

Senni Valtanen

KALANTERITELOJEN KUNNON HALLINNAN KEHITTÄMINEN

Tuotantotalouden koulutusohjelma

2014

## KALANTERITELOJEN KUNNON HALLINNAN KEHITTÄMINEN

Valtanen, Senni  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Tuotantotalouden koulutusohjelma  
Lokakuu 2014  
Ohjaaja: Karinen, Jarmo  
Sivumäärä: 53  
Liitteitä: 1

Asiasanat: superkalanteri, värähtely, tiedonsiirto, kannattavuus

---

Tämän opinnäytetyö tehtiin UPM:n Rauman paperitehtaalla, jossa oli tarvetta parantaa paperikone 2:n superkalantereiden värähtelytutkimusta ja tiedonsiirtoa. Superkalantereilla käsitellään paperikoneesta tullutta paperia, jonka pinta pitää silottaa ja kiillottaa puristavien telojen avulla. Ongelmana oli, että superkalanterin paperiset telat vioittuvat herkästi, jolloin niiden kuntoa pitää seurata jatkuvasti, jotta läpiajettavan paperin laatu pysyy vaatimuksien mukaisena. Vioittumista tutkitaan värähtelyantureilla, jotka on juuri kytketty Sensodec 6S -järjestelmään. Tutkittavia teloja on useita, jolloin helpoin tapa valvoa kuntoa on asettaa hälytysrajoja. Opinnäytetyön aiheena oli asettaa nämä hälytysrajat oikealle tasolle, jolloin telojen vaihtoa ja huoltoa pystytään ennakoimaan.

Vioittuneiden telojen pinnat hiotaan telahuollossa, jolloin niiden halkaisijat muuttuvat. Koska superkalanterin telojen yhteenlaskettujen halkaisijoiden pitää olla tietyissä rajoissa, tarvittiin myös näiden tietojen jakamista eri tietojärjestelmien välillä. Tiedonsiirrosta tehtiin teoreettinen suunnitelma, jossa otettiin huomioon eri käyttäjien osaaminen ja tarpeet. Suunnitelman toteutuessa superkalantereiden käyttö ja huolto helpottuu ja nopeutuu.

Lisäksi haluttiin varmistua, että toiveet näiden muutosten kannattavuudesta toteutuivat. Tämän vuoksi laadittiin vielä telavaihtoihin perustuva tilasto, jonka avulla vaihtomäärien kehittymistä voidaan tutkia pidemmällä aikavälillä. Samalla tilastosta näkee superkalantereiden ja positoiden välisen vioittumisherkkyyksien erot.

## IMPROVING OF CONDITION CONTROLS ON CALANDER ROLLS

Valtanen, Senni

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Industrial Management

October 2014

Supervisor: Karinen, Jarmo

Number of pages: 53

Appendices: 1

Keywords: supercalander, vibration, data transfer, viability

---

This thesis was made in UPM Rauma paper mill, where they had a need to improve vibration analysis and data transfer of the supercalanders in papermachine no: 2. Paper, produced by paper machines, is treated with supercalanders in order to polish and sleek with pressing rolls. There was a problem, that the rolls (made of paper) are very sensitive and are damaged easily, which means that the condition of the rolls is to be followed continuously in order to fulfil requirements for paper quality. Roll damages are analyzed with vibration transducers, which have recently been connected to Sensodec 6S –system. There are several rolls, which are to be analyzed, which means that the easiest way to control the condition is to set alarm limits for vibration. The purpose for this thesis was to find out the correct limits for alarms, in order to predict need for roll changes and maintenance.

Rolls, which have been damaged, are to be grinded in roll service, but then the diameters of the rolls are changed. Since the total dimension of diameters of all rolls in the supercalander is to be within certain limits, there was need to share also this information between different data systems. It was made a theoretical plan for data transfer, where various user's capability and needs have been taken into account. When the plan will be taken into use, it will make the use and maintenance for supercalanders easier and quicker.

In addition, there was a need to make sure, that these changes are economically feasible. That is why there was collected statistics concerning rolls' changes, which helps to explore number of changes during a longer period. Also the vulnerability differences between supercalanders and positions can be seen from the same static.

