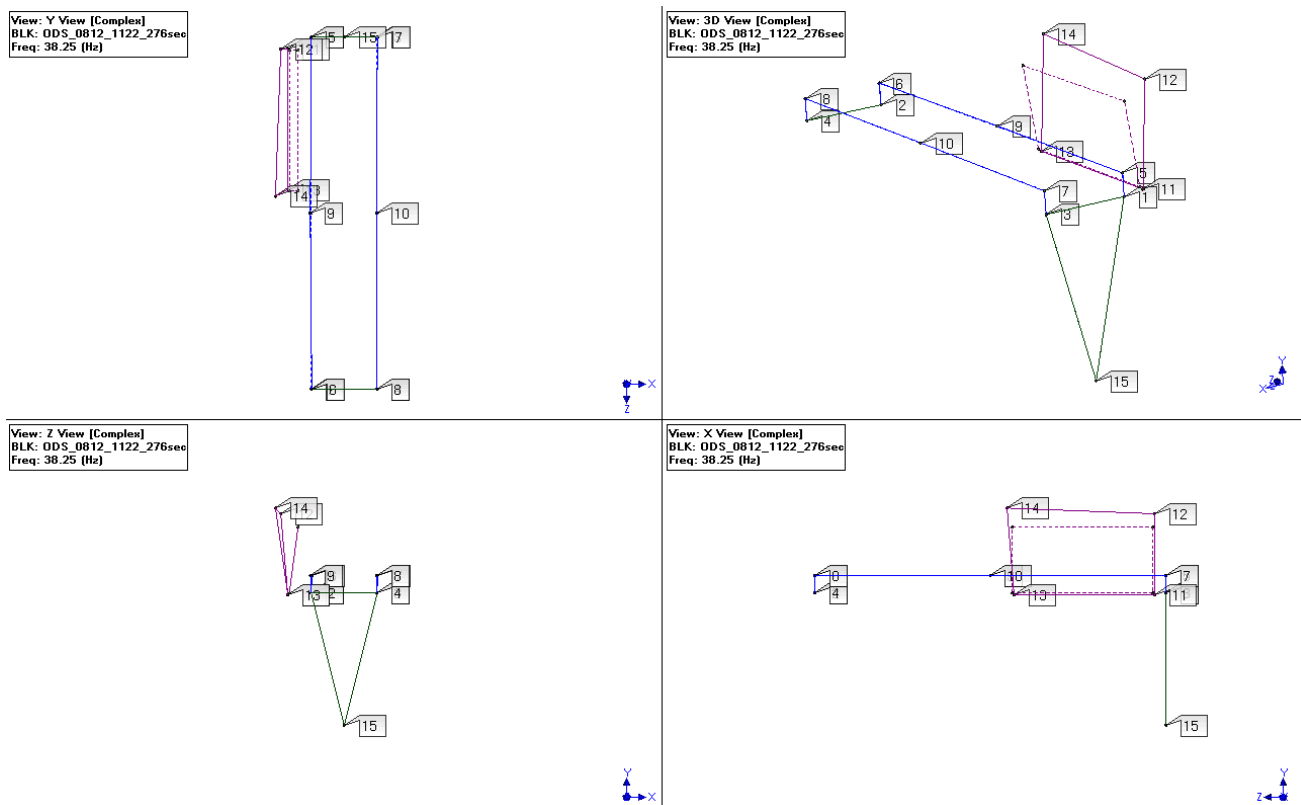


Kuva 10c. ODS –muoto taajuudella  $f = 28.00$  Hz. Muoto on tässäkin pääosin rullan värähtelyä.

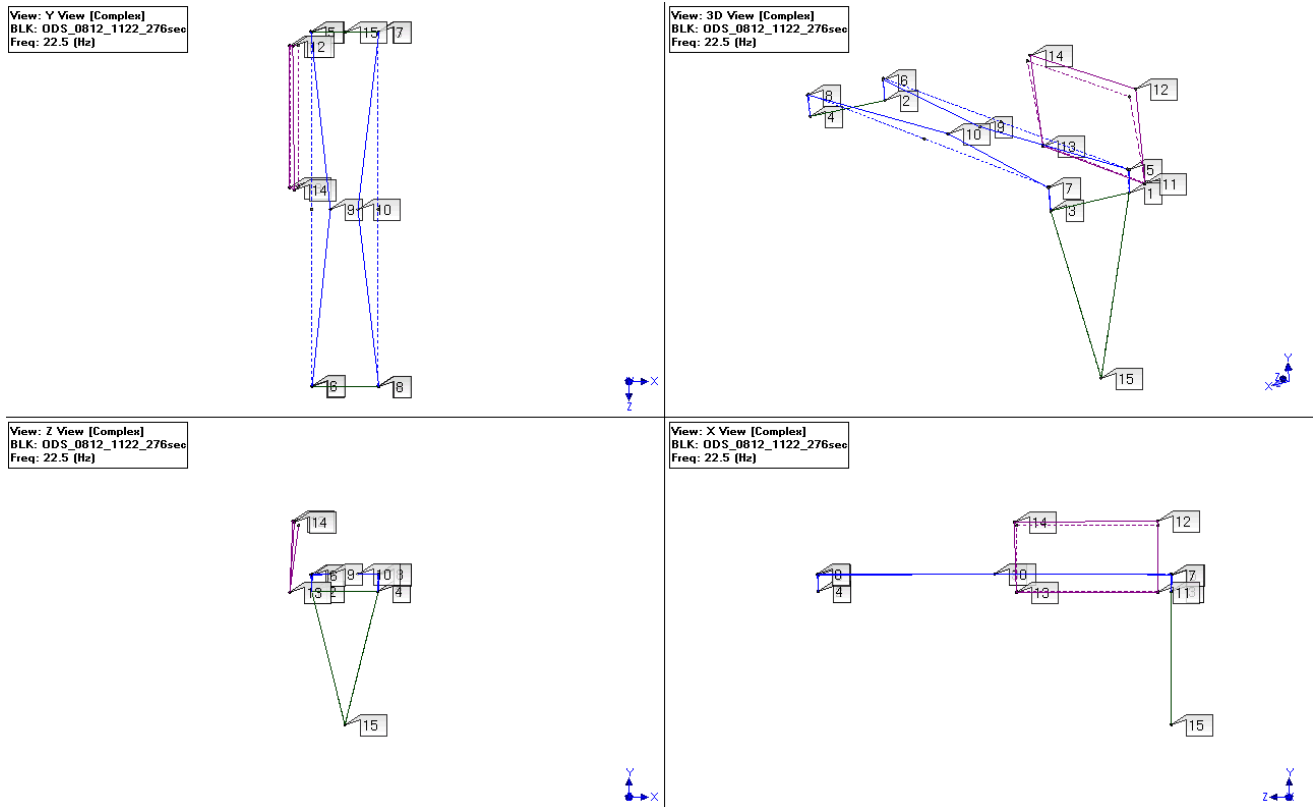


Kuva 10d. ODS –muoto taajuudella  $f = 16.25$  Hz. Muodossa on telan ja rullan värähtelyä.

