

**SUPERKALANTERIN TELAPINNOITTEIDEN KUNNON-
VALVONTAJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO**

Luokkanen Timo-Olli

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Kone- ja tuotantotekniikka
Kone insinööri

Tekijä	Timo-Olli Luokkanen	Vuosi	2015
Ohjaaja	Insinööri (AMK) Aslak Siimes		
Toimeksiantaja	Stora Enso Oyj		
Työn nimi	Superkalanterin telopinnoitteiden kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotto		
Sivu- ja liitemäärä	41		

Tämän opinnäytetyön aiheena oli Stora Enson veitsiluodontehtaiden PK5:n superkalantereille hankitun kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotto. Työn tavoitteena oli kunnonvalvontajärjestelmän tehokas hyödyntäminen ja sen myötä superkalantereiden telavaurioiden ehkäiseminen.

Teoriaosassa käsitellään kunnonvalvonnan ja värähtelymittausten perusteita sekä superkalanterin rakennetta ja sen teloja. Työn toiminnallinen osuus tehtiin pääasiassa superkalantereilla. Toiminnallisessa osiossa esitellään järjestelmän asennukset ja sen käyttöön liittyvät asiat. Järjestelmän käyttöönottaminen vaati testaustyötä sekä jatkuvaa virittämistä värähtelyn hälytysrajoille. Opinnäytetyön tekemisessä käytettiin apuna Metso DNA:n historiankeruu ohjelmaa, josta sai näkyviin historiatiedot värähtelyn muutoksista.

Opinnäytetyön aineistona on käytetty kunnonvalvontaa ja värähtelymittauksia käsittelevää kirjallisuutta, yrityksen sisäisiä tietolähteitä sekä järjestelmän toimittajalta, Metso Automaatiolta, saatua tietoa.

Kunnonvalvontajärjestelmän avulla on säästynyt teloja varmalta vaurioitumiselta. Järjestelmän ansiosta huonokuntoiset telat on havaittu ajoissa ja poistettu koneesta ennen kuin ne ovat aiheuttaneet vaurioita muille teloille. Järjestelmän hyödyntäminen vaatii jatkuvaa seuranta ja hälytysrajojen asettelua. Tällä hetkellä värähtelyn hälytysrajat säätää työnjohto. Ehdotukseni on, että käyttöhenkilöstö alkaa säätämään hälytysrajoja, jolloin rajat saadaan pidettyä matalampina ja siten tehostettua järjestelmän käyttöä.

Avainsanat: kunnonvalvonta, värähtelymittaukset, käyttöönotto, superkalanteri, telavaurio

Mechanical and Production
Engineering

Author	Timo-Olli Luokkanen	Year	2015
Supervisor(s)	Aslak Siimes, BEng		
Commissioned by	Stora Enso Oyj		
Subject of thesis	Implementation of condition monitoring system of supercalender rolls		
Number of pages	41		

The subject of this thesis was the implementation of the condition monitoring system of the supercalenders acquired that has been acquired for PM5 at Stora Enso Veitsiluoto Mill. The aim of the thesis was an effective use of condition monitoring and and so the prevention of the damage of the supercalender rollers.

The theoretical part includes basics for condition monitoring and vibration measurement as well as the structure of the supercalender and rolls. The functional part of the work was done on the supercalenders. The functional part I present the system installation and operational issues. The system demanded the deployment of testing work, as well as continuous updating of the vibration alarm limits. Metso DNA history collection program was utilized in the thesis work. The Program found the history of changes in the vibration

Literature on condition monitoring and vibration measurements was used as the material of the thesis. Information about Stora Enso's internal data sources and system supplier was also used.

Using the condition monitoring system rollers has spared from certain damage. The system detected the worn out rolls early and they were removed from the machine before the rolls had caused damage to other rolls. The utilization of the system requires continuous monitoring and updating alarm limits. At moment the supervisors update the vibration alarm limits. It is recommended that the operating staff begins to update the alarm limits so that the limits can be kept lower and so accelerate the use of the system.

Key words: condition monitoring, vibration measurements, deployment, supercalender, roll damage

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	STORA ENSO OYJ	9
2.1	Stora Enso Oyj Veitsiluodon tehtaot	9
2.2	Paperikonelinja viisi	10
3	METSO OYJ	12
3.1	Metso Automaatio	12
4	KUNNONVALVONTA	14
4.1	Kunnonvalvonnan menetelmät	14
4.2	Kuntoon perustuva kunnossapito	14
4.3	Värähtelymittaukset kunnonvalvonnassa	15
5	VÄRÄHTELYMITTAUS	16
5.1	Värähtely, sen suureet ja mittayksiköt	16
5.1.1	Siirtymäanturi	16
5.1.2	Nopeusanturi	17
5.1.3	Kiihtyvyyssanturi	18
5.2	Tahdistettu aikakeskiarvostus	18
6	SUPERKALANTERI	20
6.1	Kalanterointi	21
6.2	Superkalanterin telat	21
6.2.1	Kuitutelat	21
6.2.2	Polymeeritelat	22
7	TOTEUTUS	23
7.1	Asennukset	24
7.2	Käyttöliittymä	25
7.3	Toimintaperiaate	27
7.4	Järjestelmän tunnusluvut	28
7.5	Värähtelyn hälytysrajojen asettaminen ja henkilöstön kouluttaminen ..	29
8	KÄYTTÖÖNOTTO JA TOIMINTA	31
8.1	Käyttöönotto	31
8.2	Testit ja havainnot	32
8.2.1	Testi 1	33
8.2.2	Testi 2	34

8.2.3	Karviteippi tarttuneena SK51:n position 5. telaan.....	35
8.2.4	Liimaknööli SK52:n 5.polymeeritelassa.....	36
8.2.5	SK51 position neljä tela litistynyt HP:n päästä.	37
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	39
	LÄHTEET	41

ALKUSANAT

Tein opinnäytetyöni Stora Enson Veitsiluodon tehtaiden paperikonlinja viidelle. Haluan kiittää tuotantopäällikkö Jaakko Mustajärveä opinnäytetyön aiheesta. Haluan kiittää myös työtäni ohjanneita tukimus- ja kehitysinsinööri Heidi Niemistä ja opettajaani Aslak Siimesiä.

Iso kiitos kuuluu myös vaimolleni kannustuksesta ja tuesta, jota sain tehdessäni tätä työtä.

Kemi 11.5.2015

Timo-Olli Luokkanen

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

SK	superkalanteri
HP	Hoitopuoli
KP	Käyttöpuoli
STA	synchronous time averaging

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Stora Enson Veitsiluodon tehtaille paperinvalmistuslinja viiden superkalantereille hankitun kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotosta. Aiheen sain paperinvalmistuslinja viiden tuotantopäällikkö Jaakko Mustajärveltä ja työni ohjaajana toimi käyttöinsinööri Heidi Nieminen. Superkalantereilla on viime vuosina rikkoontunut paljon telapinnoitteita ja niiden korjaaminen on kallista. Näiden rikkoantumisien vuoksi superkalantereille päätettiin hankkia online-kunnonvalvontajärjestelmä superkalantereiden telojen pinnoitteitten valvontaan.

Paperinvalmistuslinja viisi tuottaa päällystettyä painopaperia. Linjan superkalantereilla suoritetaan paperin viimeistely. Superkalanterin telat rikkoontuvat herkästi, jos niiden pintaan tarttuu epäpuhtauksia kuten teippiä ja liimaa. Kunnonvalvontajärjestelmän pitäisi havaita telapinnoitteisiin tarttuneet epäpuhtaudet ja siten ehkäistä telapinnoitevauriot.

Opinnäytetyöni rajoittuu kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönottoon ja värähtelyn hälytysrajojen asetteluun. Opinnäytetyön teoriaosassa käydään läpi kunnon- ja värähtelynvalvonnan perusteita sekä superkalantereita ja niiden toimintaa. Toiminnallisessa osassa esittelen hankitun kunnonvalvontajärjestelmän ja sen käyttöönottoa sekä kunnonvalvontajärjestelmän toimivuutta.

2 STORA ENSO OYJ

Stora Enso oyj on maailmanlaajuinen paperi-, biomateriaali-, puutuote-, ja pakkausteollisuuden tuottaja. Konsernilla on toimintaa yli 35 maassa ja henkilöstöä on noin 28 000. Stora Enson osakkeet noteerataan Helsingin ja Tukholman arvopaperipörsseissä. Asiakkaita ovat kustantamot, painotalot ja paperitukkuri sekä pakkaus-, puusepän- ja rakennusteollisuus. (Stora Enso 2014a.)

Stora Enso tuottaa vuosittain 5,4 miljoonaa tonnia kemiallista sellua, 11,7 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia, 1,3 miljardia neliometriä aaltopahvia ja 5,6 miljoonaa kuutiometriä puutuotteita, josta 2,9 miljoonaa kuutiometriä on jatkojalosteita. Vuonna 2013 Stora Enson liikevaihto oli 10,5 miljardia euroa ja operatiivinen liikevoitto 578 miljoonaa euroa. (Stora Enso 2014a.)

2.1 Stora Enso Oyj Veitsiluodon tehtaat

Teollinen toiminta Veitsiluodossa alkoi vuonna 1922, jolloin saha aloitti toimintansa. Vuonna 1930 valmistui sahatoiminnan rinnalle sulfaattisellutehdas. Vuonna 1932 veitsiluodossa olevat, silloin Metsähallituksen omistamat, tehtaat siirtyivät valtion omistamalle Veitsiluoto Oy:lle. Vuonna 1955 veitsiluotoon valmistui ensimmäinen paperikone PK1. Sen alkuperäinen tuote oli sanomalehtipaperi, mutta se muutettiin 60-luvun lopulla päällystetyille painopaperille. (Stora Enso 2014b.)

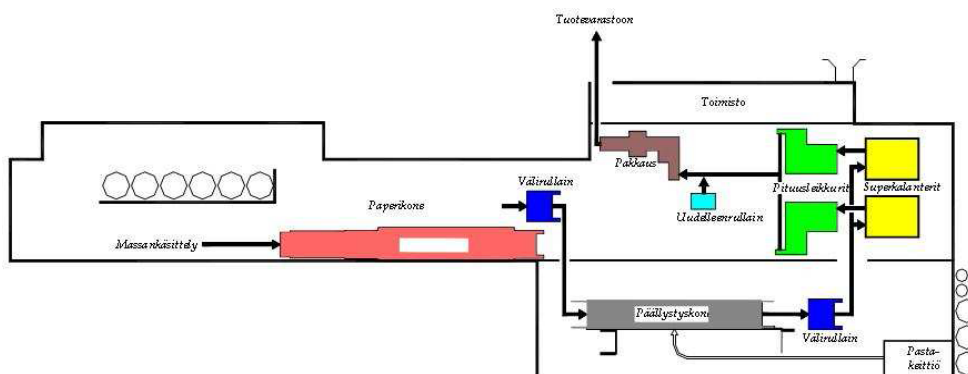
Vuosina 1962 ja 1963 Veitsiluotoon valmistui kaksi uutta paperikonetta, PK 2 ja PK 3. Myöskin nämä koneet tuottivat alkuun sanomalehtipaperia. Tuohon aikaan veitsiluodon saarella tuotettiin paperia kolmen koneen voimin 225 000 tonnia vuodessa, mikä on vähemmän kuin nykyään on yhden paperikoneen vuosituotanto. Veitsiluodossa oli vuosina 1965 - 1977 toiminnassa PK4, joka oli alun perin sellun kuivauskone, mutta paperikoneiden valmistuessa se jäi toimittomaksi ja se muutettiin kartonkikoneeksi. Vuonna 1972 valmistui PK5. Alkuun senkin tuote oli sanomalehtipaperi, mutta vuonna 1985 se muutettiin tuotta-

maan päällystettyä aikakauslehtipaperia. Arkittamo valmistui saarelle 1981, mikä on viimeisin suurenmittakaavan investointi saarelle. (Stora Enso 2014b.)