## SISÄLLYS

SANASTO .....	5
1 JOHDANTO.....	7
1.1 UPM Oyj maailmalla ja Raumalla.....	7
1.2 Tuotannon erittely .....	9
1.3 Aihe ja rajaus .....	12
2 KALANTEROINTI.....	13
2.1 Superkalanteri .....	14
2.2 Superkalanterin telat ja niiden halkaisijat .....	16
3 TIETOJÄRJESTELMÄT .....	20
3.1 Sensodec 6S .....	22
3.2 Ohjausjärjestelmä.....	23
3.3 GMES .....	24
4 VÄRÄHTELY .....	26
4.1 Kunnonvalvonta.....	26
4.2 Värähtelymittaukset .....	27
4.2.1 Hitaasti pyörivien koneiden värähtelymittaus .....	29
4.2.2 Anturit PK 2:n superkalanterien paperiteloilla.....	30
4.3 Värähtelymittausten vianmääritys .....	32
4.3.1 Trendi, aikataso- ja spektrianalyysi .....	32
4.3.2 Tahdistettu aikakeskiarvostus .....	34
4.3.3 Keskiarvostus ja profiilivalvonta.....	36
4.3.4 Värähtelymittauksissa ilmeneviä vikatyyppejä .....	37
4.4 Hälytysrajat värähtelymittauksissa .....	40
4.5 Kunnossapidon ja kunnonvalvonnan taloudelliset vaikuttimet .....	42
5 TYÖMENETELMÄT JA RATKAISUT .....	45
5.1 Hälytysrajat.....	45
5.2 Tietojärjestelmät .....	47
5.3 Kannattavuustaulukko.....	49
YHTEENVETO .....	51
LÄHTEET.....	54
KUVA-, KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	56

## SANASTO

Aikataso	Värähtelyä ilmaiseva muokkaamaton signaali
Amplitudi	Kappaleen maksimipoikkeama tasapainoasemasta värähdellessään
FFT eli Fourier-muunnos	Aikatasosignaalin rikkoutuminen ja verrattavissa valon hajoamiseen (Fast Fourier Transform)
GMES	Valmistus- ja tuotannonohjausjärjestelmä
Hoito- ja käyttöpuoli	Telan eri päädyt, sisältävät erilaisia toimintoja (HP ja KP)
Jauhatus	Paperimassan valmistusvaihe, jossa sellun kuidut aktivoidaan sitoutumiskykyisiksi jauhinterien avulla. Parantaa paperin lujuutta
Kalanteri	Laite, jolla paperikoneella tai erillisessä koneessa kiilloteetaan paperi puristamalla kahden tai useamman telan välissä
Kokillitela	Kromilla päällystetty valurautainen tela, jolla saadaan paperin pinnasta kiiltävän. Ts. kova tela
Kunnonvalvonta	Kunnossapidon osa, keskittyy vikojen etsimiseen ja niihin johtaneiden syiden selvittämiseen
Nippi	Kahden telan välinen kosketuspinta
Nippileveys	Kahden telan kosketuspinnan leveys, kasvaa viivakuorman noustessa
Opasiteetti	Paperin läpinäkymättömyyden mitta; läpinäkymättömällä paperilla on korkea opasiteetti
Pehmeä tela	Valmistettu esim. paperista. Antaa kovalle telalle periksi, jolloin nippileveys kasvaa
PK 2	Paperikone 2
Plastisoituminen	Paperin pysyvä muodonmuutos
Positio	Laitepaikka, ilmaistaan numeroina ja/tai kirjaimina
Profiilivalvonta	Pyörivän kappaleen muodon valvonta värähtelymittausten avulla

Pulpperi	Laite, joka hajottaa paperin valmistukseen käytettäviä massakasoja pumpattavaan muotoon massanvalmistuksessa
Raina	Suotauttamalla viiralle muodostuva paperiarkki tai – raina
Ratakatko	Rainan katkeaminen tuotantolinjalla, johtuu mm. kuivuvan rainan kutistumisesta ja jännityksen nousemisesta
Sellu	Puusta tehty massa, jossa on erilaisia kemikaaleja parantamassa massan ja tulevan paperin laatua
Sensodec 6S	Kunnonvalvontajärjestelmä, (The Sixth Sense)
Spektri	Fourier-muunnoksen tulos, jossa eri taajuuksien amplitudit esitetään erillään toisistaan
STA-analyysi	Tahdistettu aikakeskiarvostus, laskee useamman pyörivän laitteen värähtelyjen keskiarvon ja poistaa taustakohinan (Synchronous Time Averaging)
Sulppu	Kuitujen ja muiden paperin raaka-aineiden vesiliete mekaanisen hienontamisen jälkeen
Taajuus $f$ (Hz)	määrä aikayksikössä, $kpl/min$
Tampuuri (-rulla)	Rulla, joka kerätään PK:n jälkeen ennen kalanterille tai päällystykseen siirtämistä
Tela-analyysi	Telalle tehtävä profiilivalvonta
Trendi	Tunnusluvun arvot esitetään ajan funktiona, ns. historia-tietoina
Viira	Vettäläpäisevä mattomainen kudus, jossa sulppu muuttuu rainaksi PK:n alkupäässä
Öljynabsorptio	Kyky imeä öljyä