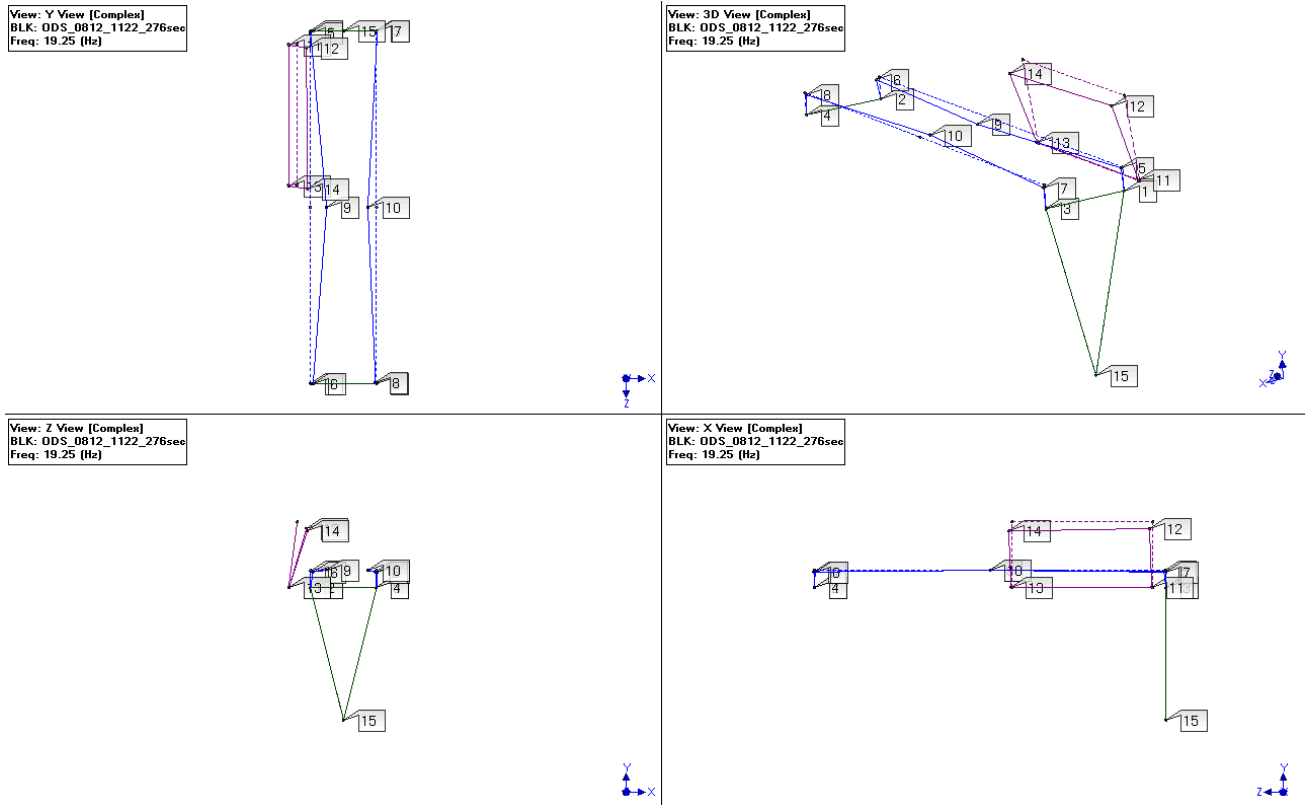
Nopeus 1800 m/min/ 08.02.2012 VI muutto.



Kuva 11a. ODS –muoto taajuudella  $f = 38.25$  Hz. Muoto on rullan värähtelyä.



Kuva 11b. ODS –muoto taajuudella  $f = 22.50$  Hz. Muodossa telojen liikettä rullan lisäksi.



Kuva 11c. ODS –muoto taajuudella  $f = 19.25$  Hz. Tässäkin muodossa jo selkeästi teloilla liikettä rullan lisäksi.

Edellä esitetyistä, eri nopeuksilla mitatuista, pakkovärähtelymuodoista voidaan nähdä muotojen samanlaisuus samalla taajuusalueella nopeudesta riippumatta.

---

SERVICE

---

---

34/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

14.2.2012

---

## VibLog -mittaus

Varsinaisella on-site -mittauksella ei käyttöhenkilökunnan kokemuksen mukaan löydetty pahinta värähtelytilannetta. Tästä syystä leikkurille jätettiin mittalaite tallettamaan värähtelyä. Mittaus oli vain telojen laakeripesistä sekä sisemmän telan tako, koska pitkäaikaiseurannassa ei rullausasemaan voida jättää antureita.

Mittaus kesti yhteensä kuukauden (08.02. – 09.03.2012). Mittauksessa oli liipaisuasetus, jolla talletus oli päällä ainoastaan telan pyöriessä.

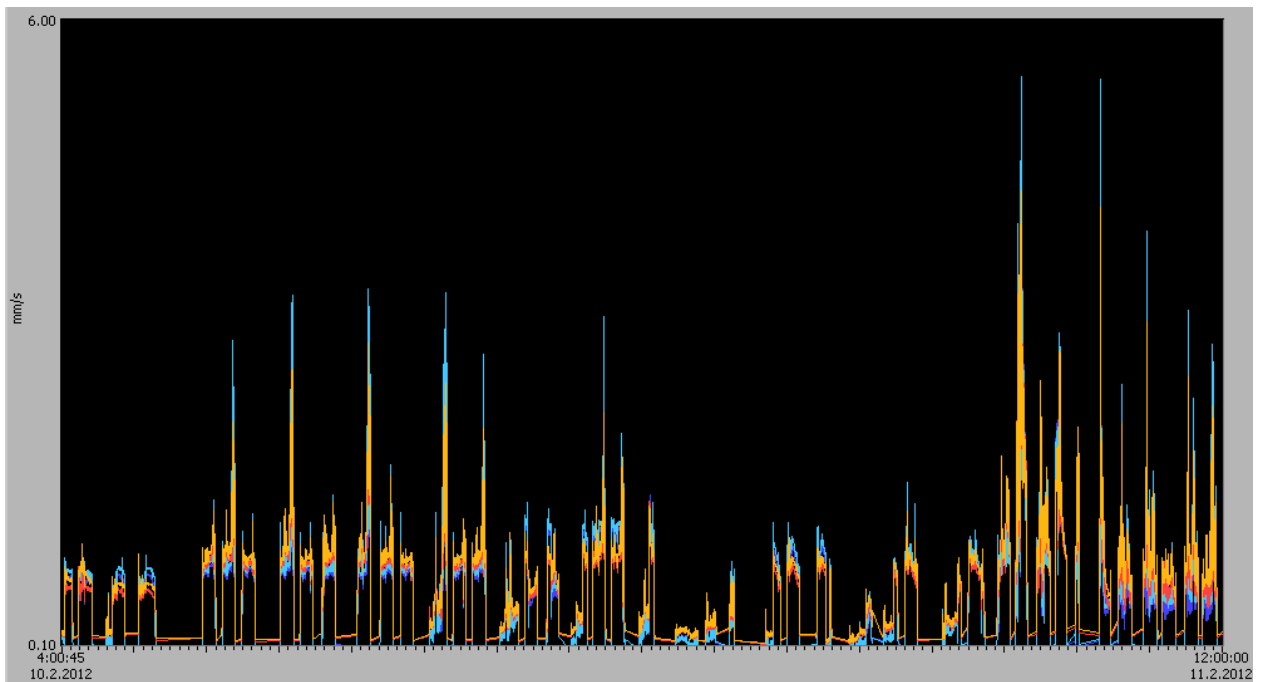
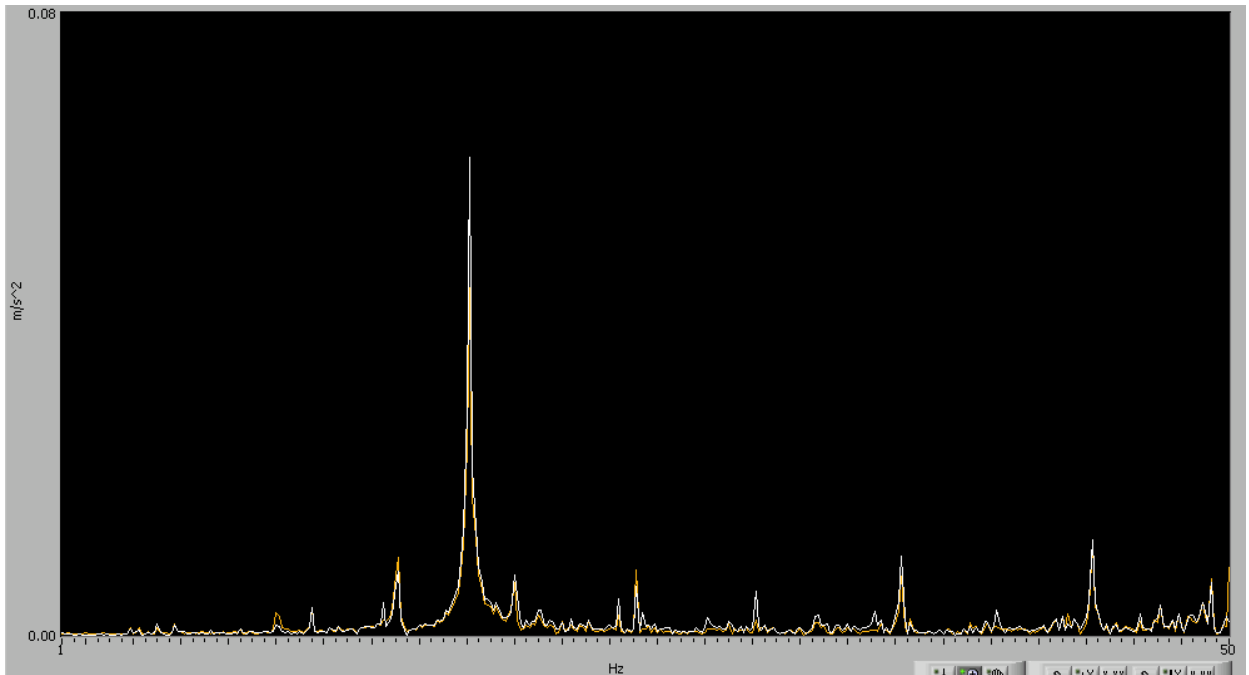
Seurannassa tallentuneet tapahtumat ovat yhteneviä on-site -mittauksen kanssa. Värähtelyssä esiintyvät taajuudet ovat samoja, joita näkyi edellä esitetyissä mittauksissa. Seurantamittaus vahvistaa edellä tehdyt johtopäätökset ilmiöstä.