1990-luvun lopulla Veitsiluodossa tapahtui nimen ja omistajan muutos kahteen kertaan. Ensin vuonna 1996, Veitsiluoto Oy:stä ja toisesta valtion omistamasta yhtiöstä, Enso-Gutzeit Oy:stä muodostettiin Enso Oy. Se ehti toimia kaksi vuotta, kun vuonna 1998 ruotsalainen Stora AB ja Enso oy yhdistyivät nykyiseksi Stora Enso Oyj:ksi. Stora Enson aikana on uusittu vuosina 1999 ja 2003 paperikonelinjat kaksi ja kolme täydellisesti sekä arkittamo laajennettu 2008. Nykyisin saarella toimii sahan ja sellutehtaan lisäksi Paperikonelinjat 2, 3 ja 5. PK1-linja suljettiin huhtikuun 2014 lopussa. (Stora Enso 2014b.)

2.2 Paperikonelinja viisi

Paperikonelinja viisi (kuva 1) tuottaa vuosittain 280 000 tonnia puupitoista LWC-painopaperia. Paperin tuotenimet ovat NovaPress ja NovaPress Silk. Näiden tuotteiden neliömassat vaihtelevat 57-100 g/m² välillä. Paperikonelinjaan kuuluu pohjapaperikone, päällystyskone, kaksi superkalanteria, kaksi pituusleikkuria, uudelleenrullauskone ja rullapakkauskone.



Kuva 1 PK5-layout (Stora Enso 2003.)

Pohjapaperi valmistetaan paperikoneella, jossa se kääritään konerullaudan ympärille konerullaksi. Seuraavaksi se ajetaan välirullaimella, jossa siitä paikataan reiät ja leikataan molemmista reunoista reunanauhat. Sen jälkeen konerulla siirretään päällystyskoneelle, jossa paperin molemmille puolille lisätään päällyste. Päällystyksen jälkeen paperi ajetaan superkalantereilla, jossa muokataan paperille halutunlaiset painatusominaisuudet. Tämän jälkeen on vuorossa pituusleikkurit, joissa konerulla leikataan pituussuunnassa pienemmiksi asiakasrulliksi. Lopuksi asiakasrullat pakataan rullapakkaus-koneella. Uudelleenrullauskoneella voidaan uudelleenrullata asiakasrullia. Esimerkiksi jos rullan tilausta vaihdetaan, niin se leikataan uudelleenrullauskoneella uuden tilauksen mukaisesti asiakasrullaksi.

3 METSO OYJ

Metso syntyi vuonna 1999, kun Valmet Oyj ja Rauma Oyj yhdistyivät. Valmetin liiketoiminta oli keskittynyt paperi- ja kartonkikoneiden valmistukseen ja Rauman kuituteknologiaan, kivenmurskaukseen ja virtauksensäätöratkaisuihin. Vuonna 2014 Metso jakaantui kahdeksi eri yhtiöksi, Valmet Oyj:ksi ja Metso Oyj:ksi. Valmet keskittyy perinteidensä mukaisesti bio-pohjaisia raaka-aineita käyttävään teollisuuteen ja Metso keskittyy kaivos-, maanrakennus-, sekä öljy- ja kaasuteollisuuden älykkäisiin ratkaisuihin ja palveluihin. Uusi Metso on jakaantunut kahteen raportointisegmenttiin: Kaivokseen ja maanrakennukseen sekä Automaatioon. (Metso Oyj 2013.)

Metsolla työskentelee yli kuusitoistatuhatta asiantuntijaa yli viidessäkymmenessä maassa. Vuonna 2013 yrityksen liikevaihto oli 3,9 miljardia euroa. Metson osakkeet noteerataan Helsingin pörssissä. Metson tavoitteena on tukea kaivos-, kivenmurskaus-, öljy- ja kaasu- sekä muiden prosessiteollisuuden alojen kehitystä toimittamalla niille luotettavia ja kestäviä tuotteita ja palveluita turvallisuudesta tinkimättä. (Metso Oyj 2014b.)

3.1 Metso Automaatio

Metson automaatio-liiketoiminnan ydinosamisaalueita ovat tuotantotehokkuuden sekä kustannus-, materiaali-, ja energiatehokkuuden parantaminen ja riskienhallinnan tehostaminen. Asiakkaita ovat prosessiteollisuuden yritykset. (Metso Oyj 2014a.)

Metso Automaatio toimittaa virtauksensäätöratkaisuja ja niihin liittyviä palveluita paperi- ja massateollisuudelle. Edellä mainituille teollisuusaloille Metson automaatiotarjonta on markkinoiden laajin. Tarjonnasta löytyy ratkaisuja mittauksiin, analysointiin konenäkö- ja katkokamerajärjestelmiin, laatusäätöihin ja profilointi-toimilaitteisiin. Metso Automaatio toimittaa myös tehtaan laajuisia valmiita automaatiojärjestelmiä. Maailman sellutuotannosta 75 prosenttia kulkee Metson

venttiilien kautta. Metso Automaatio ja uusi Valmet Oyj ovat tehneet yhteistyösopimuksen. Metso Automaatio toimittaa myös ratkaisujaan muille paperi- ja massateollisuuden prosessi- ja konetoimittajille. (Metso Oyj 2014a.)

4 KUNNONVALVONTA

4.1 Kunnonvalvonnan menetelmät

Kunnonvalvontamenetelmiä on tänä päivänä useita. Aikaisemmin valvontaa suoritettiin lähinnä aistinvaraisin menetelmin. Niiden rinnalle ja tilalle on tullut erilaisia mittausmenetelmiä, kuten värähtelymittaus, voiteluaineanalyysi, lämpötilan mittaus, ainetta rikkomattomat menetelmät, äänimittaus ja rasiusten mittaamiseen venymäliuska mittaus. Kunnonvalvontamenetelmiin on otettu mukaan myös suojausjärjestelmät, jotka voivat olla erillisiä tai osana automaatio- tai kiinteää kunnonvalvontajärjestelmää. Suojausjärjestelmiä käytetään kohteissa, joissa laiterikko voi aiheuttaa vaaraa tuotannolle, ympäristölle tai ihmisille. (Mikkonen, Miettinen, Leinonen, Jantunen, Kokko, Riutta, Sulo, Komonen, Lumme, Kautto, Heinonen, Lakka & Mäkeläinen 2009, 417.)

4.2 Kuntoon perustuva kunnossapito

Standardi SFS-EN 13306 määrittelee kuntoon perustuvan kunnossapidon (Condition Based Maintenance, CBM) ”ehkäiseväksi kunnossapidoksi, johon sisältyy kunnonvalvontaa ja/tai tarkastamista ja/tai testausta, tulosten analysointia sekä näiden ohjaamaa kunnossapitoa”. Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa seuranta voi olla jaksottaista, tarvittaessa tai jatkuvaa. Kuntoon perustuva kunnossapito nojaa hyvin paljon kunnonvalvontaan, tarkastuksiin ja käyttöparametrien seurantaan. Siihen sisältyvät kokonaisuudessaan kaikki muutkin asiaan kuuluvat kunnossapitotoiminnot. (Mikkonen ym. 2009, 100; Standardi SFS-EN 13306.)

4.3 Värähtelymittaukset kunnonvalvonnassa

Yleisin kunnonvalvonnan mittauksista on värähtelymittaus. Värähtelymittauksia hyödynnetään myös vianetsinnässä ja käytönvalvonnassa ja se on oikein käytettynä useimmiten paras mittausten menetelmä ennakoivassa kunnossapidossa. Värähtelyn mittaamiseen on olemassa paljon erilaisia vaihtoehtoja, joka tuo omat haasteensa valittaessa haluttuun kohteeseen oikeanlaista menetelmää. Värähtelymittauksiin perustuvan menetelmän valitseminen vaatii paljon tietoa ja kokemusta eri menetelmistä ja mittaustyökaluista. Tässäkin projektissa käytettiin ulkopuolista ammattitaitoa luomaan halutunlainen kunnonvalvontajärjestelmä. (Nohynek & Lumme 2004, 17.)

Värähtelyn mittausten menetelmät voidaan jakaa kahteen eri luokkaan:

1. Vierintälaakereiden- ja koneiden yleistärinän valvontaan, joiden mittaus onnistuu yksinkertaisilla menetelmillä.
2. Koneen yksityiskohtaisen värähtelyn paikallistamiseen ja laakareiden kunnonvalvontaan, jotka vaativat monimutkaisempia menetelmiä.

Ensimmäisen luokan mittauksiin tarvitaan kahden eri taajuusalueen mittausta: Kymmenestä tuhanteen hertsin taajuudella ilmenevät akseleiden viat, kuten linjausvirheet, epätasapainot ja liitosten löystyminen. Vierintälaakereiden kunnon mittaamiseen käytetään yli kahdentuhannen hertsin taajuutta, jolla ilmenee voitelukalvon puuttuminen tai laakerin vikaantumisen.

Kun halutaan paikallistaa vika tarkemmin, tarvitaan luokkaan kaksi kuuluvia mittalaitteita. Näiden avulla voidaan esimerkiksi tahdistusta käyttäen, paikallistaa vika tietylle akselille tai laakerille. Seuraavassa luvussa käyn läpi värähtelymittausta, siinä käytettäviä antureita sekä aikakeskiarvostettua tahdistusta. (Nohynek & Lumme 2004,18.)

5 VÄRÄHTELYMITTAUS

5.1 Värähtely, sen suureet ja mittayksiköt

Mekaanista värähtelyä on koneenosan, laitteen tai rakenteen liikettä tasapainoaseman ympärillä. Yllä pysyäkseen värähtely tarvitsee jatkuvasti suuntaa ja suuruutta vaihtelevaa voimaa. Sitä synnyttää esimerkiksi pyörivän telan epämuodostumat, epäpuhtaudet tai rakenteelliset virheet telan pyöriessä koneessa. (Nohynek & Lumme 2004, 40.)

Värähtelyä voidaan mitata kolmena eri suureena, joita ovat siirtymä, värähtelynopeus ja kiihtyvyys. Siirtymän ($x = \text{mm}$) avulla värähtelyä mitattaessa ilmaistaan kohteen sijaintia suhteessa vertailupisteeseen. Nopeusmittaus ilmaisee kohteen kulkeman siirtymän tietyssä ajassa. Nopeus ($x' = \text{mm/s}$) saadaan derivoimalla siirtymä ajan suhteen yhden kerran. Kun siirtymä derivoidaan kahteen kertaan ajan suhteen, saadaan tulokseksi kiihtyvyys ($x'' = \text{mm/s}^2$). Kiihtyvyyssmittaus ilmaisee kohteen nopeuden muutokset tietyssä ajassa. Integroimalla päinvastaisessa järjestyksessä kuin edellä, saadaan kiihtyvyydestä nopeus ja siitä edelleen siirtymä, joten yhdellä anturilla saadaan mitattua kaikki edellä mainitut mittaussuureet. Kaikille mittaussuureille on olemassa myös omanlaisensa mittaussanturit: siirtymäanturi, nopeusanturi ja kiihtyvyyssanturi. Seuraavissa osioissa käsitellään tarkemmin värähtelymittauksen anturityypit. (Nohynek & Lumme 2004, 45)

5.1.1 Siirtymäanturi

Siirtymäanturi mittaa kohteen ja anturin välistä etäisyyttä. Siirtymäantureiden yleinen käyttökohde on värähtelyn mittaaminen tai akselin radiaalisen ja aksiaalisen aseman osoittamiseen. Yleinen siirtymäanturi on pyörrevirta-anturi. Teoreettinen mittausalue pyörrevirta-antureilla on 0Hz...10kHz:n välillä, mutta käytännössä yläraja rajoittuu noin 200Hz:iin, koska suurilla taajuuksilla siirtymäar-

vot ovat suhteellisen pieniä. Lisäksi mittausaluetta rajoittaa anturin suurimman ja pienimmän signaalin suhde, eli anturin dynamiikka-alue, joka on tyypillisesti luokkaa 100:1. (Mikkonen ym. 2009, 235.)