# 1 JOHDANTO

Teollisuus on muuttunut viimeisten vuosikymmenten aikana, ja vauhti vain kiihtyy. Kehityksessä on pysyttävä mukana ja tuotantotehokkuutta on nostettava, jotta selvitäisiin tilanteesta, jossa markkinat ja siten myös kilpailutilanne ovat muuttuneet. Paperiteollisuudessa tehokkuuden nostotarpeeseen on vaikuttanut internetin nopea yleistyminen 90-luvun taantuman jälkeen, jonka seurauksena paperin kulutus on laskenut.

Tämä opinnäytetyö tullaan tekemään UPM:n (United Paper Mills) Rauman tehtaalle, ja sen tarkoituksena on parantaa yhtä tuotantoprosessin osaa, jotta siihen tehdyistä investoinneista saataisiin kaikki teho irti. Koneiden käyttöiät on maksimoitava, joten kunnonvalvonnan ja ennakkohuollon roolit kasvavat. On tuhlausta vaihtaa käyttökelpoinen kone tai laite uuteen, jolloin ylimääräisen työn ja varaosan hinta näkyy tehokkuudessa ja kustannuslaskelmissa. Rikkoutunut laite taasen voi käytössä aiheuttaa lisävahinkoja, jolloin korjaus- ja varaosakustannukset nousevat. Käynnissä olevan laitteen kunnon selvittäminen on kuitenkin vaikeaa, ja yksi tehokkaimmista keinoista tämän selvittämiseen on värähtelymittaukset.

## 1.1 UPM Oyj maailmalla ja Raumalla

UPM perustettiin 1995 Kymmene Oy:n, Repola Oy:n ja sen tytäryhtiön Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n toimesta. Nykyään konserniin kuuluu lisäksi noin sata aikoinaan itsenäisinä toimineita yrityksiä ympäri maailmaa, yhteensä 14 maassa. (UPM:n www-sivut 2014.)

UPM:n visioon kuuluu, että yritys on uudenlaisen metsäteollisuuden edelläkävijä yhdistäessään bio- ja metsäteollisuutta, ja siten olla rakentamassa kestävämpää tulevaisuutta. Menestyksen perustana yhtiössä pidetään kustannustehokkuutta, muutosmyönteisyyttä, henkilöstön sitoutumista ja turvallisuutta. Toiminta-ajatuksena on luoda lisäarvoa tuotteille siten, että ne valmistetaan uusiutuvista ja kierrätettävistä raaka-aineista, ja siksi UPM hyödyntää teknologiaa ja osaamista eri liiketoiminnois-

saan, kuten kuitujen, energian ja teknisten materiaalien yhteydessä. (UPM:n www-sivut 2014.)

UPM:n tuotevalikoima on rakennettu tärkeimmän raaka-aineen, kierrätettävän ja uusiutuvan puun, ympärille. Erilaisten paperituotteiden lisäksi yhtiö valmistaa:

- energiaa, jonka pääraaka-aine on metsätähteet, eli kuori ja energiapuu
- sellua, jota valmistetaan muun muassa koivusta, kuusesta, männystä ja eukalyptuksesta
- sahatavaraa rakennus- ja puuseppäteollisuuteen
- erilaisia tarroja etiketöintiin, kuten elintarvike- ja lääketeollisuuteen
- erilaisia vaneri- ja viilutuotteita, joita on yli 40 erilaisiin käyttötarkoituksiin
- komposiittia polymeeristä ja tarralaminaattituotannosta ylimääräiseksi jääneestä sivutuotteesta.

Lisäksi yhtiö tarjoaa metsänomistajille metsäpalveluja, kuten taimikon hoitoa, metsäsuunnitelman tekoa ja apua metsätilan sukupolvenvaihdokseen. UPM on myös laajentamassa tuotevalikoimaansa, ja kehitteillä on biopolttoaineet ja biokemikaalit, jotta voitaisiin tarjota nykypäivän ja tulevaisuuden vaatimusten mukaisia tuotteita. (UPM:n www-sivut 2014.)