Liitteessä 2 on esitetty VibLog –kirjanpito tilanteista, joissa värähtelyä on esiintynyt. Seuraavassa poimintoja kirjanpidon mukaan korkeista värähtelytilanteista. Kellonajat eivät välttämättä ole täsmälleen samoja kuin taulukossa, kelloja ei ole synkronoitu. Trendistä näkyy kuitenkin aina korkeammat värähtelyt mainituilla ajanhetkillä.



**VL 1/ 10.02.2012, 14:55**

Taajuus  $f = 18.125$  Hz, nopeus 800 m/min. Kyseinen taajuus on rullan monikerta.



Kuva 12a. Yllä spektri, alla trendi  $v_{\text{rms}}$  mainitulta ajalta. Mainitut tapahtumat erottuvat korkeina arvoina.

---

SERVICE

---

---

36/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

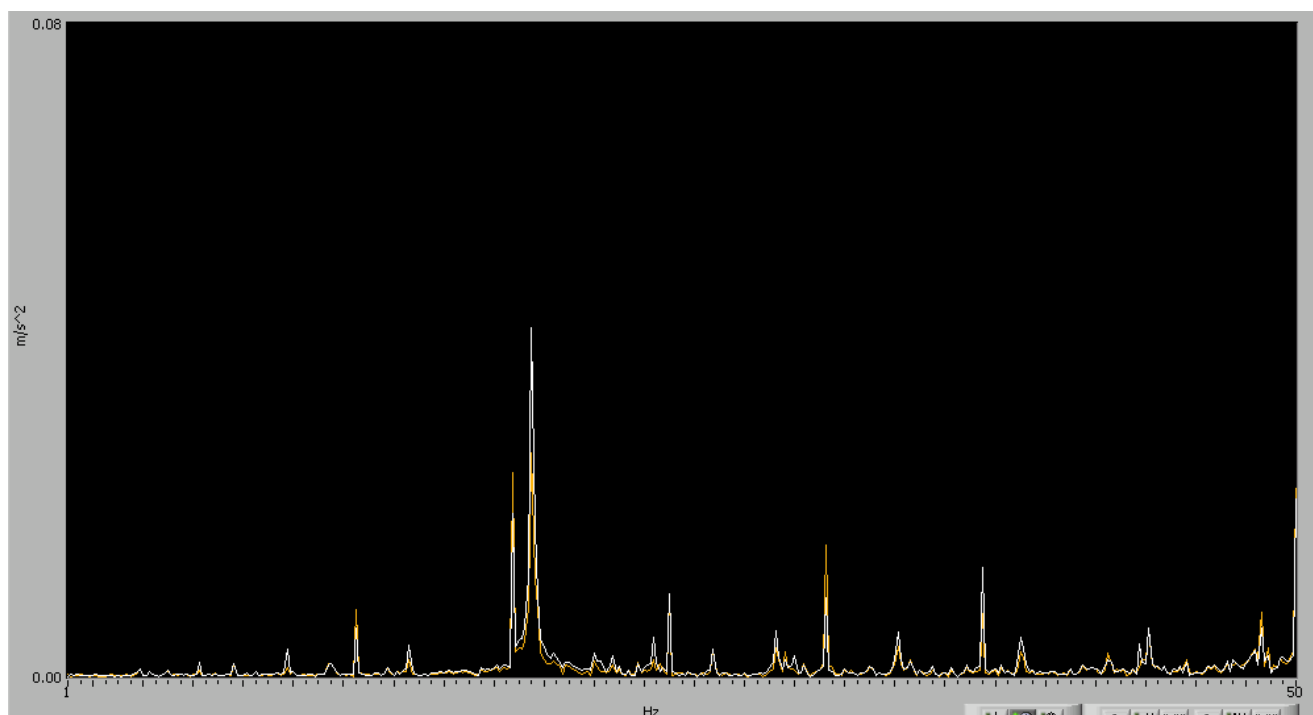
---

14.2.2012

---

**VL 2/ 10.02.2012, 20:45**

Taajuudet  $f_1 = 18.75$  Hz, mikä on 3 x telan pyörimistaajuus sekä  $f_2 = 19.50$  Hz, rullan monikerta. Nopeus on 995 m/min.



*Kuva 12b. Spetkrit.*

---

SERVICE

---

---

37/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

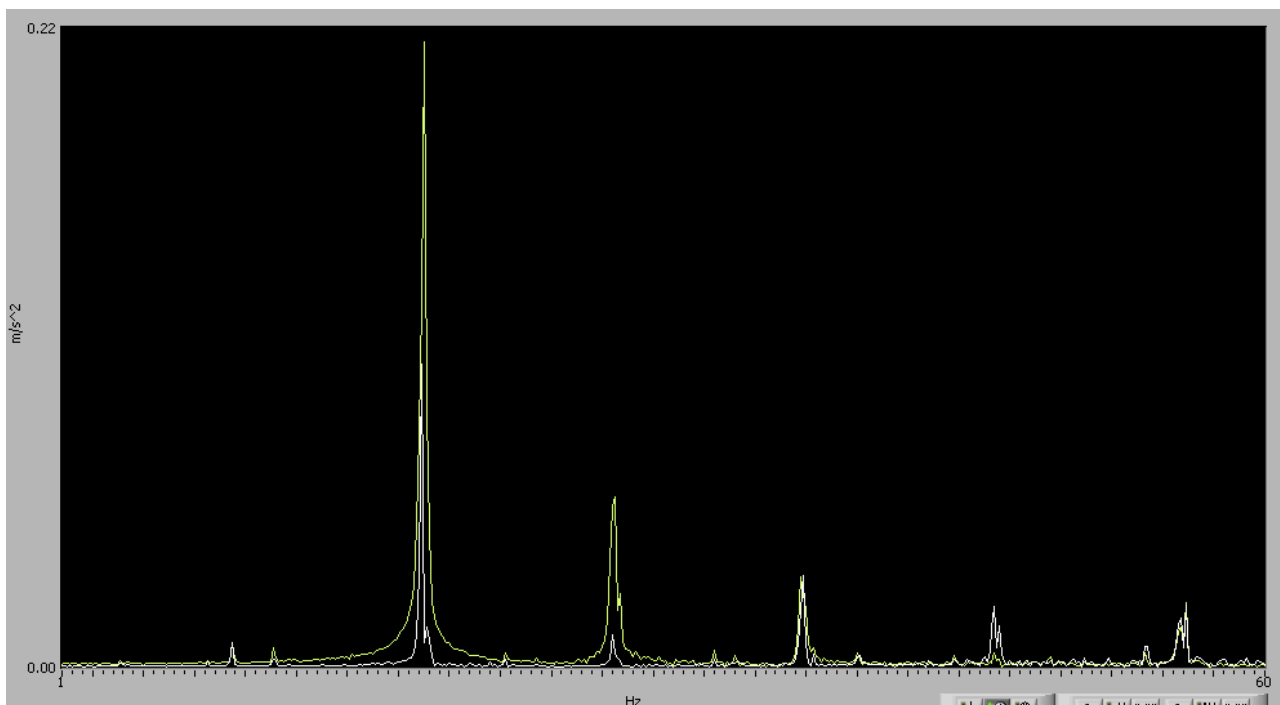
---

14.2.2012

---

**VL 3/ 11.02.2012, 06:53 – 08:32**

Taajuudet  $f_1 = 18.75$  Hz ja  $f_2 = 28.00$  Hz , mitkä ovat 2 ja 3 x telan pyörimistaajuus.  
Nopeus on 1500 m/min.



*Kuva 12c.* Kuvassa näkyvät taajuudet ovat telan monikertoja, sisemmältä telalta. 11.02. klo 06:27.