Pyörrevirta-anturin toiminta perustuu sen päässä olevan kelaan, joka muodostaa magneettikentän, ja se synnyttää pyörrevirtoja kohdatessa mitattavan kohteen pinnan. Anturin ja mittauskohteen väliset etäisyyden muutokset ovat suoraan verrannollisia anturin induktanssiin ja ulostulojännitteeseen. Ulostulojännitteen perusteella selviää anturin ja mittauskohteen välinen etäisyys. (Nohynek & Lumme 2004, 49.)

Pyörrevirta-antureiden yleisin käyttökohde on liukulaakeroitujen koneiden kunnonvalvonta. Anturi kiinnitetään laakeripesään, josta se mittaa akselin värähtelyä. Mittaustulokseen vaikuttavat kohteen värähtelyt ja pinnan magneettisuudet. Kun anturin kiinnityskohta ja mittauspinta värähtelevät samassa vaiheessa, niiden suhteellinen etäisyys ei muutu, joten mittaus ilmaisee pientä värähtelyä. Tilanteen ollessa päinvastainen, eli kun mittauskohta ja kiinnityspiste värähtelevät vastakkaisessa vaiheessa, suhteellisen etäisyyden muutos on suuri ja mitaussignaali ilmaisee suurta värähtelyä. (Mikkonen ym. 2009, 235.)

5.1.2 Nopeusanturi

Nopeusanturi koostuu kuoren sisällä olevasta käämistä ja sen sisällä olevasta magneettisesta massasta, joka on kiinnitetty päistään jousilla anturin kuoriin. Kun mitattava kohde alkaa värähdellä anturi mukanaan, jousien varassa oleva massa pyrkii pysymään paikallaan, jolloin se aiheuttaa anturin nopeuteen verrannollisen jännitteen käämiin. Jännite johdetaan anturin ulkopuolelle mittaus-signaaliksi eikä sitä tarvitse muuttaa, mikäli nopeus on mitattava suure. Mittausalue nopeusantureilla on kymmenestä tuhanteen hertsiä. Anturin alarajataajuuteen vaikuttaa sen sisäinen resonanssi, johon vaikuttaa jousien jäykkyys ja magneettinen massa. Sisäinen resonanssitaajuuden alue on kolmesta kahtentoista hertsiin. Nopeusanturi ei tarvitse ulkoista virtalähdettä. Hankaluuksia no-

peusanturin käyttöön aiheuttavat kohteen sähkömagneettikentät, anturin suuntaisuus sekä lämpötilojen vaihtelut. Yleisiä käyttökohteita nopeusantureille ovat maaperän liikkeet ja värähtelyt esimerkiksi maanjäristystilanteissa. (Nohynek & Lumme 2004, 47- 48.)

5.1.3 Kiihtyvyyssanturi

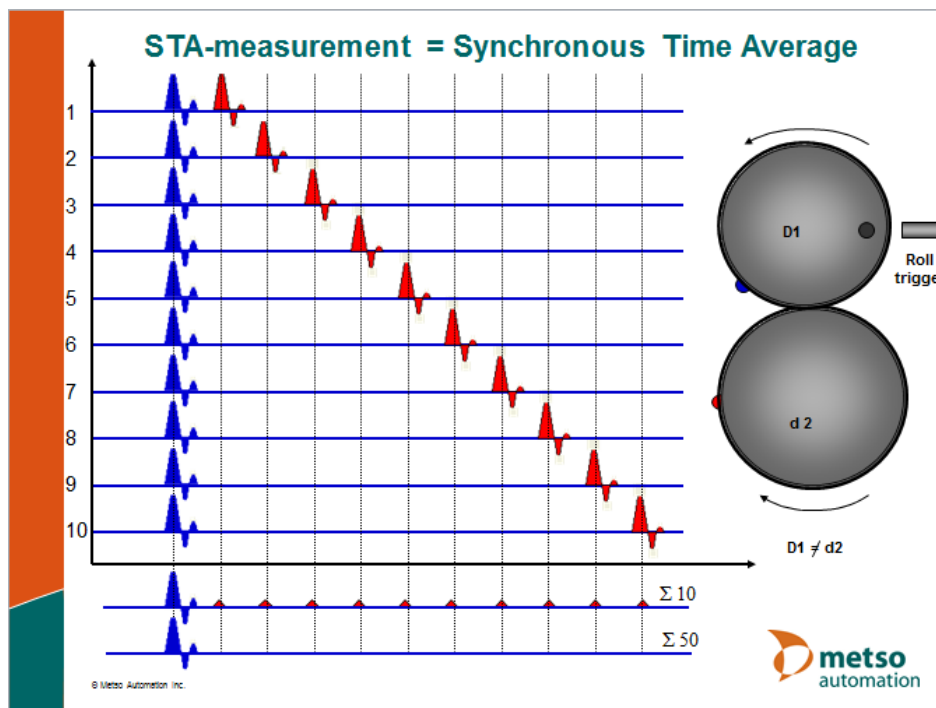
Yleisesti ottaen kiihtyvyyssanturit ovat pienikokoisia. Niiden koko vaihtelee nuppineulan päätä pienemmistä antureista nyrkin kokoisiin antureihin. Kiihtyvyyssantureissa ei ole liikkuvia osia, joten niiden mittatarkkuus ei yleensä heikkene iän myötä. (Nohynek & Lumme 2004, 46.)

Toimintaperiaatteeltaan kiihtyvyyssanturit ovat yksinkertaisia. Ne pitävät sisällään pietsosähköisen kiteen, joka kiinnittyy anturin kuoriin kiinnityselementeillä. Kiinnityselementin päällä tai sivuilla on seisminen massa. Anturi kiinnitetään mittaushoiteeseen, jonka mukana se liikkuu. Pietsosähköiseen kiteeseen kiinnitetty seisminen massa puristaa tai venyttää kidettä, ja tämä saa aikaan anturin kiihtyvyyteen verrannollisen suuruuttaan ja etumerkkiään vaihtelevan varauksen. Jatkuvasti muuttuva varaus johdetaan varausvahvistimeen, jossa se muuntuu jatkuvasti muuttuvaksi jännitteeksi. Jännite muodostaa anturista saatavan mittaussignaalin. Kiihtyvyyssanturin mittaustulosalue on tyyppillisesti noin kahdestatuhannesta neljääntoistatuhanteen hertsiin. Anturin kiinnitystapa vaikuttaa mittaustulosalueen rajoihin. (Nohynek & Lumme 2004, 46.)

5.2 Tahdistettu aikakeskiarvostus

Aikatasokeskiarvostuksella (Synchronous Time Averaging, STA) saadaan suodatettua ja vaimennettua kohinaa signaalista. Tämä selkeyttää ja vahvistaa mitattavan kohteen värähtelytasoa. Värähtelyn signaalia keskiarvostetaan, jotta saadaan satunnaisten vaihteluiden merkitys minimoitua mittaustuloksissa. Tah-

distettu aikakeskiarvostus saadaan mittaamalla kohteesta useita spektrejä, joista lasketaan keskiarvo. Mittauksen ajankohta liipaistaan eli synkronisoidaan mitattavan kohteen pyörimistäajuuden mukaan, joten siitä tulevan värähtelyn signaali ajoittuu aina samalle kohdalle. Muista värähtelylähteistä tulevat signaalit ajoittuvat mittauksessa aina eri kohtaan, joten laskettaessa spektrien keskiarvoa, muiden kuin mitattavan kohteen arvot menevät lähelle nollaa, kuten alla olevasta kuvasta 2 ilmenee. (Mikkonen ym. 2009, 205- 206)

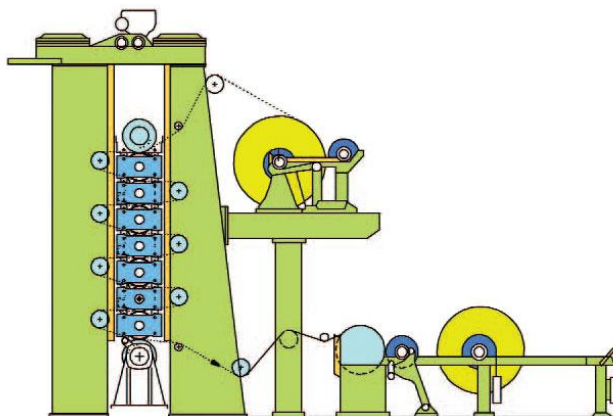


Kuva 2 STA-mittauksen periaate (Metso Automation 2014.)

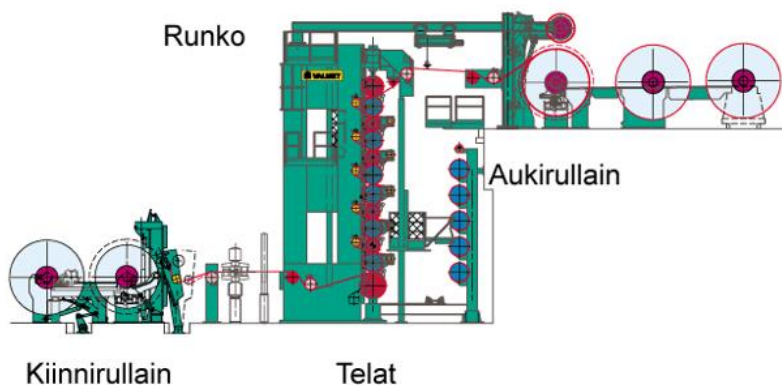
Liipaisussa käytetään mitattavasta kohteesta riippuen eri ulkoista tai sisäistä liipaisua. Ulkoisessa liipaisussa käytetään ulkopuolista liipaisun lähdettä, kuten magneettista anturia. Sisäisessä liipaisussa liipaisun lähde saadaan mittaussignaalista. Tässä kunnonvalvonta projektissa käytetään ulkoista liipaisua, jonka lähteenä on magneettinen tahdistusanturi. (Mikkonen ym. 2009, 273.)

6 SUPERKALANTERI

Superkalanteri on kone, jolla muokataan lähinnä painopaperiin halutunlaiset painettavuusominaisuudet. Se koostuu pystysuunnassa olevasta telapatterista, jossa on yleensä kymmenestä kahteentoista telaa. Telapatterissa on metalli- ja kuitupintaisia teloja, jotka vuorottelevat patterissa. Lisäksi superkalanterissa on auki- ja kiinnirullaus sekä tarvittava määrä paperinohjausteloja. Superkalanterin runkomalleja on kahdenlaisia: Kuvassa kolme on kuvattuna A-mallin runko, jossa telat sijaitsevat runkopilareiden välissä ja kuvassa neljä on kuvattuna I-mallin runko, jossa telat ovat rungon ulkopuolella. I-runkoisten superkalanterien tulemisen myötä A-mallin rungot ovat hävinneet miltei kokonaan, koska telan vaihto tässä A-runkoisissa malleissa on hankalampaa. (VTT 2009.)