Suurena yrityksenä UPM on jakanut raaka-ainehankintansa aluekohtaisesti Pohjois-Eurooppaan, Keski-Eurooppaan ja Euroopan ulkopuolisiin alueisiin. Pohjois-Euroopan suurin raaka-aineita toimittava taho on suomalaiset yksityiset metsänomistajat, mutta raaka-aineita toimitetaan myös Venäjältä, Virossa, Latviasta ja Liettuasta pitkäaikaisten yhteistyökumppaneiden avulla. Pohjois-Euroopan raaka-aineet käytetään UPM:n tehtailla ja voimalaitoksilla Suomessa, Virossa ja Venäjällä. Keski-Euroopan alueeseen luetaan Iso-Britannia, Itävalta, Ranska ja Saksa. Näistä maista löytyy 70 paikkakuntaa, joissa toimitaan puunhankinnan saralla. Lisäksi puuta hankitaan myös naapurimaista, kuten Puolasta, Tšekistä ja Sloveniasta. Euroopan ulkopuolista puunhankintaa ollaan kehittelemässä, sillä toiminta on laajentumassa ja uusia hankinta-alueita tullaan tarvitsemaan tulevaisuudessa nykyisten toiminta-alueiden lisäksi. (UPM:n www-sivut 2014.)



Vuonna 2014 Rauman tehtaaseen kuuluu kolmen paperikoneen lisäksi revintämassa- jaosto, kaksilinjainen kuorimo, kaksi hiomoa, kaksi kuumahiertämää, vesilaitos ja biologinen jätevedenpuhdistamo sekä teollisuusjätteen läjitysalue. Tuotteina ovat päällystetty ja päällystämätön aikakauslehtipaperi ja fluff-sellu. Työntekijöitä Raumalla on noin 580 henkilöä. (UPM:n www-sivut 2014.)

Rauman paperikone 2 (myöhemmin PK 2), jolla opinnäytetyö tullaan tekemään, tuottaa päällystämätöntä aikakauslehtipaperia. Tätä paperilajia käytetään aikakausi- ja sanomalehdissä, mainospainotuotteissa, tv- ja radiolehdissä sekä myyntiluetteloissa. PK 2 tuottaa paperia 1 500 metriä minuutissa, ja paperirainan leveys on 8,3 metriä. Opinnäytetyöhön kuuluvat 3 superkalanteria sijaitsevat PK 2 tuotantolinjan jatkokäsittelyssä. (UPM:n www-sivut 2014.)

## 1.2 Tuotannon erittely

Paperinvalmistukseen käytettävät raaka-aineet vaihtelevat valmistettavan lajin ja haluttujen ominaisuuksien mukaan. Esimerkiksi havupuun sellussa on hyvät lujuusominaisuudet pitkien kuitujen ansiosta, kun taas lehtipuusellusta saadaan painatukseen sopivaa paperia. Sellu valmistetaan yleensä erillisessä tehtaassa, ja siihen lisätään ennen paperikonetta vielä erilaisia lisäaineita laadun takaamiseksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 15–28.)

Kun raaka-ainemassa, eli sellu, toimitetaan paperitehtaalte, on sen koostumus epätaisaista ja tiheys suuri. Tämän vuoksi se pitää vielä hajottaa pulpperilla ja jauhattaa jauhimella ennen kuin siihen lisätään lisä- ja apuaineita sekä vettä. Tässä vaiheessa olevaa massaa sanotaan sulpuksi. Seuraavaksi sulppu siirretään sekoitussäiliöön, jossa massaan sekoitetaan muita, koostumukseltaan erilaisia sulppumassoja, jotta lopputulos olisi neliömassaltaan standardilaatua. Sekoitussäiliöltä massa siirretään konesäiliöön, josta se annostellaan automaatio-ohjauksella itse paperikoneelle. Sakeutta säädellään koko tämän prosessin ajan lisäämällä vettä tai sulppua, viimeisen kerran useimmiten sekoitus- ja konesäiliöiden välissä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 112;113;116;118.)