---

SERVICE

---

---

38/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

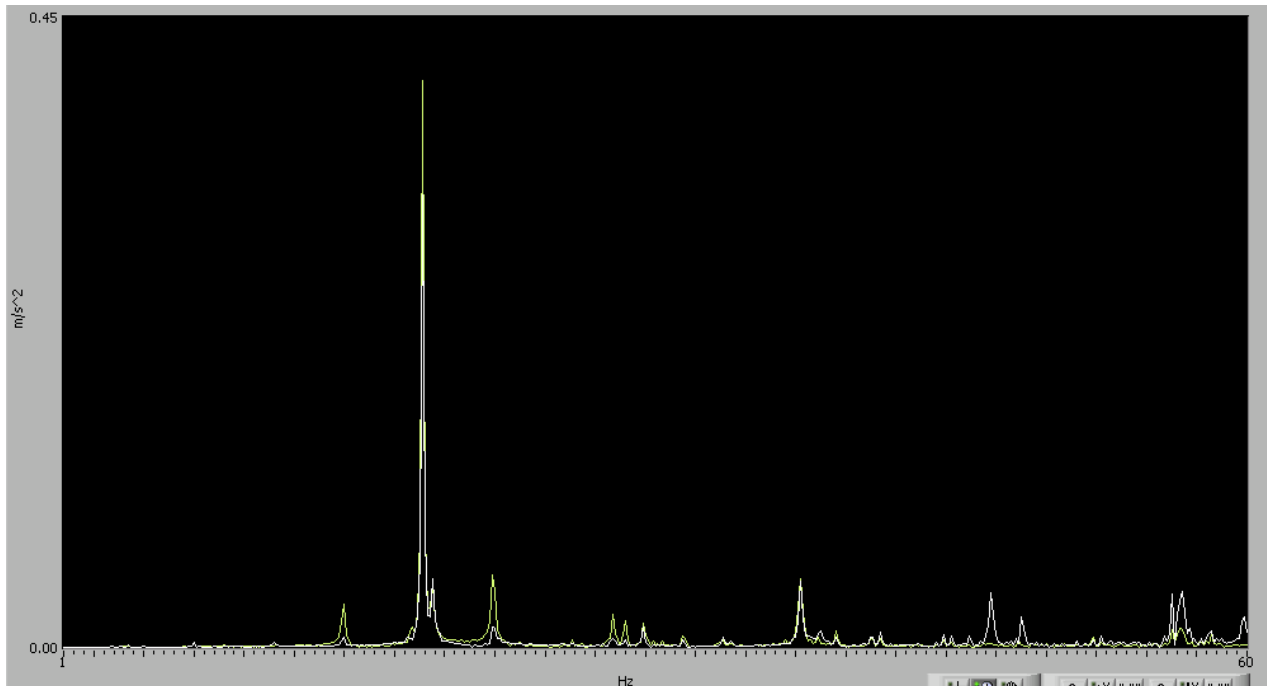
---

---

14.2.2012

---

Taajuus  $f_1 = 18.875$  Hz, mikä on rullan monikerta. Nopeus on 1200 m/min.



*Kuva 12d.* Kuvassa näkyvä taajuus on rullan monikertoja, sisemmältä telalta. 11.02. klo 08:38.

---

SERVICE

---

---

39/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

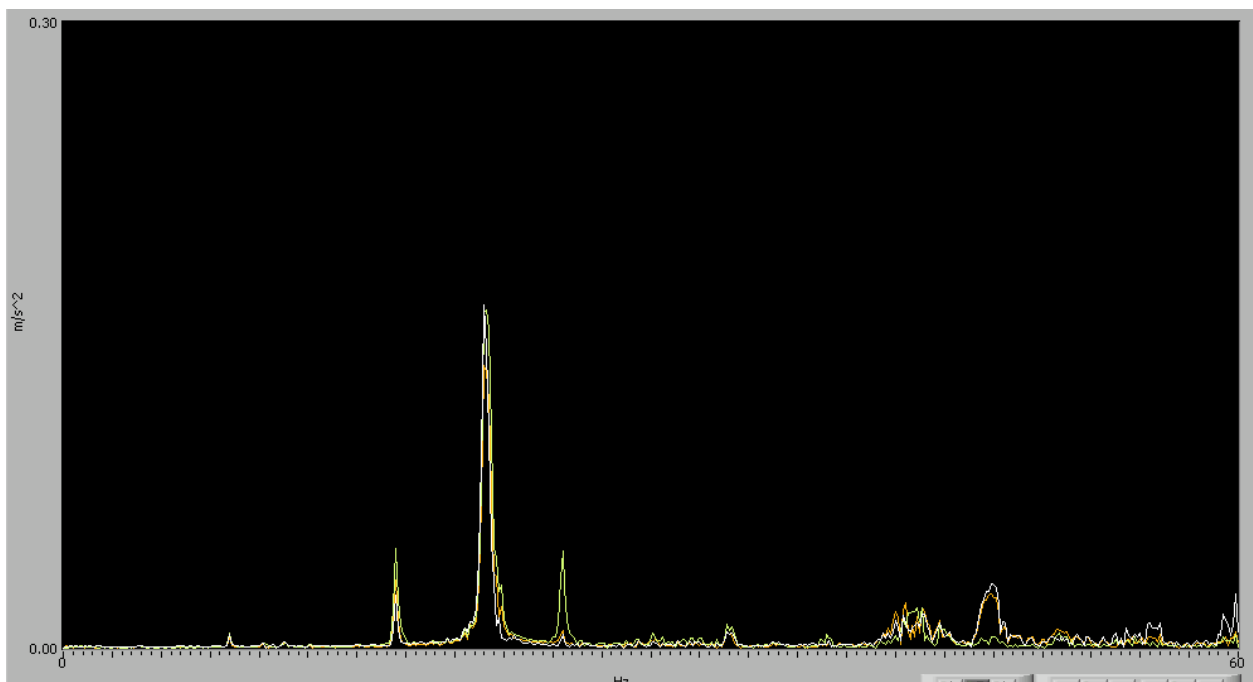
---

14.2.2012

---

**VL 4/ 12.02.2012, 10:20**

Taajuudet  $f_1 = 21.50$  Hz,  $f_2 = 17.00$  Hz ja  $f_3 = 25.50$  Hz. Ko. taajuudet ovat rullan monikerta sekä telan 2. ja 3. monikerta. Nopeus on 1345 m/min kuvan hetkellä, laskenut 1500 m/min:stä.



*Kuva 12e.* Kuvassa näkyvä korkein taajuus on rullan monikertoja, sisemmältä telalta. 12.02. klo 09:49.

---

SERVICE

---

---

40/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

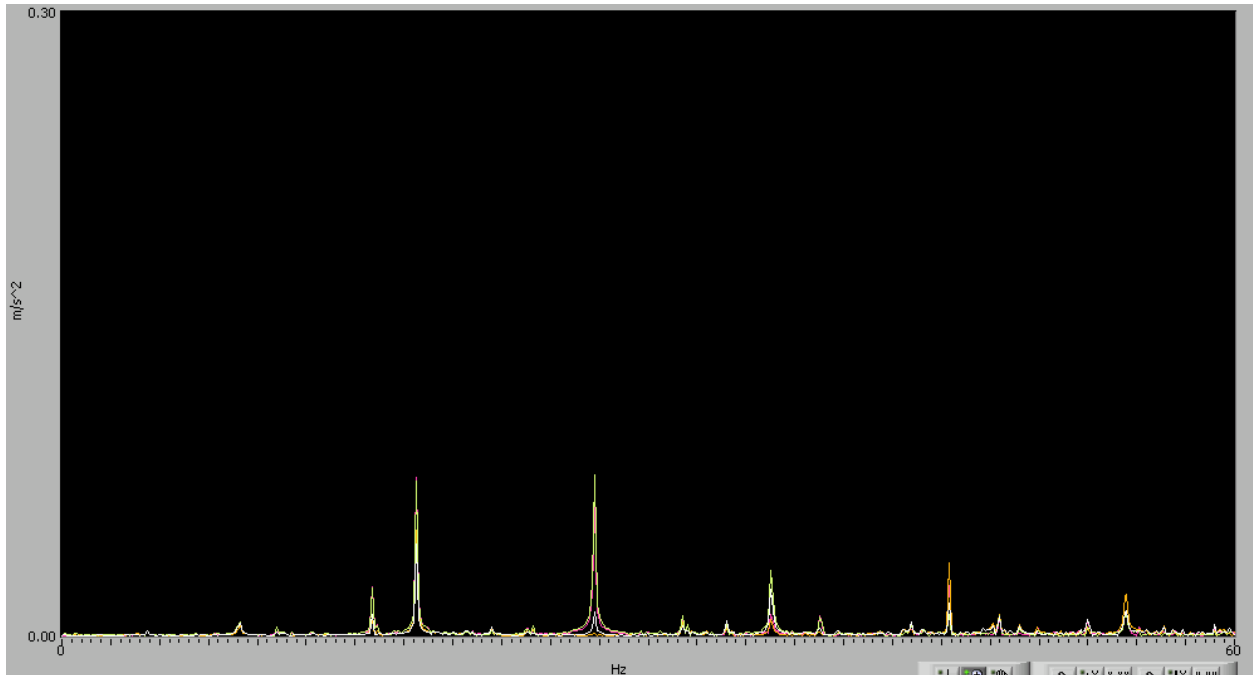
---

14.2.2012

---

**VL 5/ 16.02.2012, 04:31**

Taajuudet  $f_1 = 18.125$  Hz ja  $f_2 = 27.25$  Hz. Ko. taajuudet ovat telan 2. ja 3. monikerta. Nopeus on 1460 m/min kuvan hetkellä.