Kuva 3 A-runkoinen superkalanteri (VTT 2009.)



Kuva 4 I-runkoinen superkalanteri (VTT 2009.)

6.1 Kalanterointi

Paperin puristaminen kahden tai useamman telan välissä on kalanterointiprosessi. Kalanteroinnissa paperin muoto muuttuu joka suunnassa. Isoin muokkaava tekijä on puristuspaine, mutta myös leikkaus- ja kitkavoimat vaikuttava muodonmuutokseen. Päälystetyillä papereilla kalanterointi tehdään ennen ja jälkeen päälystysten. Ennen päälystystä tapahtuvassa kalanteroinnissa paperin huokoisuus, karheus ja paksuusprofiili kalanteroidaan halutunlaisiksi. Päälystysten jälkeen kalanterointi on viimeinen konevaihe paperinvalmistuksessa. Tämä suoritetaan superkalanteroinnilla. Tässä vaiheessa paperin pintaan kohdistetaan erilaisia kalanteroitumismekanismia. Puristamalla saadaan silotettua pinnan epätasaisuudet, eli kukkulat painuvat enemmän kasaan kuin laaksot, ja samalla materiaaleja siirtyy kukkuloilta laaksoihin. Kalanteroinnissa paperin pinnassa olevat pitkulaiset ja levymäiset partikkelit siirtyvät paperin pinnan suuntaisiksi. Kalanteroinnissa paperirata kopioituu telojen pinnan mukaan, eli on tärkeää että telojen pinnoitteet ovat kunnossa ja sileitä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003, 204- 205)

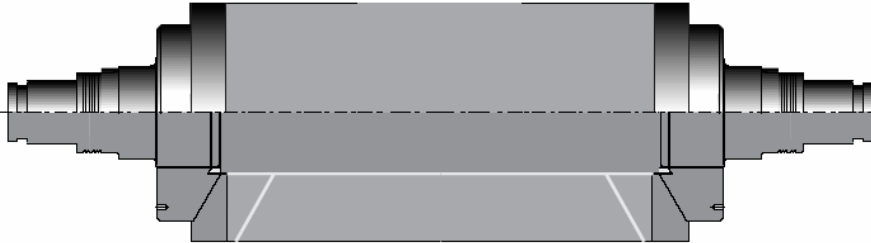
6.2 Superkalanterin telat

Telapatterissa on kolmenlaisia teloja. Alimpana ja ylimpänä ovat taipumakompensoidut telat. Keskellä patteria vuorottelevat joustavat paperitelat ja kovat metallipintaiset kokillitelat. Lisäksi superkalanterissa on useita aputeloja, kuten paperinohjaus ja levitystelat sekä kireydenmittaustelat ja kiinnirullauksen painotela. (VTT 2009.)

6.2.1 Kuitutelat

Kuitutela muodostuu akselista, molemmissa päissä olevista päätylevyistä ja muttereista sekä päätylevyjen väliin prässätyistä puuvilla/villa kiekkoista. Päälystetyn painopaperin kuituteloissa käytetään villaa 15 - 30 prosenttia ja loput puu-

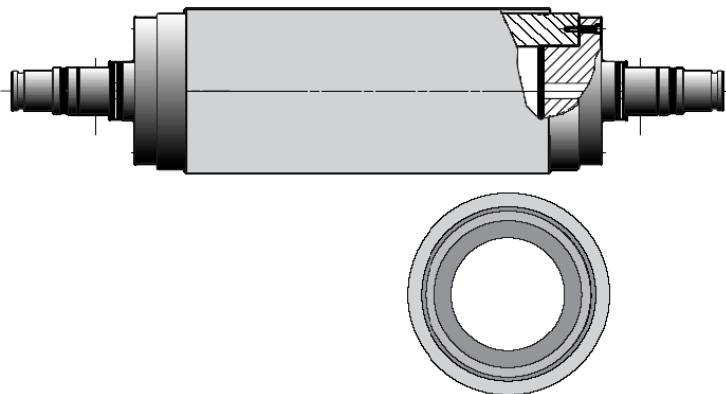
villaa. Villan avulla kuitutelasta saadaan elastisempi kuin käytettäisiin pelkkää puuvillaa. Elastisuus parantaa telan markkeeraantumiskestävyyttä sekä auttaa sitä palautumaan paremmin pintaan tulleista painaumista. (Jokio 1999, 86.)



Kuva 5 Kuitutelan rakenne (Jokio 1999, 86.)

6.2.2 Polymeeritelat

Kuitutelojen pinnat ovat herkempiä markkeeraantumisille kuin polymeeritelat. Kuitutelat eivät myöskään kestä yhtä hyvin lämpöä ja viivakuormaa kuin polymeerit. Näistä syistä kuituteloja on alettu korvaamaan polymeeripintaisilla teloilla. Polymeeritelan rakenne eroaa jonkin verran kuitutelan rakenteesta. Polymeeritelan pinnassa on pintakerros, jonka paksuus on noin 12 - 15 millimetriä. Pinnoitteen alla on noin kuuden millimetrin pohjakerros, joka kiinnittyy teräsakseliin. Pinnoitteen tarkoitus on kalanteroida paperille. Pinnoitteelle on paljon vaatimuksia, kuten markkeerauksen ja kulutuksen kesto, tasainen pinta, jäykkyys, lämmön kesto, alhaista lämpölaajenemista. (Jokio 1999, 90.)



Kuva 6 Polymeeritelan rakenne (Jokio 1999, 90.)

7 TOTEUTUS

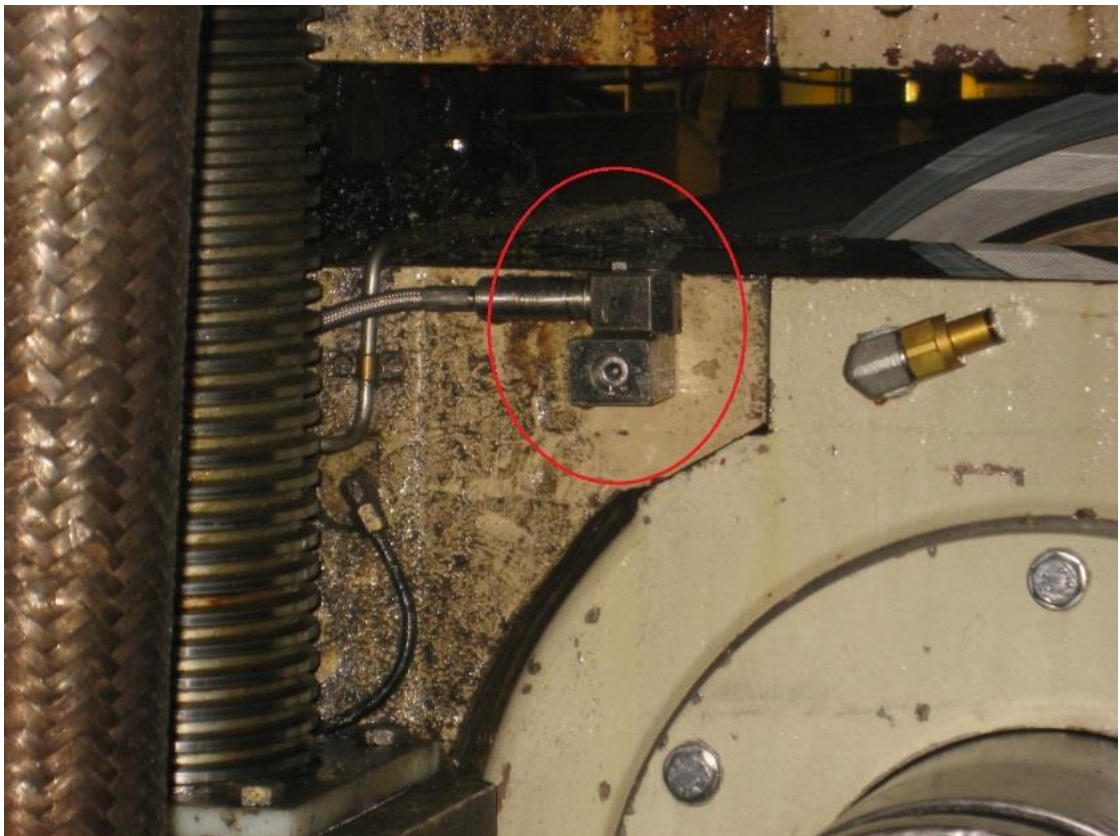
Paperikonelinja viiden superkalantereilla on ollut ongelmana polymeeripinnoitteisten telojen vaurioituminen. Vauriot ovat olleet pääsääntöisesti samanluonteisia. Niiden syntyä ei ole kyetty analysoimaan tarkasti, mutta telojen toimittajat ovat raportoineet huolto- ja korjauspöytäkirjoissaan vaurion aiheutuneen ulkopuolisista tekijöistä. Kalanterin teloilta onkin useasti löydetty liimaa, jota käytetään edellisessä konevaiheessa valmistuvan konerullan pinnan sidontaan.

Telojen pinnoitevaurioiden vuoksi Stora Enso päätti hankkia kunnonvalvontajärjestelmän telavaurioiden ehkäisemiseksi. Molemmille superkalantereille asennettiin Metson toimesta värähtelymittauksiin perustuvan online-kunnonvalvontajärjestelmä. Järjestelmä mittaa reaaliajassa kalantereiden telojen värähtelyä ja ilmaisee poikkeamista. Se sisältää myös kaksitoista kiihtyvyyssanturia ja kuusi tahdistusanturia yhtä superkalanteria kohden. Kiihtyvyyssanturit asennettiin molempien kalantereiden kuitupintaisille teloille, joita kahden toista telan telapatterissa on kuusi. Lisäksi kuituteloille asennettiin tahdistusanturit, jotka tahdistavat värähtelyn mittaus ajankohdan, ja siten saadaan tarkasti telakohtainen värähtely tahdistetun aikakeskiarvostuksen avulla.

Kunnonvalvontajärjestelmän hankinta päätettiin helmikuussa 2014. Kenttä- ja käyttöjärjestelmä asennukset tehtiin saman vuoden maaliskuun ja huhtikuun aikana. Toukokuussa suoritettiin kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotto ja tehtiin muutokset superkalantereiden logiikkaan. Asennuksista ja käyttöönotosta vastasi kunnonvalvontajärjestelmän toimittaja.