Konesäiliöstä massa kulkee paperikoneen perälaatikkoon, jonka tarkoituksena on syöttää paperimassa suihkuttamalla mahdollisimman tasaisesti koko paperikoneen leveydeltä viiralle. Viira on vettäläpäisevä tasomainen muovi- tai metallikudos, jonka päälle suihkutettua paperimassaa sanotaan koko tuotannon läpi tästä lähtien rainaksi. Viiralla massa suotautuu, eli yli 95 % rainan sisältämästä vedestä poistetaan. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 131; 137.)

Viiralta lähtiessään rainan kuiva-ainepitoisuus on vasta 15–20 %, joten se ohjataan märkäpuristimelle, jonka jälkeen kuiva-ainepitoisuus kasvaa 40–55 prosenttiin. Puristimen mekanismi perustuu nippiin, jonka muodostaa kaksi toisiaan vastaan olevaa telaa ja ylimääräinen vesi puristetaan niiden avulla pois. Muovi- tai metallikudoksen viira on vaihtunut juuri ennen puristinta yhteen tai kahteen huopaan, jonka kautta ylimääräinen vesi siirtyy telalle. Telojen muodostamia nippejä on useampia, jotta mahdollisimman paljon saataisiin vettä pois, ja kuivatusosan lämmityskustannuksia siten pienemmiksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 155.)

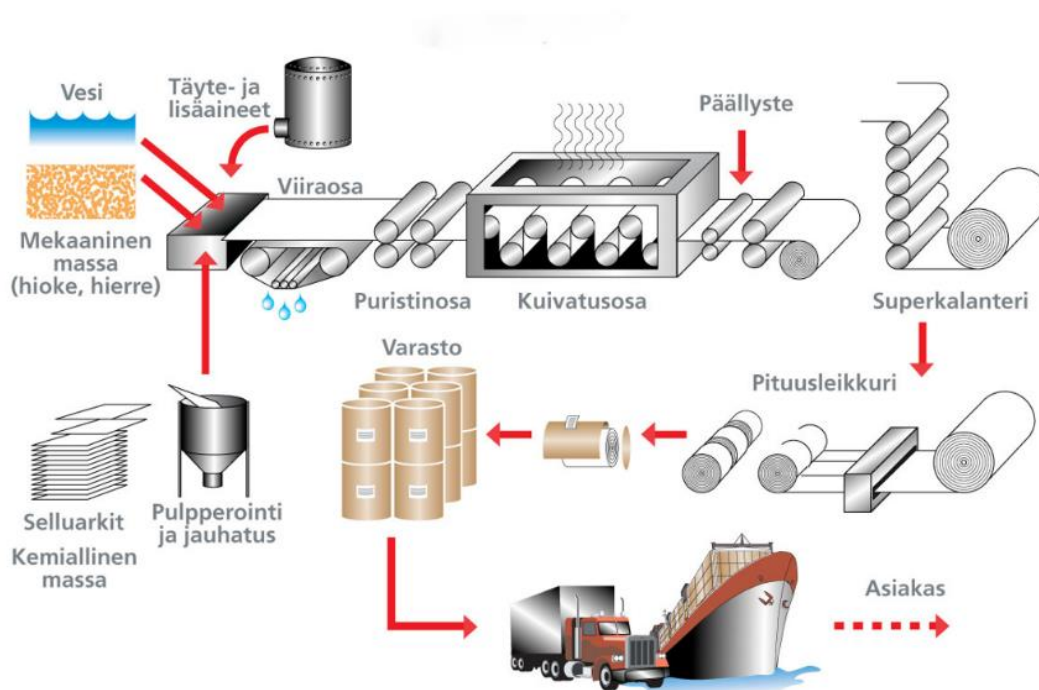
Ennen kuivatusosaa olevia paperikoneen tuotantovaiheita sanotaan paperikoneen märkäpääksi, ja kuivatus on ensimmäinen vaihe kuivapäästä. Nimitys tulee rainan kosteudesta, joka puristimen jälkeen poistetaan lähes kokonaan kuivatusosassa höyryllä lämmitettyjen sylinterien ja telojen avulla. Kuivatuksen jälkeen paperirainan kosteuden on oltava jatkokäsittelystä riippuen 1,5–4 %. Puristinviira on vaihdettu kuivatusviiraan, jonka tarkoituksena on nopeakäyntisillä kuivaimilla tukea rainaa ja estää ratakatkoja. Kuivatusosassa on ongelmana myös rainan kutistuminen kuivatuksen johdosta, joka on paperitehtailla estetty osittain tai kokonaan. Sylinteriryhmien nopeudenvaihtelujen avulla rainaa pystytään jopa venyttämään. Kutistuminen vaikuttaa paperin lujuteen ja mittapysyvyyteen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 163; 166.)