*Kuva 13a.* Kuvassa näkyvä korkein taajuus on telan monikertoja, sisemmältä telalta. 16.02. klo 04:06.

---

SERVICE

---

---

41/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

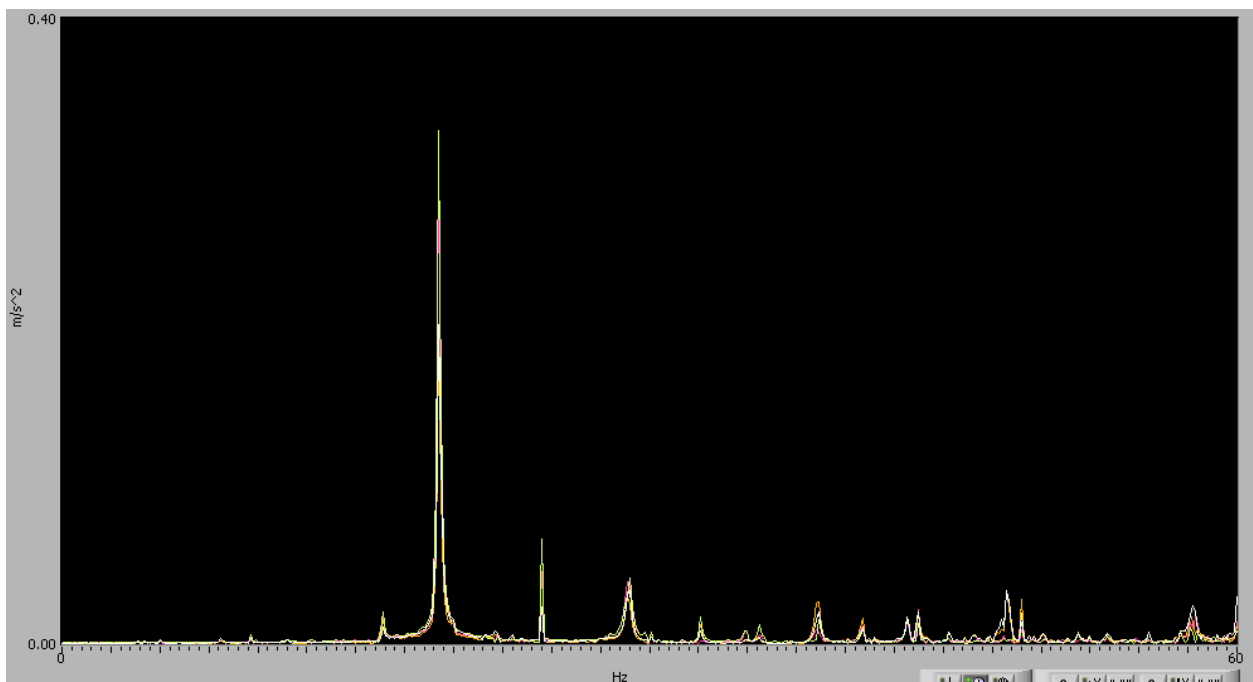
---

14.2.2012

---

**VL 6/ 18.02.2012, 00:11**

Taajuudet  $f_1 = 19.25$  Hz ja  $f_2 = 24.50$  Hz. Ko. taajuudet ovat rullan monikerta ja telan 3. monikerta. Nopeus on 1315 m/min kuvan hetkellä.



*Kuva 13b.* Kuvassa näkyvä korkein taajuus on rullan monikertoja, sisemmältä telalta. 17.02. klo 23:41.

---

SERVICE

---

---

42/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

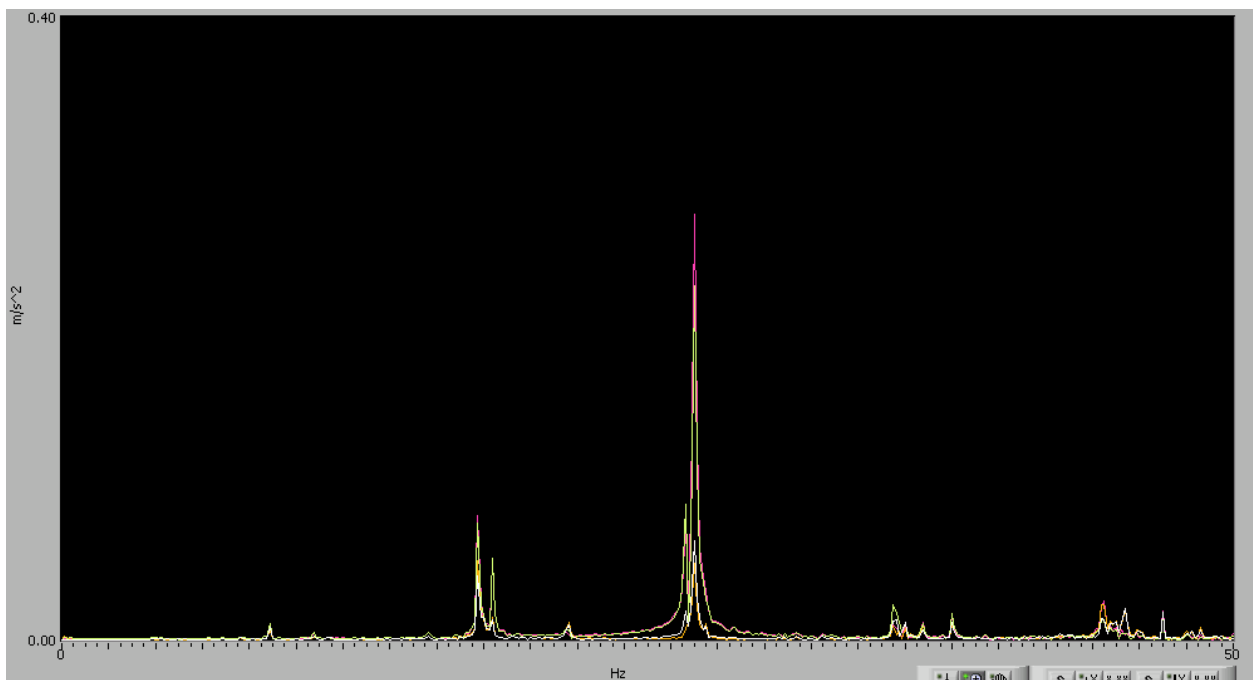
---

14.2.2012

---

**VL 7/ 18.02.2012, 08:45**

Taajuudet  $f_1 = 17.75$  Hz ja  $f_2 = 27.00$  Hz. Ko. taajuudet ovat telan monikerrat 2. ja 3. Nopeus on 1425 m/min kuvan hetkellä.



*Kuva 13c.* Kuvassa näkyvät korkeimmat taajuudet ovat telan monikertoja, sisemmältä telalta. 18.02. klo 08:11.