7.1 Asennukset

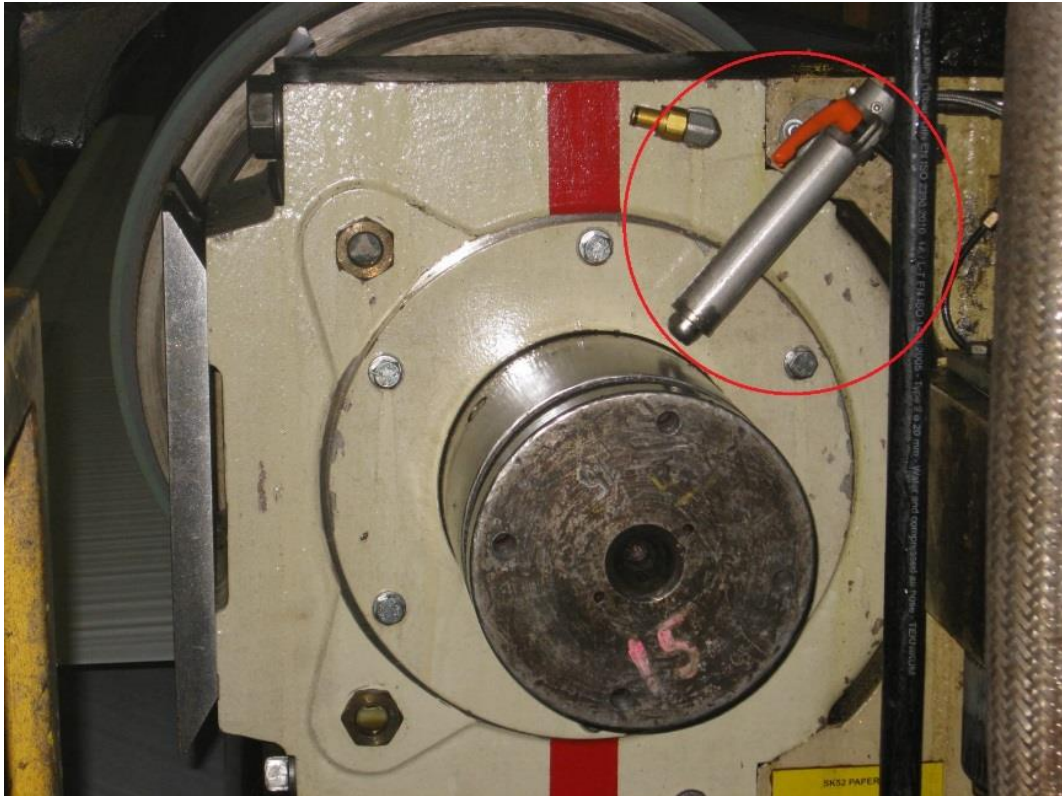
Molemmille superkalantereille asennettiin keskenään samanlaiset järjestelmät, jotka toimivat itsenäisesti, riippumatta toisesta järjestelmästä. Kiihtyvyyssanturit asennettiin kuitupintaisten telojen päihin, telan laakeripesän istukkaan. Kuvassa seitsemän näkyy kiihtyvyyssanturi asennettuna paikoilleen.



Kuva 7 Kiihtyvyyssanturi

Jokaiselle paperitelalle asennettiin tahdistusanturi. Molemmilla superkalantereilla tahdistusanturit asennettiin hoitopuolelle. Anturi asennettiin noin kahdenkymmenen senttimetrin mittaisen putken päähän, joka kiinnittyy telan laakeripesän istukkaan pitimen avulla. Tämä mahdollistaa telanvaihdossa anturin siirtämisen telan edestä pois ja näin saa tilaa telanvaihtoon, eikä anturi rikkoonnu niin herkästi. Tahdistusanturi reagoi telaan porattuun magneettiin. Magneetit asennettiin jokaiselle paperitelalle molempiin päihin. Teoriassa olisi riittänyt magneetin asentaminen vain toiseen päähän, mutta koska samaa telaa käytetään molemmissa kalanterissa ja telat saattavat huollossa käydessään tulla toi-

sinpäin takaisin tehtaalle, vaarana olisi ollut magneetin päätyminen väärälle puolen kalanteria. Tämä takia magneetit päätettiin asentaa molempiin päihin helpottamaan järjestelmän käyttöä sekä turvaamaan sen toimivuutta. Kuvassa kahdeksan näkyy tahdistusanturi asennettuna paikoilleen.



Kuva 8 Tahdistusanturi

Kiihtyvyyss- ja tahdistusantureilta vedettiin kaapeloinnit ristikytkentätilaan, jossa prosessorit käsittelevät mittausdatan ja muodostavat mittaustulokset. Tulokset tulevat näkyviin kalantereiden valvomon päätteille, mistä operaattorit voivat seurata telojen värähtelyä reaaliajassa.

7.2 Käyttöliittymä

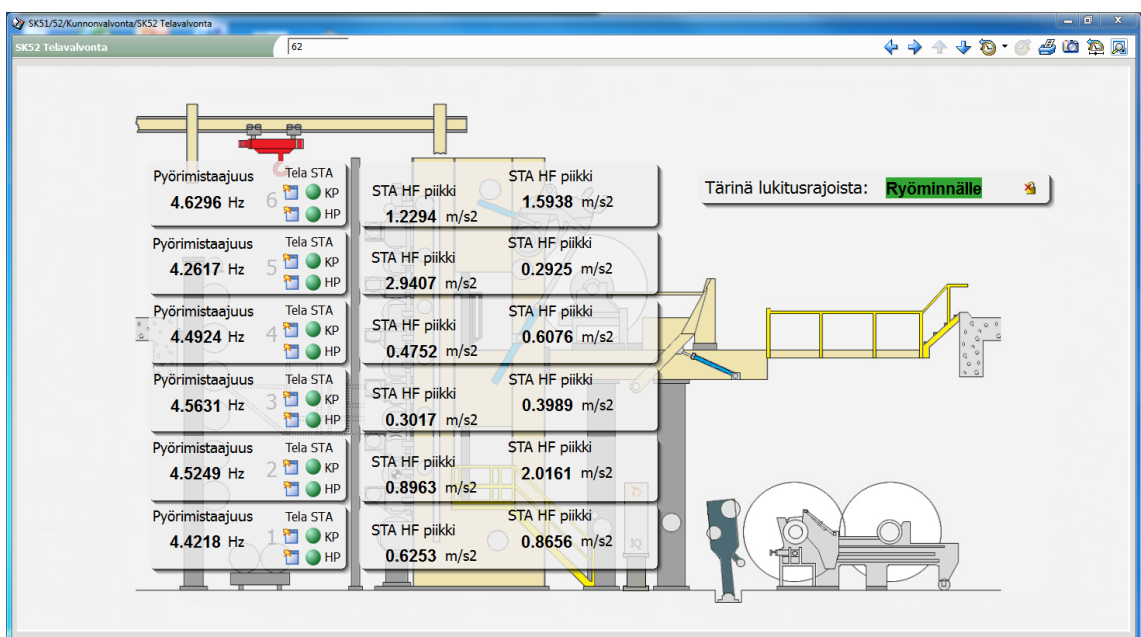
Järjestelmän käyttöliittymänä käytetään Metson DNA:ta, joka oli käytössä jo entuudestaan superkalantereilla. Käyttöliittymään rakennettiin oma kunnonvalvonta osio, josta on helppo seurata järjestelmän toimintaa. Kuvassa yhdeksän

näky käyttöjärjestelmän ohjauspaneeli, jonka kautta pääsee kunnonvalvontan- ja kalanterin operointisivuille.



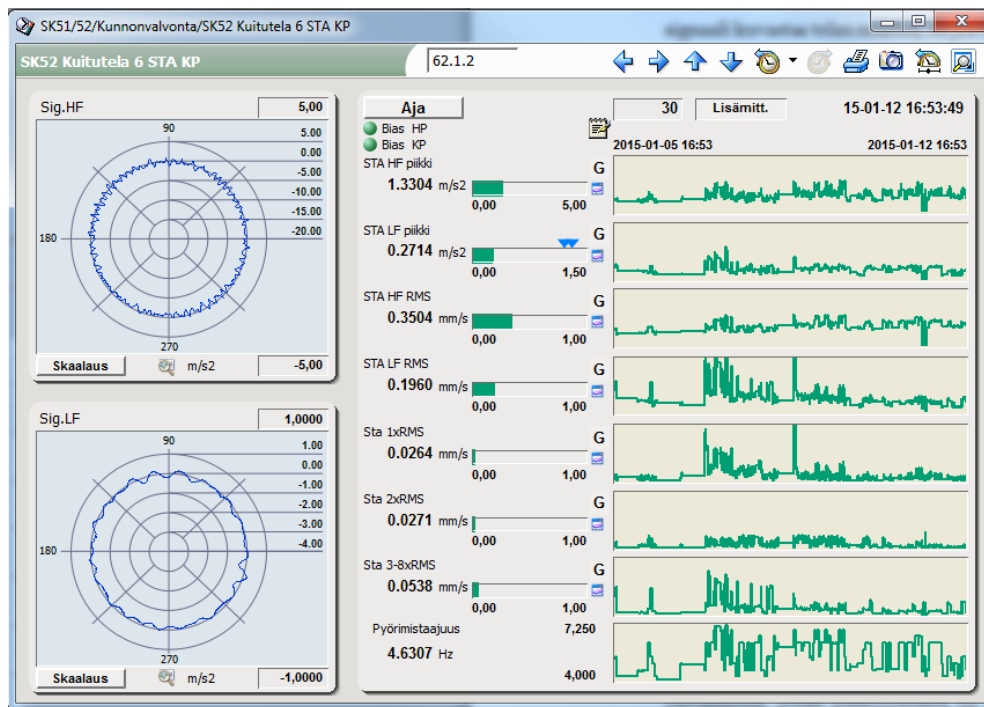
Kuva 9 DNA käyttöliittymä

Kunnonvalvonta-osiosta löytyvät kalanterikohtaiset päänäkyvät sekä molempien kalantereiden yhteinen hälytyslista, jossa näkyy ainoastaan kunnonvalvontajärjestelmästä tulleet hälytykset. Kalanterikohtaiseen näkymään on koottu jokaisen kiihtyvyyssanturin korkeantaajuuden huippu- arvon viimeisin mittaustulos sekä reaaliaikainen taajuus kultakin telalta. Kuva kymmenen on SK52:n kalanterikohtaiselta sivulta. Sivulla näkyy viimeisimmät mittaustulokset jokaiselta anturilta sekä sen hetkinen telojen pyörimistaajuus. Sivulla näkyy myös lukitusrajan ylityksestä aiheutuva valittuna oleva toiminnallisuus. Myös SK51:lle on samanlainen sivu.



Kuva 10 Kalanterikohtainen pääsivu

Jokaiselle kiihtyvyyssanturille on oma sivu, jossa näkyy kiihtyvyyssanturin mittaustulokset sekä tahdistusanturilta tuleva telakohtainen taajuus. Näin ollen jokaiselle telalle on kaksi sivua, joista seurataan telan kuntoa. Mittaustulos matalan- ja korkeantaajuuden huipun arvoilta näkyy myös ympyrän muotoon pyöräytettyinä signaalina, jotka kuvastavat telan kuntoa, sen päästä katsottuna. Korkean taajuuden signaali ilmaisee telan ”raipoittumista”, eli telassa olevaa pienikokoista muokkaantumista. Matalantaajuuden signaali kuvastaa telan muotoa, eli jos siinä on esimerkiksi kolo tai patti jollakin kohtaa telaa.