Kuivatuksen jälkeen raina viedään päällystykseen, jossa paperin pinnalle levitetään erilaisia pigmenttejä, sideaineita, vahoja, muoveja ja niiden yhdistelmiä. Yleensä pinnoite levitetään veteen sekoitettuna suihkuna paperin pinnalle, jonka jälkeen ylimääräinen vesi haihdutetaan koneellisesti. Päällystykseen tarkoituksena on parantaa paperin sileyttä ja ulkonäköä, mutta myös painatusominaisuuksia. Tavallisesti päällystettävät rainat kalanteroidaan sekä ennen että jälkeen päällystämisen. Päällystä-

mättömille papereille riittää yksi kalanterointi. Kalanterointi puristaa paperin kahden tai useamman telan välissä, ja sen tarkoituksena on parantaa paperin painatusominaisuuksia. Koska kalanterointi on hyvin lähellä tämän opinnäytetyön aihetta, tämä työvaihe esitellään tarkemmin kappaleessa 2. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 184; 204.)

Paperiraina rullataan aina tuotantolinjan lopussa paperullaimella, ja tätä koko paperikoneenlevyistä rullaa sanotaan tampo-urirullaksi. Tampuurit leikataan pituusleikkurilla sopivammiksi, kapeammiksi rulliksi kuljetusta ja jatkokäsittelyä varten. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 240.)

Paperin tuotantoprosessi on tiivistettynä kuvassa 1, jonka vasemmasta yläkulmasta prosessin kuvaus alkaa.



Kuva 1. Paperin tuotantoprosessi (UPM:n www-sivut 2014).

### 1.3 Aihe ja rajaus

Opinnäytetyö tehdään paperikone 2:n superkalanterilla, jossa käytetään herkkiä paperiteloja kalanterointiin, tarkoittaen sitä että telojen pinnat vaurioituvat hyvin nopeasti ja telojen vaihtoja tehdään lähes päivittäin. Telan vaihto on aina kustannustekijä, sillä superkalanterin ajo pitää pysäyttää ja valmista paperia tulee näin siis vähemmän. Superkalanterilla työskentelevät toivoivat muualla tehtaassa käytössä olevia värähtelyantureita myös superkalanterille, jotta turhat telavaihdot voitaisiin estää ja näin koneen tehokkuutta voitaisiin nostaa.

Telan pinnan profiilimuutoksista, eli vaurioitumisesta, aiheutuu ajon aikana voimakkaampaa ja muutoinkin erilaista värähtelyä kuin ehjästä telasta, joten telan vaihto osataan tehdä oikeaan aikaan värähtelymittausten avulla. Jotta värähtelyanturien tuloksia pystyttäisiin paremmin seuraamaan, tarvitaan tietojärjestelmään hälytysrajoja, joiden ylittymisestä tulee automaattinen ilmoitus.

Vaurioituneet telat korjataan huollossa hiomalla ulointa pintaa pois vaurion vaatiman verran, jolloin niiden halkaisijat muuttuvat. Halkaisijan muutos vaikuttaa värähtelyyn ja telan asennukseen takaisin superkalanteriin, joten tietojärjestelmän ajantasaisuus on tärkeää. Ongelmana on, että käytössä on kolme eri tietojärjestelmää, joihin jokaiseen jouduttaisiin merkitsemään telahalkaisijat erikseen. Opinnäytteen yksi osa-alue on löytää teoreettinen halkaisijatietojen linkitysreitti tietojärjestelmien välille. Tuloksena on ratkaisu, jossa halkaisijan merkitseminen yhteen tietojärjestelmään muuttaisi saman tiedon myös kahdessa muussa järjestelmässä. Koska toteutus olisi kokemattomalle haastavaa, aihe on rajattu teorian kehittämiseen, jonka pohjalta tehdään IT-osasto toteuttaa suunnitelmat.

Koska opinnäytetyön tarkoituksena on tehostaa superkalanterin tuotantoa, tullaan tekemään telavaihtoihin liittyvä seurantajärjestelmä. Lopputuloksesta tulisi nähdä telojen vaihtojen määrä esimerkiksi kuukaudessa ennen ja jälkeen hälytysrajojen asettamisen. Tällöin antureiden asennuksesta saatu hyöty saadaan tietoon. Tulokset kannattavuudesta tullaan saamaan vasta pitkän ajan kuluttua, joten tähän raporttiin niitä ei voida kirjata.