---

SERVICE

---

---

43/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

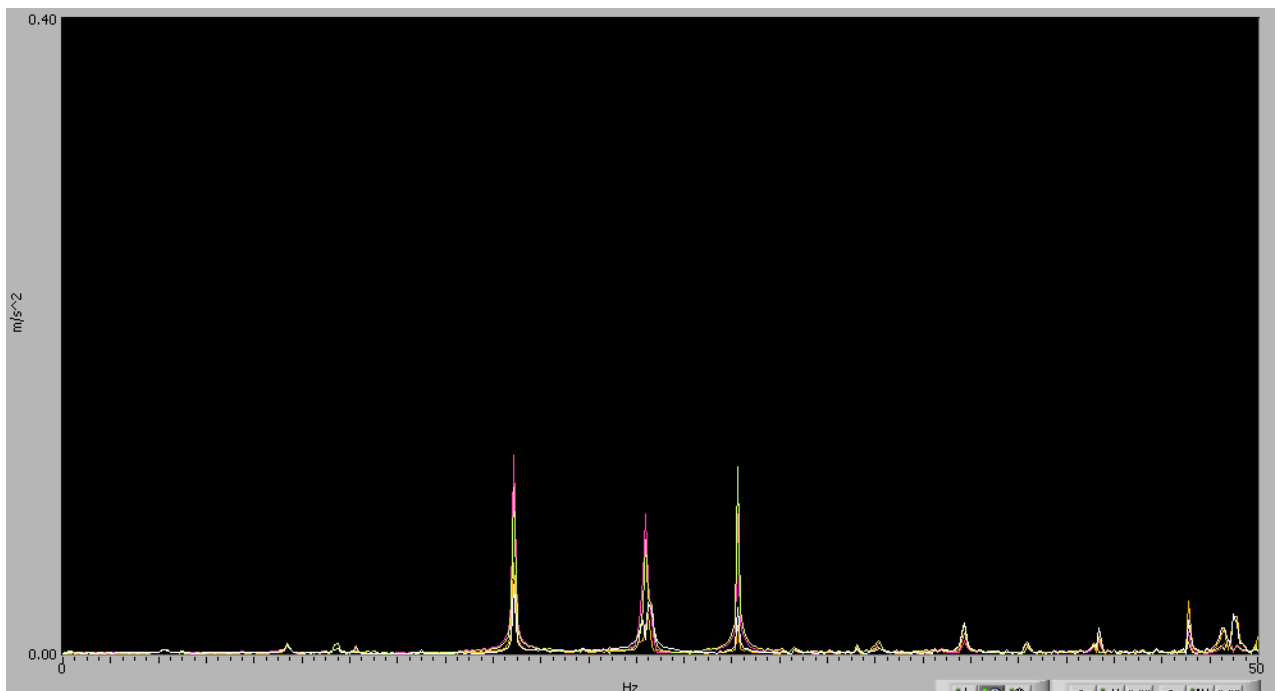
---

14.2.2012

---

**VL 8/ 04.03.2012, 08:46 – 09:11**

Taajuudet  $f_1 = 18.875$  Hz,  $f_2 = 24.375$  Hz ja  $f_3 = 28.250$  Hz. Ko. taajuudet ovat telan monikerta 2, rullan monikerta ja telan monikerta 3. Nopeus on 1500 m/min kuvan hetkellä.



*Kuva 13d.* Kuvassa näkyvät korkeimmat taajuudet ovat telan ja rullan monikertoja, sisemmältä telalta. 04.03. klo 08:14.

## Johtopäätökset värähtelymittauksista

Mittausten perusteella on nähtävissä, että värähtelyt liittyvät rullauksessa rullan muokkautumiseen eri kerrannaisille. Rullan muokkautumista vahvistavat koneen ominaistajuudet jo rullauksen alussa, herätteet ovat resonanssitilanteessa tietyillä rullan halkaisijoilla.

Ilmiö ei ole täysin toistuva muutosta toiseen, vaan muuttojen välillä on eroa. Perusilmiö säilyy kuitenkin mittausten perusteella samana. Ilmiön hallitsemiseksi suositellaan seuraavia toimenpiteitä:

- Kokeillaan jäykempää hylsyä. Tällä pyritään vaikuttamaan rullan muokkautumiseherkkyyteen.
- Kokeillaan eri kiihtyvyyssparametreja rullaukseen. Suositeltavia arvoja on se ikkuna, jonka voi valvomonäytöltä syöttää suoraan tekemättä automaatiomuutoksia.
- Rakennetaan värähtelyvalvonta koneelle, joka muuttaa koneen nopeutta värähtelymittauksen perässä.
- Rakennetaan automaattinen nopeuden muutos, joka kullakin nopeudella tietyllä halkaisijalla (lajiresepti) muuttaa automaattisesti nopeutta alas ja ylös värähtelyn väistämiseksi.

Yleisenä ohjeena suositellaan telojen kunnon tarkistamista mahdollisuuksien mukaan. Mitä vähemmän herätettä telkat tuovat, sitä heikommin telataajuiset värähtelyt heräävät. Myös rullausasemien käyttöjen ja hihnakäyttöjen kunnon ja linjauksen tarkistus on suositeltua.

## LIITE 1. KÄYTETYT MITTALAITTEET JA ANTUROINTI

Värähtelyvasteet mitattiin telojen laakeripesistä, asemasta ja perustuksesta kiihtyvyyssantureilla, samoin heittomittauksen kompensointi tehtiin kiihtyvyyssantureilla. Käytettyjen kiihtyvyyssantureiden herkkyys on  $s_{acc1} = 100 \text{ mV/g} = 10.19 \text{ mV/m/s}^2$ , lukuunottamatta heittomittauksen kompensointiin käytettyjä antureita, joille herkkyysarvo on  $s_{acc2} = 1000 \text{ mV/g} = 101.94 \text{ mV/m/s}^2$ .

Telojen laakeripesien ja aseman vasteiden mittaamiseen käytettiin 3 – aksiaalisia kiihtyvyyssantureita IMI 629A11. Perustuksesta mittausta tehtiin antureilla IMI 621B41.

Heittomittaus teloilta suoritettiin laseretäisyysantureilla Micro Epsilon optoNCDT ILD 1800-10. Anturin mittausetäisyys on  $d_{mid} = 35 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ , resoluutio  $r = 1 \text{ } \mu\text{m}$  taajuuskaistalla  $df = \text{DC} \dots 5 \text{ 000 Hz}$ .

Laseranturin oman liikkeen poistamiseksi sen liike (värähtely) mitattiin kiihtyvyyssanturilla Endevco 61C13. Mitatut siirtymä- ja kiihtyvyyssignaalit muutetaan samaksi suureeksi (kiihtyvyys integroidaan siirtymäksi), jotta kahden eri signaalin erotus voidaan laskea.

Iskukokeet tehtiin käyttäen samoja edellämainittuja kiihtyvyyssantureita sekä iskuvasaraa. Käytetty vasara oli Kistler 9728A20000, pehmein impaktipää asennettuna. Vasaran herkkyys on  $S_{9728} = 0.20 \text{ mV/ N}$ .

Pyörimistaajuus telalta ja rullalta mitattiin käyttäen tahdistusantureita, jotka mittaavat yhden tai useamman pulssin/ kierros. Telan pyörimistaajuus mitattiin magneettitakolla RTS-226 (Sensodec) ja rullalta optisella anturilla Sick WL12-2P430. Rullan pyörimistaajuus mitattiin itse asiassa käyttöpyörästä, mitattu pyöriminen muutettiin välityssuhteen avulla rullan pyörimistaajuudeksi.

Käytetyt tiedonkeruulaitteet olivat Brüel&Kjaerin 3560C (12 ch) ja 3560D (24 ch) mittalaitteet. Nämä kaksi laitetta on synkronoitu toimimaan yhdessä. Mittaus- ja analysointiohjelma on Brüel&Kjaer:n Pulse 15 (versio 15), jolla voidaan tehdä tarvittavat mittausasetukset, aika- sekä taajuustasoanalyysit.

Pitkäaikainen tiedonkeruu suoritetaan National Instruments:n tiedonkeruulaitteella. Laitteen konfiguraatio on Compact RIO –kontrolleri sekä  $2 \times 9233$  ja  $2 \times 9215$  modulia, kussakin 4 sisäänmenokanavaa.

Mittauspisteet pitkäaikaisessa seurannassa ovat laakeripesissä ja sisätelan tako.