Kuva 11 Anturikohtainen sivu

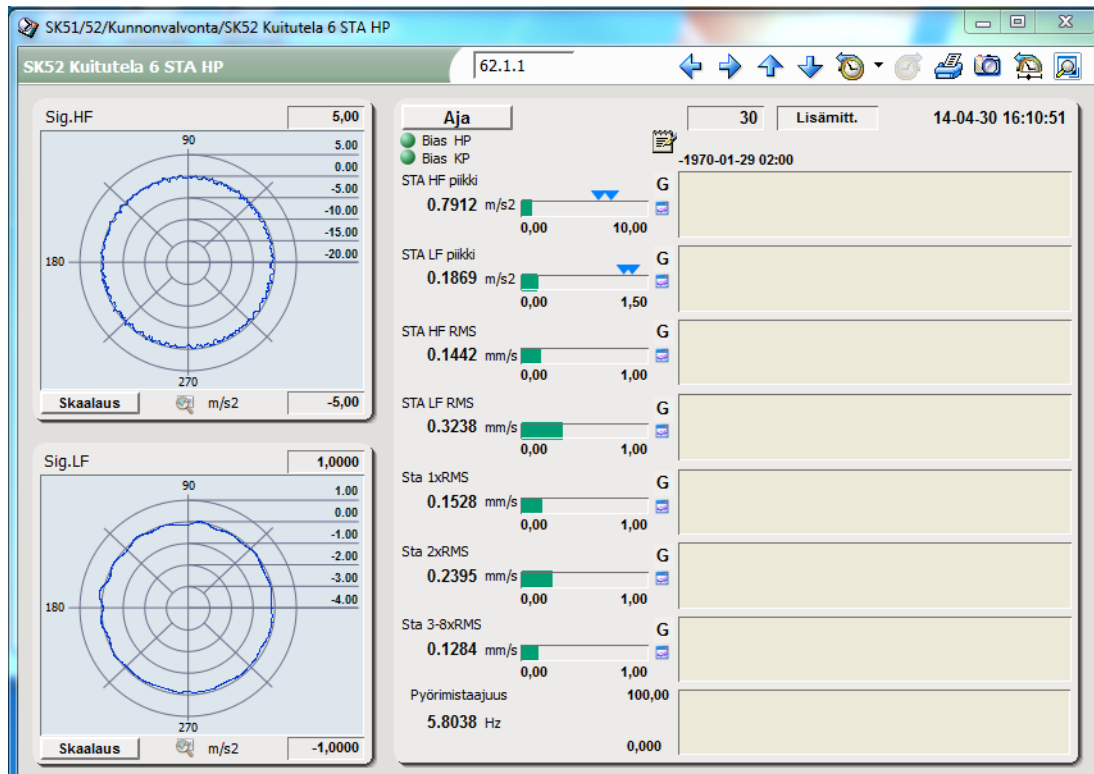
7.3 Toimintaperiaate

Värähtelyiden mittaamisessa käytetään tahdistettua aikakeskiarvostusta. Järjestelmä mittaa 7,5 sekunnin ajan signaalia, joka jaetaan kolmeenkymmeneen telan pyörähdystä vastaavaan ajanjaksoon ja näistä lasketaan keskiarvo. Tahdituksessa käytetään jokaisella mitattavalla telalla olevaa tahdistusanturia. Mitta-

uksen edellytyksenä on, että kone on tuotannolla, jonka määritelmänä on koneen nopeuden oltava vähintään 500 metriä minuutissa, ja telan pyörimistäajuuden on oltava yli neljä hertsiä. Pyörimistäajuuden ehto toteutuu suurimmilla telahalkaisijoilla nopeuden ollessa noin 600 metriä minuutissa. Kun ajetaan alle tämän nopeuden, kunnonvalvontajärjestelmä ei suorita mittauksia. Mittauksen sykli aika on kuusikymmentä sekuntia. Tämä aika täytyy olla mahdollisimman pieni, koska telavaurioiden muodostuminen teipin tai liiman tarttuessa telan pintaan on vain minuutteja.

7.4 Järjestelmän tunnusluvut

Värähtelymittauksissa tarkastellaan telanvalvonnan osalta seitsemää eri tunnuslukua: korkean taajuuden (100 – 1000 Hz) kiihtyvyyden huippu (STA HF piikki), matalan taajuuden (0 – 100 Hz) kiihtyvyyden huippu (STA LF piikki), korkean ja matalan taajuuden nopeuden tehollisarvoa (STA HF RMS ja STA LF RMS) sekä nopeuden tehollisarvon monikertoja.



Kuva 12 Anturikohtainen sivu

Tärkein tunnusluku on korkean taajuuden kiihtyvyyden piikin arvo, jonka taajuusalue on sadasta tuhanteen hertsiin. Tälle arvolle on asetettu kalanteria ohjaava toiminnallisuus hälytysrajan ylittyessä. Toiminnallisuusvaihtoehdot hälytysrajan ylittyessä ovat koneen ryöminnälle ajo tai telapakan pika-avaus. Toiminnallisuus on myös mahdollista ottaa kokonaan pois käytöstä, mikäli sille ilmenee tarvetta.

7.5 Värähtelyn hälytysrajojen asettaminen ja henkilöstön kouluttaminen

Järjestelmän hälytysrajat olivat haasteellisia asettaa ilman historiatietoja laitteen värähtelytasosta. Rajat asetettiin korkeataajuisen kiihtyvyyden piikin arvolle (STA HF piikki). Kun järjestelmä oli saatu mittamaan, sen annettiin kerätä dataa yksitoista vuorokautta ennen ensimmäisten hälytysrajojen asettamista. Hälytysrajoja on kaksi, joista alempi on varoitusraja ja ylempi raja laukaisee valitun toiminnallisuuden. Rajat asetettiin kerätyn datan ja toimittajan kokemusten perusteella siten, että alempi varoitusraja asetettiin arvoon 6 m/s^2 ja varsinainen hälytysraja arvoon 7 m/s^2 . Toimittajan kokemusten perusteella nämä arvot olivat huomattavasti alhaisemmat, kuin vastaaville järjestelmille oli asetettu muissa toimituksissa. Nämä rajat asetettiin kaikille antureille. Jokaiselle anturille on myös mahdollista asettaa omat hälytysrajat.

Hälytysrajojen muuttaminen anturikohtaisesti tuli tarpeeseen, kun teimme teippi-testin SK52:n 1.positiossa olevalle polymeeritelalle. Testi osoitti, että alkuperäiset hälytysrajat olivat liian korkeat. Järjestelmä mittasi hälytysrajan (7 m/s^2) ylittävän lukeman vasta siinä vaiheessa, kun telan pinta oli jo vaurioitunut korjauskelvottomaksi.

Testin jälkeen polymeeripintaisten telojen hälytysrajat muutettiin huomattavasti pienemmiksi. Alempi hälytysraja asetettiin arvoon 2 m/s^2 ja ylempi raja arvoon 3 m/s^2 . Käyttöönoton aikana järjestelmää testattiin kahteen kertaan, joista tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

Koulutukset kunnonvalvontajärjestelmään pidettiin käyttöönoton aikana. Koulutukset järjestettiin luokkahuoneessa ja niihin osallistui kaikki superkalantereilla työskentelevät. Kouluttajana näissä koulutuksissa toimi Metson edustaja. Koulutuksen tavoitteena oli saada kaikille siihen osallistuneille tietoa järjestelmästä, sen hankintaperusteista ja tavoitteista. Koulutuksen perusteella käyttöhenkilöstö pystyy seuraamaan telojen kuntoa.

8 KÄYTTÖÖNOTTO JA TOIMINTA

Telapinnoitteiden kunnonvalvontajärjestelmän ensisijainen hankintaperuste oli liimaklönttien havaitseminen niiden tarttuessa polymeeritelojen pintaan. Superkalantereilla oli vaurioitunut vuonna 2013 useita pinnoitteita polymeeriteloista. Yhdeksi vaurioiden aiheuttajaksi epäiltiin juuri edellisestä konevaiheesta paperin mukana tulevia liimaknöölejä, koska telojen vauriot olivat johtuneet telan pinnoitteen ulkopuolisista tekijöistä. Lisäksi kunnonvalvontajärjestelmän avulla havaitaan huonokuntoiset paperitelat.

8.1 Käyttöönotto

Sopimus kunnonvalvontalaitteiston hankkimisesta tehtiin 3.2.2014. Sopimuksen tekemisen jälkeen sovittiin toimituksen aikataulu. Maaliskuun alkupuolella kunnonvalvontalaitteiston tarvikkeet saapuivat tehtaalle ja kuudes päivä maaliskuuta asennettiin kaapelit ristikytkentätilasta kenttäkoteloille. 10 - 13.3.2014 tehtiin asennukset superkalantereille. Molemmille kalantereille asennettiin yhteensä kaksikymmentäneljä kiihtyvyyssanturia ja kaksitoista tahdistusanturia. Samaan aikaan kaikille paperiteloille porattiin magneetit molempiin päihin telaa tahdistusta varten. Jokaista mitattavaa telaa kohden tuli kaksi kiihtyvyyssanturia ja yksi tahdistusanturi. Huhtikuun aikana ristikytkentätilaan asennettiin kunnonvalvontajärjestelmän ohjauskaappi ja superkalanterien valvomon päätteille lisättiin kunnonvalvonta sivut Metso DNA-käyttöjärjestelmään.

Varsinainen laitteiston käyttöönotto aloitettiin 5.5.2014, jolloin kaikki asennukset olivat valmiita. Käyttöönoton aikana Metso Automaation edustajat olivat paikalla virittämässä kunnonvalvontajärjestelmää. Käyttöönoton aikana kunnonvalvontajärjestelmää testattiin kahdella teippitestillä, joista kerron tarkemmin seuraavassa osiossa. Testeistä saimme tärkeää tietoa järjestelmän käyttäytymisestä ja toimivuudesta. Käyttöönotto kesti kaksitoista vuorokautta, jonka aikana järjestelmään asetettiin hälytysrajat ja saatiin testattua sen kaikki toiminnallisuudet. Tänä aikana pidettiin myös koulutukset käyttö- ja kunnossapitohenkilöstölle.

Toukokuun kuudestoista päivä päättyi varsinainen käyttöönotto ja alkoi tuotannollinen koekäyttö. Koekäytön aikana käyttöjärjestelmän kuvia muokattiin käyttäjien toiveiden mukaisesti. Lisäksi ilmeni, että kun välirullaajalla tehty karvi eli teippiliitos ajetaan superkalanterin läpi täydellä ajonopeudella, värähtelyn voimakkuus nousee niin ylös että se pysäyttää kalanterin. Alkuun ajateltiin, että näin ei kävisi vaan karvista aiheutuva tärinä häviäisi keskiarvostukseen. Karvi kuitenkin aiheuttaa niin voimakasta värähtelyä, että keskiarvostuksella ei saa suodatettua sitä pois. Tästä syystä ajosivuille lisättiin mahdollisuus ohittaa kunnonvalvontajärjestelmä viideksi minuutiksi ja näin saadaan karvi ajettua läpi kalanterista ilman turhia pysäytyksiä. Hankinnan lopullinen hyväksyminen tehtiin 6.2.2015.

8.2 Testit ja havainnot

Tässä kappaleessa käsitellään kunnonvalvontajärjestelmän toimivuutta. Järjestelmää testattiin kahdella koeajolla, joista kerron tarkemmin seuraavissa luvuissa. Tässä osiossa kerron myös järjestelmän havaitsemia poikkeamia telojen värähtelyissä.

Kunnonvalvontajärjestelmän ollessa käytössä SK52:n polymeeripintaisesta telasta on kerran löydetty liimaklöntti. Telan värähtelyn taso nousi noin $0,3 \text{ mm/s}^2$ tasolta noin $1,6 \text{ mm/s}^2$ tasolle. Koska hälytysraja oli $2,0 \text{ mm/s}^2$, ei järjestelmä pakottanut kalanteria ryöminnälle. Liimaknööli löydettiin 18.11.2014 ja värähtelyssä tasonmuutos oli tapahtunut 17.11.2014.