---

SERVICE

46/57

---

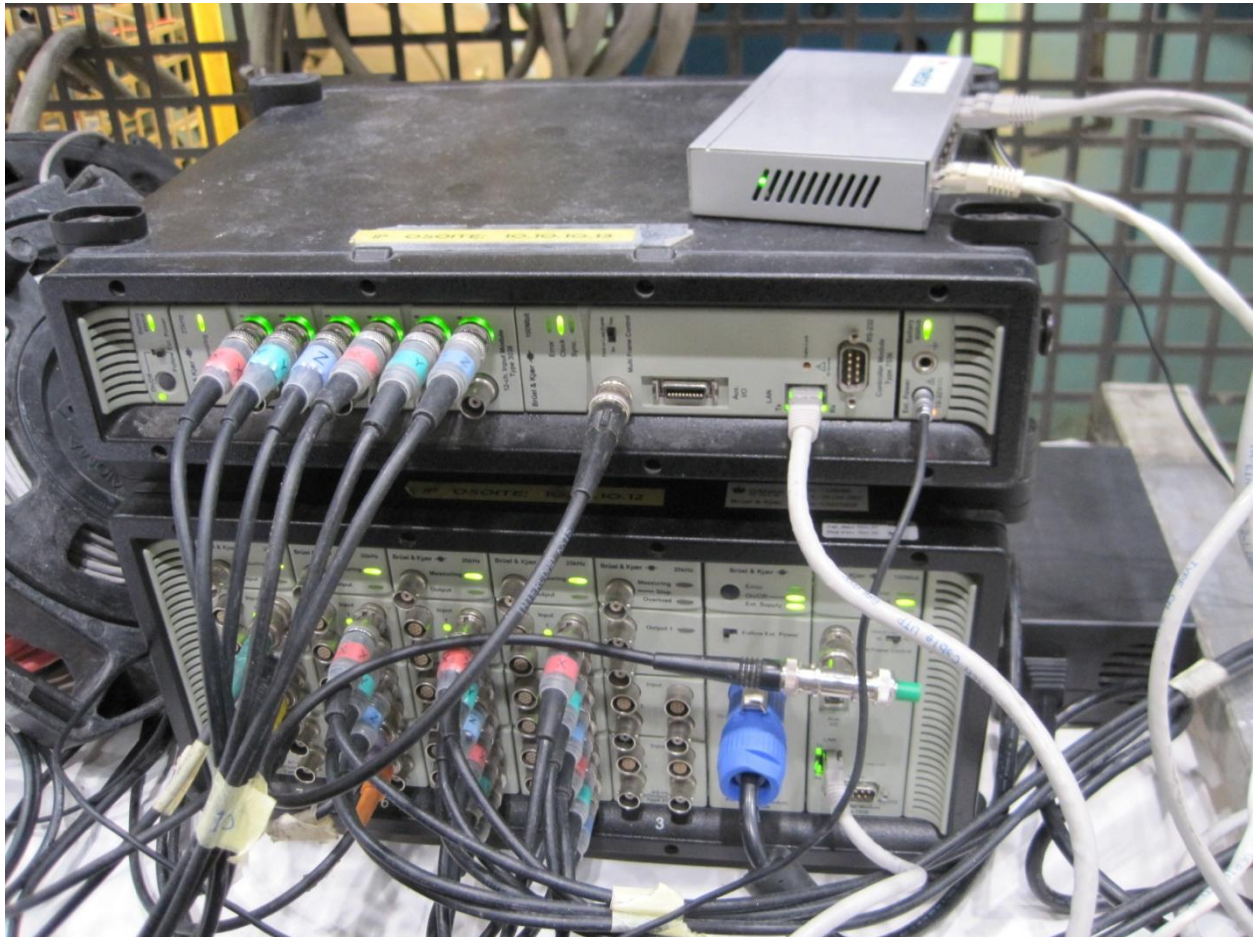
Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

636/724992

14.2.2012

---

## MITTALAITTEET



---

SERVICE

---

---

47/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

14.2.2012

---

Laakeripesien vastemittaus



---

SERVICE

---

---

48/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

14.2.2012

---

Laakeripesien vastemittaus



---

SERVICE

---

---

49/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

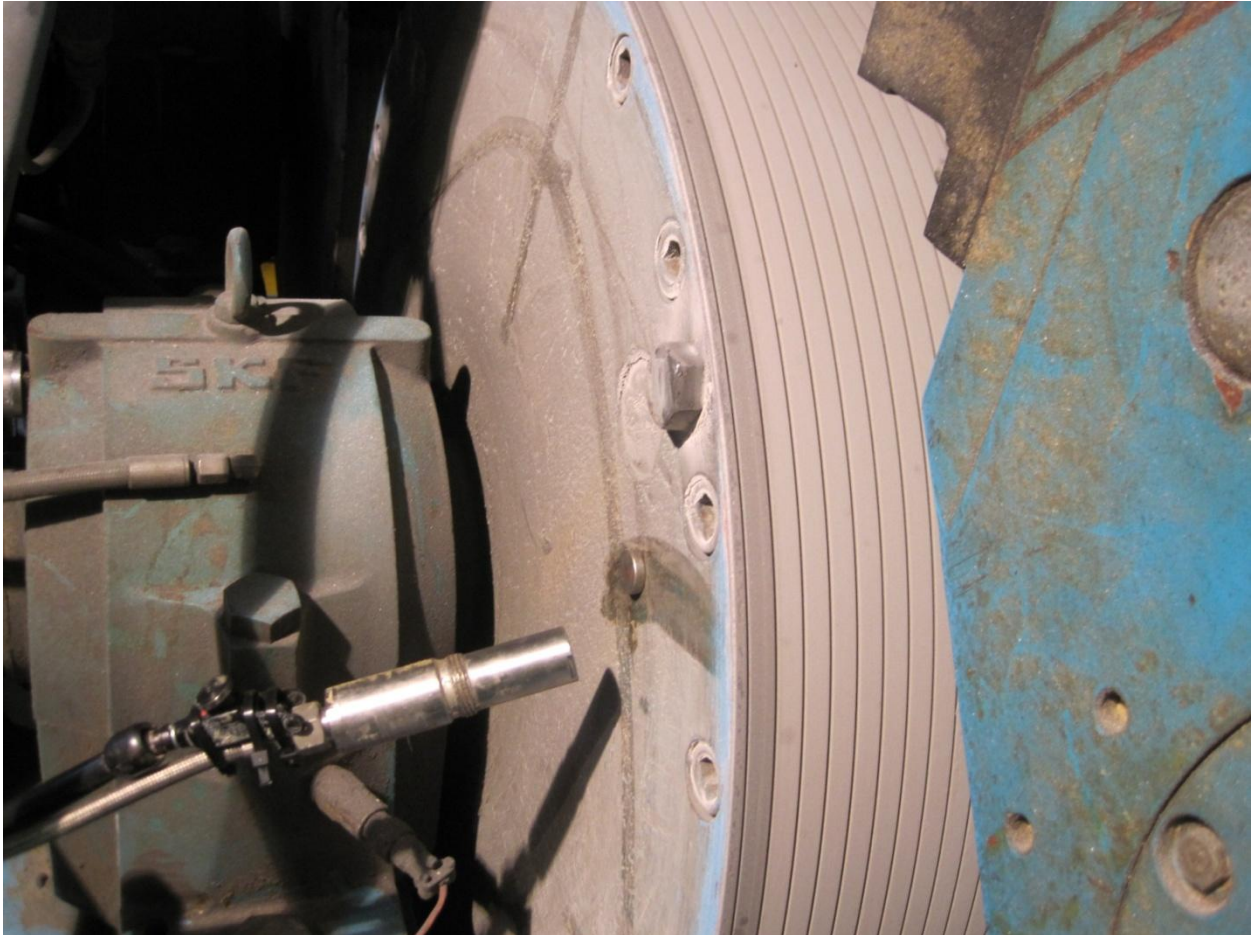
---

---

14.2.2012

---

Telatako



---

SERVICE

---

---

50/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

14.2.2012

---

Rullan tako ja laser –anturi





Aseman vastemittaus



---

SERVICE

---

---

52/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

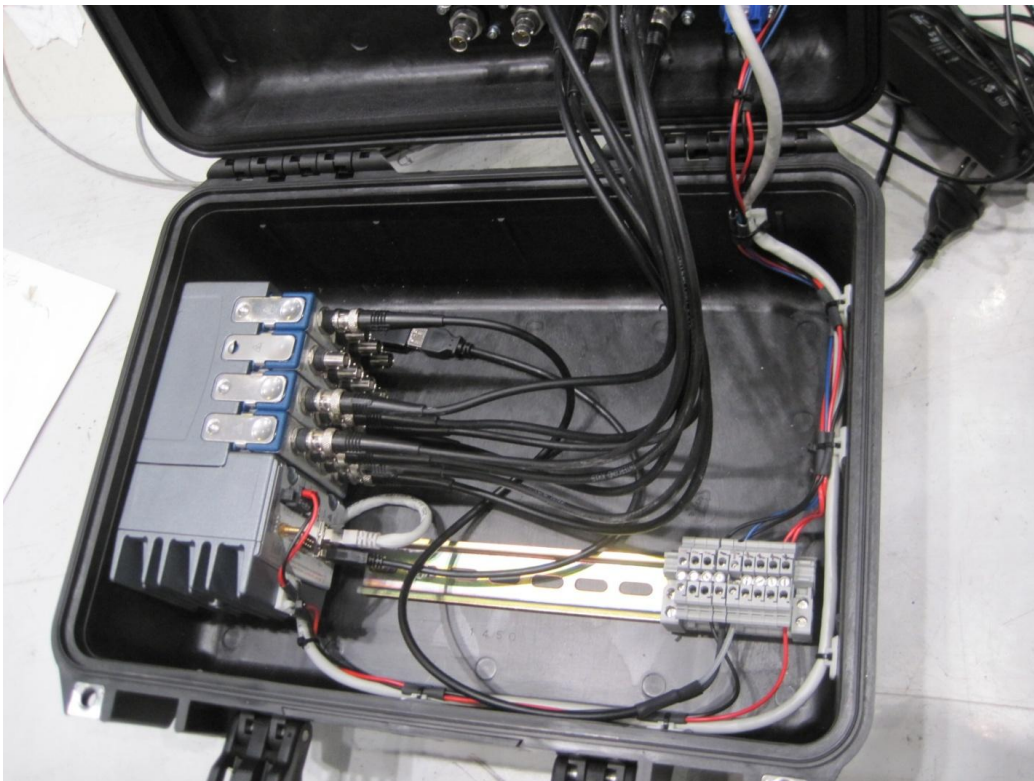
14.2.2012

---

Perustuksen vastemittaus



VibLog –mittalaite



**Liite 2.** VibLog –kirjanpito

SERVICE

54/57

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

636/724992

14.2.2012



Rauma  
8.2.2012  
SC/PK2 Tomi Leino

48217

**METSON "PELILAATIKKO"**

Metso on jättänyt PL 21 hoitopuolelle rullaustelojen välimaastoon oman Pelilaatikkonsa. Laatikko kerää värähtelytietoja rullaustelojen hp:n ja kp:n laakeripesien värähtelyistä sekä sisäp. rullaustelan pyörimisnopeuden (jalallinen anturi sisäp. rullaustelan hp:ssä). Laatikko ottaa sähkönsä sisäpuolen hp:n raamissa olevasta pistorasiasta, **ÄLÄ IRROTA PISTOKETTA.**

Laatikko ei vaadi sen ihmeellisempää huolenpitoa.

Jos/kun PL21 alkaa taas tärinä vanhaan malliin, alla olevaan taulukkoon saa laittaa päivämäärän ja kellonajan milloin tärinät ovat "parhaimmillaan". Näin Laatikon tiedot saadaan kohdistettua otolliseen ajankohtaan.

| pvm.  | klo  | SC | nopeus                | muuta erikoista  |   |
|-------|------|----|-----------------------|--|---|
| 16.2  | 4:31 | 21 | 1456                  | 6000 <sub>m</sub> - 8000 <sub>m</sub>  | 190 <sup>4</sup> 20 <sup>8</sup> 20 <sup>8</sup> 20 <sup>8</sup> 20 <sup>8</sup> 150 <sup>0</sup> 150 <sup>0</sup> 150 <sup>0</sup> |
| 18.2  | 0.11 | 22 | 1306 <sup>+1205</sup> | 3264 lev. rulla rupes pomppimassa 54gr   | 352/3764<br>1658/2176   |
| 18.2. | 8.45 | 23 | 1420                  | 3576 lev. rulla, rupes pomppimassa (3asuma)  | 52g   |
| 4.3   | 5:46 | 23 | 1500                  | 6000 <sub>m</sub> → 8000 <sub>m</sub> , 3 rullaa                                     | 5460  |
| "     | 9.11 | "  | "                     | " " "  | 2036/2166/2036<br>150/150/150<br>-11-   |
| "     | 1301 | "  | 1500                  | 6400 <sub>m</sub> (vanhalla 100 <sub>rpm</sub> )                                     | -11-  |
| 9.3   | 1747 | 23 | 1500                  | 1140 <sup>76</sup> / 3489 <sup>150</sup> / 1749 <sup>150</sup> / 1749 <sup>150</sup> |   |

SERVICE

55/57

636/724992

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

14.2.2012

5460  
 nopeus 1500m/min  
 Ø314  
 m:1355

|       | pvm. | klo   | muuta ihmeellistä                     |                    |
|-------|------|-------|---------------------------------------|--------------------|
|       | 10.2 | 14.55 | Valvomies tärisoc. kunnolla, 5 rullaa |                    |
|       | 10.2 | 20.45 |                                       |                    |
| 54/21 | 11.2 | 6.53  | 3 rullaa, 5500 → 8500 m               | putkelle 1500m/min |
| 54/21 | "    | 7.31  | - " - , 9000m → 12500m                | 1500m/min          |
| 54/25 | "    | 8.00  | - " - , 6000m →                       |                    |
| 54/25 | "    | 8.36  | - " - , 5500 → 7 EK. 1100m            | fäärin jalk        |
| 54/23 | 11.2 | 10.60 | 6 rullaa, 6000m → 9000m               | 1500m/min          |
|       |      |       |                                       |                    |
|       |      |       |                                       |                    |
|       |      |       |                                       |                    |
|       |      |       |                                       |                    |

Kysymyksiin vastataan numerosta 040-5271463.

---

SERVICE

---

---

56/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

14.2.2012

---

## VIERAILUN TIEDOT

Käynnin päivämäärä

6 - 8.2.2012

Metso Paper Oy:n edustaja

Mika Kaisanlahti

[mika.kaisanlahti@metso.com](mailto:mika.kaisanlahti@metso.com)

Jorma Lyytinen

[jorma.lyytinen@metso.com](mailto:jorma.lyytinen@metso.com)

Tilausnumerot

Projektinumero

636/724992

Asiakkaan yhteyshenkilö

Tomi Leino

[tomi.leino@upm-kymmene.com](mailto:tomi.leino@upm-kymmene.com)

---

SERVICE

---

---

57/57

---

---

Jorma Lyytinen/Mika Kaisanlahti

---

---

636/724992

---

---

14.2.2012

---

## METSO PAPER OY:N YHTEYSHENKILÖT

|                   |  |
|-------------------|--|
| Myynti            | Vesa Hyvärinen   |
| Puhelin           | 020 482 7536   |
| Faksi             | 020 482 7215   |
| Sähköposti        | <a href="mailto:vesa.hyvarinen@metso.com">vesa.hyvarinen@metso.com</a>     |
| Service           | Seppo Vuoristo   |
| Puhelin           | +358 40 502 7385   |
| Fax               | +358 20 482 8590   |
| E-mail            | <a href="mailto:seppo.vuoristo@metso.com">seppo.vuoristo@metso.com</a>     |
| Varaosat          | Jukka Jämsen   |
| Puhelin           | +358 20 482 8204   |
| Fax               | +358 20 482 7501   |
| E-mail            | <a href="mailto:jukka.jamsen@metso.com">jukka.jamsen@metso.com</a>         |
| Prosessiratkaisut | Jukka Laupiainen   |
| Puhelin           | +358 20 482 7838   |
| Fax               | +358 20 482 7592   |
| E-mail            | <a href="mailto:Jukka.laupiainen@metso.com">Jukka.laupiainen@metso.com</a> |

43217

**METSON "PELILAATIKKO"**

Metso on jättänyt PL 21 hoitopuolelle rullaustelojen välimaastoon oman Pelilaatikkonsa. Laatikko kerää värähtelytietoja rullaustelojen hp:n ja kp:n laakeripesien värähtelyistä sekä sisäp. rullaustelan pyörimisnopeuden (jalallinen anturi sisäp. rullaustelan hp:ssä). Laatikko ottaa sähkönsä sisäpuolen hp:n raamissa olevasta pistorasiasta, **ÄLÄ IRROTA PISTOKETTA.** Laatikko ei vaadi sen ihmeellisempää huolenpitoa.

Jos/kun PL21 alkaa taas tärinä vanhaan malliin, alla olevaan taulukkoon saa laittaa päivämäärän ja kellonajan milloin tärinät ovat "parhaimmillaan". Näin Laatikon tiedot saadaan kohdistettua otolliseen ajankohtaan.

| pvm.       | klo     | muuta ihmeellistä                                     |
|------------|---------|---|
| 10.2       | 14.55   | Valvomus tärinää kunnolla, 5 rullaa                   |
| x 10.2     | 20.45   |   |
| SC/2L 11.2 | x 6.53  | 3 rullaa, 5500 → 8500 m pudotettu vauhti → 1500 m/min |
| SC/2L "    | x 7.31  | - " - , 9000 m → 12500 m 1300 m/min                   |
| SC/3L "    | x 8.00  | - " - , 6000 m →                                      |
| "          | x 8.36  | - " - , 5500 → 1 EK. Ajeltu tämän jätk. 7200.         |
| SC/23 16.2 | x 10.00 | 6 rullaa, 6000 m → 9000 m 1500 m/min                  |
|            |         |   |
|            |         |   |
|            |         |   |
|            |         |   |

Kysymyksiin vastataan numerosta 040-5271463.