Silkki laatua ajettaessa kalanterilla paperirata menee vain kahdesta nipistä, kun taas se kiiltävää laatua ajettaessa menee yhdestätoista nipistä. Tästä johtuen varsinkin 1.position tela likaantuu ja nostaa värähtelyn tason kolmekertaa suuremmaksi kuin ajettaessa kiiltävää laatua. Tämän vuoksi telojen värähtelyn ylempi hälytysraja täytyy pitää vähintään $2,0 \text{ mm/s}^2$, jotta kalanterille ei tule turhia pysähdyksiä. Liimaknöölin aiheuttama värähtelyn muutos on niin pieni, että

taso ei nouse hälytysrajan yli. Hälytysrajat pitäisi säätää siten, että se on hieman korkeampi kuin sillä hetkellä vallitseva värähtelytaso. Nykyisellään värähtelyn hälytysrajoja säätävät vuoromestarit ja käyttöinsinööri, joten he eivät ehdi säätämään rajoja jatkuvasti. Tämän vuoksi olisi hyvä siirtää rajojen säätäminen prosessinhoitajien vastuulle. He voisivat aina työvuoron alussa katsoa värähtelyn tason ja säätää hälytysrajat $0,5 \text{ mm/s}^2$ ylemmäs sen hetkisestä värähtelystä. Tällä tavoin saataisiin hälytysrajat pidettyä mahdollisimman alhaisina ja siten tehostaa kunnonvalvontajärjestelmän käyttöä. Mielestäni operaattorit saataisiin myös paremmin sitoutumaan järjestelmän käyttöön, kun he pystyisivät itse määrittelemään värähtelyn hälytysrajat ja sitä myöten he seuraisivat tarkemmin kunnonvalvontajärjestelmän tunnuslukuja.

8.2.1 Testi 1

Testasimme kunnonvalvontajärjestelmän toimivuutta asettamalla sk51:n 2. positionissa olevalle paperitelalle kaksi teipinpalasta. Toinen teippi laitettiin lähelle telan hoitopuolen päätyä ja toinen teippi laitettiin keskelle telaa. Teipit asetettiin 90 asteen kulmaan toisiinsa nähden. Kalanterilla ajettiin noin viiden minuutin jakso, jonka aikana kunnonvalvontajärjestelmä ei ilmaissut teippejä odotetulla tavalla. Oletuksena oli, että korkean taajuuden huipun arvo olisi noussut, mutta näin ei käynyt. Matalan taajuuden signaalissa näkyi hieman telan muokkaantamista hoitopuolen anturilla, mutta sekään ei ollut kovin selvä. Pysäytettyämme kalanterin havaitsimme teippien lähteneen luistamaan telalla, joka näkyy kuvassa 13.



Kuva 13 Teippi SK51:n 2.position telassa

Teipin, eli värähtelyn aiheuttajan, paikan muuttuminen jokaisella telan pyörähdyksellä vaikutti oleellisesti mittaustulokseen. Järjestelmä käyttää signaalin suodatuksessa STA-menetelmää, joten teipin paikan muuttumisen myötä värähtelyn voimakkuus hävisi keskiarvostukseen. Toinen mittaustuloksiin vaikuttava asia oli teipin paksuus suhteessa telan pinnan markkeeraantumisiin. Osa pinnan markkeeraantumista oli syvyydeltään suurempia kuin teipin paksuus. Kolmas asia oli teipin osittainen painuminen telan pinnoitteeseen.

8.2.2 Testi 2

Ensimmäisen testin tulosten perusteella ei saatu varmuutta järjestelmän toimivuudesta eikä värähtelyn tason muutoksista vieraiden partikkeleiden tarttuessa teloille. Siksi päätimme tehdä toisen testin yhdessä toimittajan kanssa.

Testissä asetettiin kaksipuoleisella teipillä paperinpala kiinni superkalanteri 52:n polymeeripintaisen telan hoitupuolen reunaan. Teippinä käytettiin kalanterin konerullan vaihdossa käytettävää karviteippiä ja paperinpalanen oli ajossa olevasta paperista. Testissä käytettiin kunnonvalvontajärjestelmän lisäksi lämpökameraa, jolla seurattiin telan pinnan lämpötilaa paperinpalasen kohdalta. Tällä pyrittiin seuraamaan mahdollista hot spot- ilmiötä, eli telapinnoitteen paikallista lämpötilan nousua. Ennen testiä kyseisen telan värähtelyn korkeantaajuuden huipun arvo vaihteli $0,8 - 0,9 \text{ m/s}^2$ välillä.

Kalanterin laitettiin ajolle nopeudella kuusisataa metriä minuutissa. Korkeantaajuuden huipun arvo nousi tasolle 3 m/s^2 . Täällä nopeudella ajoa jatkettiin kolme minuuttia. Seuraavaksi nopeus nostettiin kahdeksaansataan metriä minuutissa ja korkeantaajuuden huipun arvo nousi 6 m/s^2 . Tässä vaiheessa keskusteltiin testin lopettamisesta, mutta koska lämpökamera ei havainnut lämpötilan muutoksia, testiä päätettiin jatkaa. Tällä nopeudella ajettiin kaksi minuuttia huipun arvon pysyessä samana, minkä jälkeen nopeutta lisättiin viidelläkymmenellä metrillä minuutissa. Nopeuden lisääminen ei vaikuttanut korkeantaajuuden huipun arvon nousuun. Tässä vaiheessa testiä lämpökameralla ei havaittu lämpöti-

lanmuutoksia telalla. Kahden minuutin ajon jälkeen vauhti nostettiin yhdeksään-sataan metriin minuutissa. Vauhdin nostosta kului aikaa kaksikymmentä sekuntia, kun lämpökameralla havaittiin lämpötilan nousu telan pinnassa. Välittömästi kalanterin hoitaja laittoi koneen ryöminnälle. Samaan aikaan kunnonvalvontajärjestelmä mittasi korkeantaajuuden huipun arvoksi $8,6 \text{ m/s}^2$, joka ylitti ylemmän hälytysrajan. Myös tämä pakotti kalanterin ryöminnälle. Koneen pysähtyttyä menimme katsomaan telaa ja havaitsimme telan pinnoitteesta irronneen palasen halkaisijaltaan noin kymmenen senttimetrin alueelta. Tela vaurioitui korjauskelvottomaksi. Kuvassa 14 näkyy testin ajalta telan 1 värähtelyn suuruus sekä pyörimistaajuus.



Kuva 14 Toisen testin telan STA HF piikin arvo ja pyörimistaajuus.

Kunnonvalvontajärjestelmä toimi halutulla tavalla ja havaitsi telaan kiinnitetyn paperinpalasen jo alhaisessa nopeudessa. Värähtelyn voimakkuus oli huomattavasti alhaisempaa, kuin toimittajan arvio sen voimakkuudesta oli.

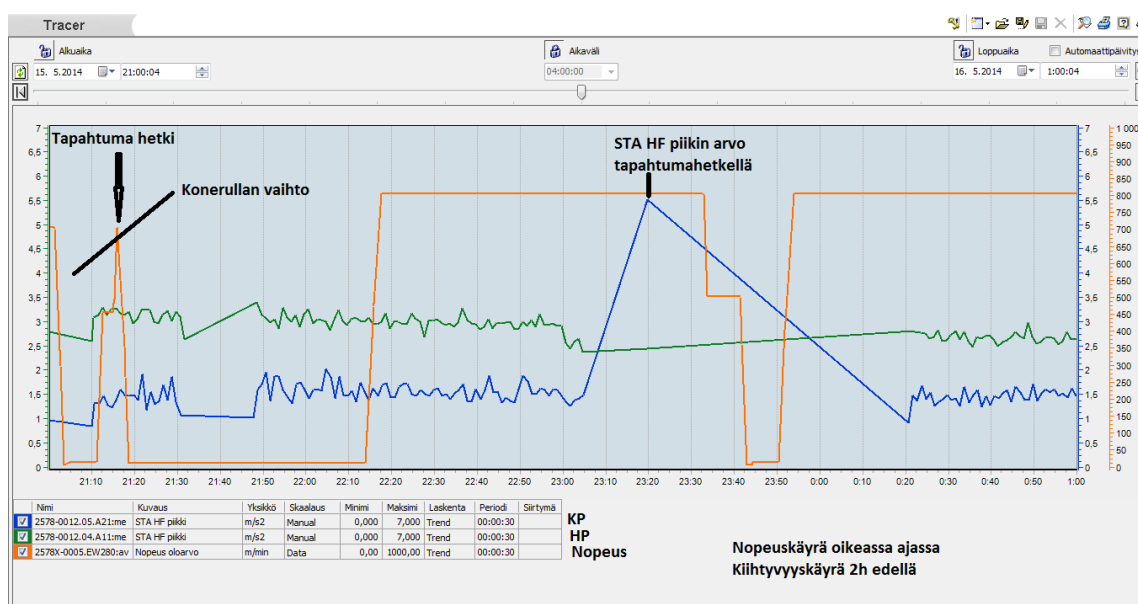
8.2.3 Karviteippi tarttuneena SK51:n position 5. telaan.

Torstaina 15.5.2014 noin kello 21.20 oli konerullan vaihto SK51:llä. Vaihdoissa oli tarttunut 5. telaan karviteippiä noin 10 senttimetrin pätkä käyttöpuolelle telaa. Teippi huomattiin vasta, kun kalanteri laitettiin vaihdon jälkeen ajolle ja kunnon-

valvontajärjestelmä antoi ensimmäinen mittaustuloksen. Tulos osoitti telan käyttöpuolen kiihtyvyyssanturin mitanteen korkeantaajuuden huipun arvoksi $5,5 \text{ m/s}^2$. Lukema ylitti ylemmän hälytysrajan, joka oli 3 m/s^2 . Järjestelmä pakotti kalanterin ryöminnälle. Hoitopuolen anturi ei reagoanut teippiin. Operaattorit menivät tarkistamaan telaa ja löysivät siitä teipin.

Ilman kunnonvalvontajärjestelmää telan pinnoite olisi hyvin todennäköisesti vaurioitunut, koska teippi ja paperi olivat samaa, jota käytettiin testissä kaksi.

Kuvassa 15 on trendit superkalanterin nopeudesta ja viitostelan värähtelystä käyttö- ja hoitopuolelta. Nopeus ja värähtelytrendi ovat eri ajassa johtuen järjestelmin eristä kellonajasta. Värähtelyn trendit ovat kaksi tuntia etuajassa nopeuteen verrattuna.



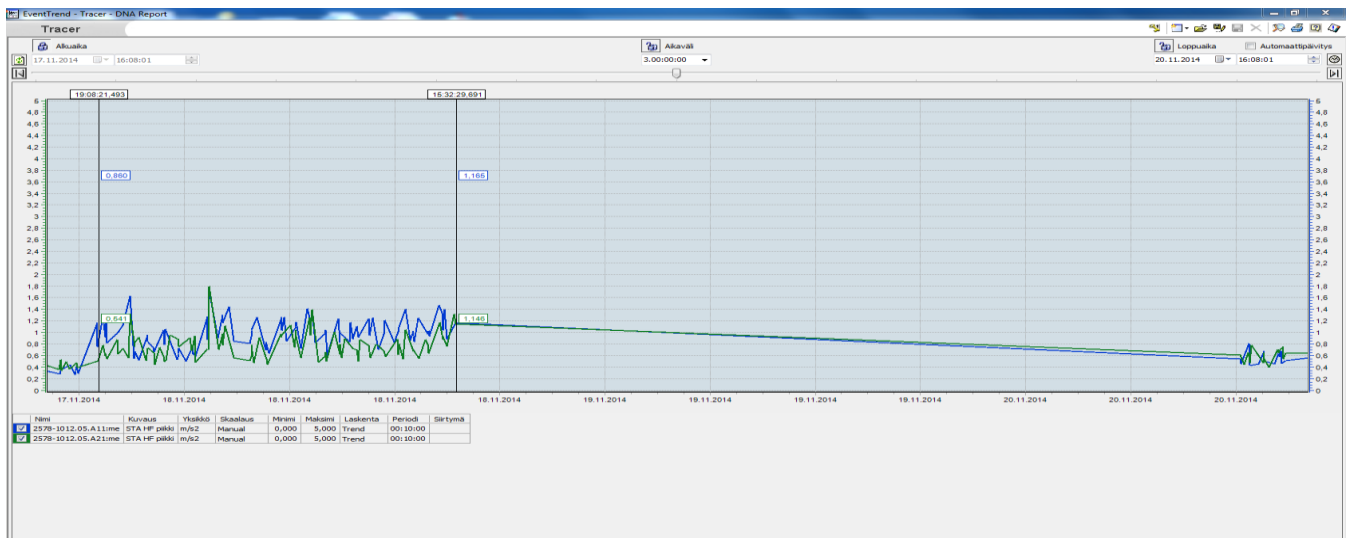
Kuva 15 Karviteippi tarttuneena polymeeritelaa.

8.2.4 Liimaknööli SK52:n 5.polymeeritelassa

18.11.2014 PK5 linjan seisokissa prosessinhoitaja löysi superkalanteri 52:n polymeeripintaisesta telasta ”pikkusormenpään” kokoisen liimaknöölin. Tutkin ky-

seisen telan värähtelyhistoriaa, ja siinä näkyi telalla kohonnut värähtelyn taso. Värähtely oli noussut $0,4 \text{ mm/s}^2$ tasolta $1,0 \text{ mm/s}^2$ tasolle. Kalanterille oli ajettu noin vuorokausi kohonneella värähtelyn tasolla ja ilmeisesti liimaknööli oli ollut koko tämän ajan kiinni telassa. Prosessinhoitaja oli irroittanut liimaknöölin telasta, eikä sillä kohtaa näkynyt telassa jälkeä, kun tarkastelin sitä seuraavana päivänä.

Liimaknöölin aiheuttaman värähtelyn taso on sen verran pieni, että se menee telojen ominaisvärähtelyn haarukkaan. Kuvassa 16 näkyy liimaknöölin aiheuttamat muutokset värähtelyssä.

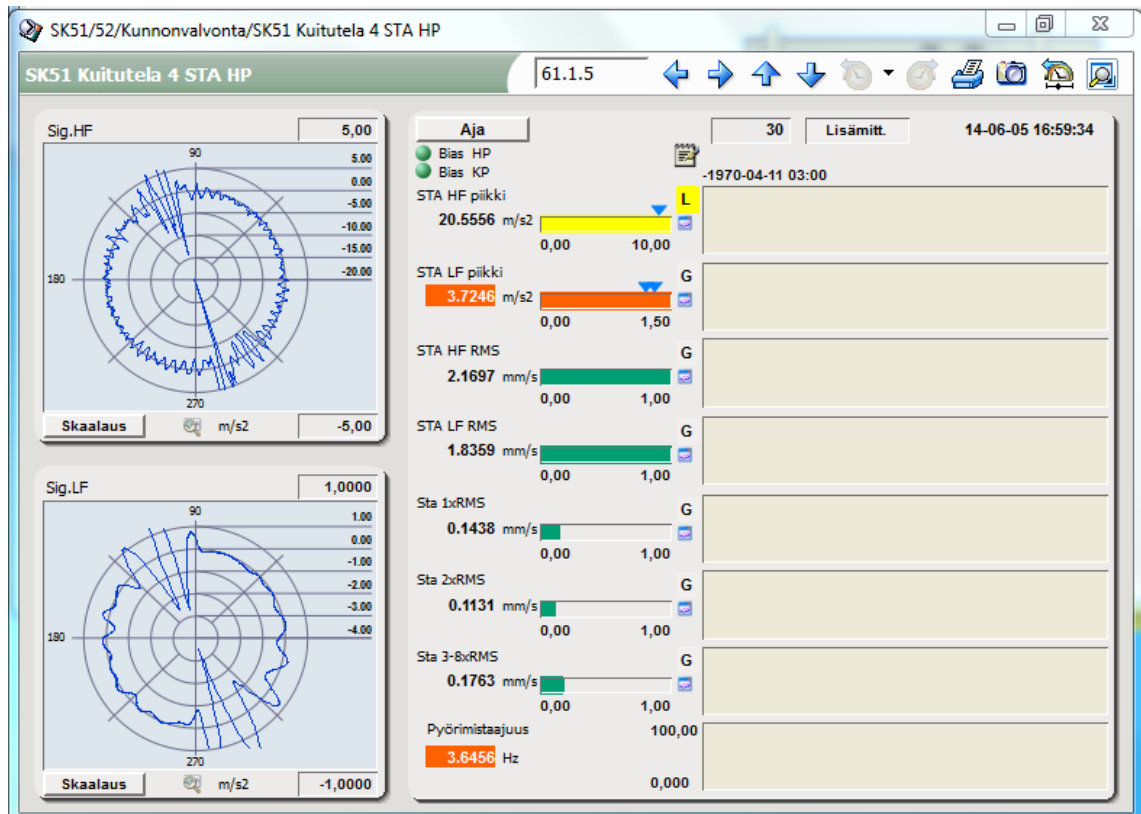


Kuva 16 Värähtelyn trendi SK52 positio 5, liimaknöölistä aiheutuneet muutokset.

8.2.5 SK51 position neljä tela litistynyt HP:n päästä.

Kunnonvalvontajärjestelmä mittasi superkalanterin 51 position neljä telan hoitopuolen päästä kiihtyvyyden piikin arvoksi $20,5 \text{ mm/s}^2$. Tämä arvo ylitti kalanterin pysäytyksen aiheuttavan rajan. Prosessinhoitajat menivät tarkastamaan telaa ja havaitsivat sen litistyneen hoitopuolen päästä. Litistymisen syyksi todettiin se, että telapatteri oli mennyt vinossa kiinni ja hoitopuoli oli mennyt kiinni ennen käyttöpuolta aiheuttaen telan litistymisen.

Ilman kunnonvalvontajärjestelmää telalla olisi todennäköisesti ajettu, ja se olisi aiheuttanut muokkaantumista myös muille teloille. Kuvassa 17 näkyy hyvin, kuinka kunnonvalvontajärjestelmä piirtää kuvan telan muodosta sen päästä katsottuna.



Kuva 17 Telan 4 hoitopuolen värähtelyn mittaustulokset.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön aiheena oli kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotto Stora Enson Veitsiluodon tehtaiden paperikonelinja viiden superkalantereilla. Kunnonvalvontajärjestelmä hankittiin ehkäisemään polymeeripintaisten superkalanterien pinnotevaurioita. Superkalanterilla on viimevuosina vaurioitunut useita pinnoitteita polymeeriteloista, ja syiksi vaurioitumisille on todettu likapartikkeleiden tarttuminen telan pinnoitteeseen.

Aihe oli haastava, koska en aikaisemmin ole ollut tekemisissä kunnonvalvontajärjestelmien kanssa, eikä minulla ollut pohjatietoa värähtelymittauksista. Opinnäytetyöni aikana luin aiheesta kirjoista ja internetistä sekä kyselin asioista kunnonvalvontajärjestelmän toimittajalta. Kunnonvalvonta on yhä enenemissä määrin lisääntymässä teollisuudessa, ja sen vuoksi tekemästäni työstä on minulle varmasti paljon hyötyä tulevaisuudessa.

Vuoden aikana ennen kunnonvalvontalaitteiston käyttöönottoa polymeeritelojen pinnotevaurioita oli paljon. Kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönoton jälkeen telavauriot ovat vähentyneet seitsemänkymmentä prosenttia. Järjestelmän ansiosta on säästynyt varmuudella yksi telapinnoite, mutta järjestelmän tulon jälkeen teloja on vaihdettu jo ennen koneessa olotuntien täyttymistä, jos niiden värähtelyn taso on noussut tai muuttunut paljon.

Kunnonvalvontajärjestelmän käyttöä hankaloittaa se, että partikkeleiden tarttuessa telaan sen aiheuttama värähtelyn tason muutos on pieni. Esimerkiksi liimaknöölin tarttuminen telaan aiheuttaa pienemmän muutoksen värähtelyssä kuin ajettaessa silkkiälaatua superkalantereilla.

Kunnonvalvontajärjestelmän tehokkuutta parantaisi värähtelyn hälytysrajojen jatkuva päivittäminen. Tällä toiminnalla hälytysrajan pystyisi pitämään lähellä senhetkistä värähtelyn tasoa. Toinen tehokkuutta parantava asia olisi se, että järjestelmään rakennettaisiin silkin ja kiiltävän ajolle omat hälytysrajansa värähtelylle. Järjestelmä ottaisi ajossa olevan lajitiedon superkalanterista ja määrittäisi

si hälytysrajat sen perusteella. Viime vuosina sattuneet polymeeritelojen pinnoiteauriot ovat sattuneet pääasiassa kiiltävän ajolla, joten korkeammat hälytysrajat silkkiä ajettaessa ilman paperia pyörivillä teloilla eivät todennäköisesti aiheuttaisi telojen rikkoontumisia. Vieraat partikkelit joutuvat telojen pinnoille paperin mukana.

Kunnonvalvontajärjestelmä on hyvä apuväline superkalanterin telojen laadun ja kunnon parantamisessa. Sen avulla saadaan kiinni huonokuntoiset telat, ennen kuin ne aiheuttavat muokkaantumisia muille teloille. Lisäksi kun huonokuntoiset telat saadaan heti vaihdettua pois superkalanterista, niihin ei ehdi syntyä niin rajua muokkaantumista, kuin jos ne olisivat koneessa täyden ajan. Tämä vähentää hionnantarvetta teloille ja siten jatkaa niiden elinikää.

LÄHTEET

- Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2003. Kemiallinen metsäteollisuus 2, Paperin ja kartongin valmistus. Helsinki: Opetushallitus.
- Jokio, M. 1999. Papermaking Part 3, Finishing. Helsinki: Fapet Oy.
- Metso 2013. Metson historia. Viitattu 28.11.2014
http://www.metso.com/fi/corporation/about_fin.nsf/webwid/wtb-041026-2256F-0E48b?opendocument#.VLzPcy6PxTs
- Metso 2014a. Automaatio. Viitattu 28.11.2014
http://www.metso.com/fi/corporation/home_fin.nsf/webwid/wtb-131216-2256f-38cec?opendocument#.VLzRIS6PxTs
- Metso 2014b. Me olemme Metso. Viitattu 28.11.2014
http://www.metso.com/fi/corporation/about_fin.nsf/webwid/wtb-090522-2256F-858ba?opendocument#.VLzM_S6PxTs
- Mikkonen, H., Miettinen, J., Leinonen, P., Jantunen, E., Kokko, V., Riutta, E., Sulo, P., Komonen, K., Lumme, V., Kautto, J., Heinonen, K., Lakka, S. & Mäkeläinen, R. 2009. Kuntoon perustuva Kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.
- Nohynek, P. & Lumme, VE. 2004. Kunnanvalvonnan värähtelymittaukset. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 11. Rajamäki: KP-Media Oy.
- SFS-EN Standardi SFS-EN 13306
- Stora Enso 2003. NovaNet. Viitattu 27.11.2014.
 \\fiveifs5\Apps\KnowNova\veitsiluoto\kayttoliittymat_PK5\pm5_otsikot\ppv_pm5.htm
- Stora Enso 2014a. Stora Enso lyhyesti. Viitattu 27.11.2014
<http://www.storaenso.com/lang/finland/stora-enso-lyhyesti>
- Stora Enso 2014b. Sisäinen Insite, Veitsiluoto 2014 –esittelykalvosarja. Viitattu 27.11.2014.
- VTT 2009. Tuotteet ja tuotanto, KnowPap Versio 16,0.
http://www.knowpap.com/extranet/suomi/knowpap_system/user_interfaces/tuotantoprosessit/papvalm.htm