## 2 KALANTEROINTI

Kalanterointi on tavallisin lisäkäsittely rainalle, sillä paperi ei ole paperikoneen kuivatusosan jälkeen valmis käyttötarkoitukseensa, vaan sitä pitää jalostaa vielä lisää (Prowledgen www-sivut 2014).

Kalanteroinnin aikana paperi puristetaan useammassa nipissä, jonka tarkoituksena on muuttaa paperin muotoa puristusvoiman, leikkausvoiman ja kitkavoiman avulla. Lämpö ja kosteus auttavat paperia plastisoitumaan, eli pysyvään muodonmuutokseen, joten niitä käytetään tehostajina. Kalanteroinnin voi suorittaa kahteen kertaan, ennen ja jälkeen päällystyksen, mutta haluttujen ominaisuuksien puitteissa yksikin läpiajo kalanterissa voi riittää. Kalanterointi on paperinvalmistuksen viimeinen vaihe, jossa voidaan muokata paperin ominaisuuksia huomattavasti. Tärkeimmät ominaisuusvaatimukset määräytyvät painomenetelmästä ja samalla kontrolloidaan myös paperin paksuusprofiilia. Vaikka kalanterointi parantaa paino-ominaisuuksia, se myös heikentää paperin lujuutta ja optisia ominaisuuksia. Lisäksi voimakas kalanterointi voi aiheuttaa kalanterointimustumaa, joka muuttaa paperin ulkonäköä ja painatuslaatua varsinkin painopapereilla, jotka ovat puupitoisia ja päällystämättömiä. Kalanterointimustuma ilmenee, kun paperin pinnoilla olevat kuidut ovat ylikiillottuneet. Kiiltoheijastuskulmasta katsottuna kuidut näyttävät kirkkailta ja läpinäkyviltä, kun taas kulman ulkopuolella muuta paperia selvästi tummemmalta. Taulukossa 1 esitetään kalanteroinnin muut vaikutukset paperin ominaisuuksille. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 204; Prowledgen www-sivut 2014.)

Taulukko 1. Paperin ominaisuuksien muutokset kalanteroinnissa (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 204).

Suotuisat muutokset		Epäsuotuisat muutokset	
Sileys	+++	Tiheys	+++
Kiilto	+++	Paksuus	---
Ilmanläpäisevyys	---	Jäykkyys	---
Öljynabsorptio	---	Kokoonpuristuvuus	---
Toispuolisuus	-	Opasiteetti	--
+++ = kasvaa paljon - = laskee hieman		Vaaleus	-
		Repäisyjuuus	--
		Vetolujuus	-

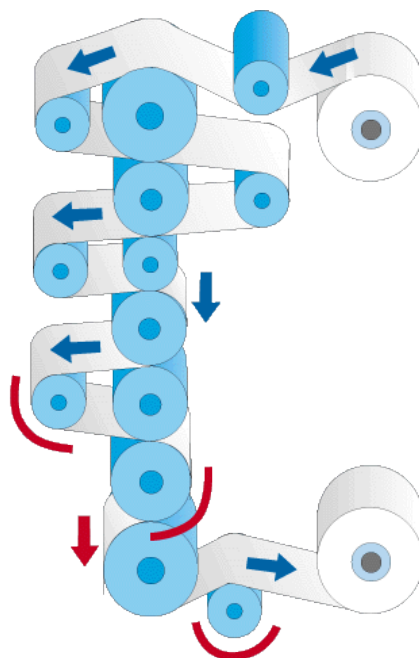
Kalanterointi vaikuttaa paperiin neljällä eri tavalla: puristuminen, siirtyminen ja hioutuminen, suuntautuminen ja kopioituminen. Ennen kalanterointia paperirainan pinta on epätasainen, eli siinä esiintyy niin sanotusti kukkuloita ja laaksoja, ja niiden lisäksi karkeita partikkeleita. Paperirainan kulkiessa nipin läpi, kukkulat puristuvat enemmän kasaan kuin laaksot, ja paperin pinta tasoittuu. Samalla voi käydä myös niin, että kukkulat siirtyvät kokonaan laaksoon irrallisina partikkeleina. Pitää kuitenkin muistaa, että kalanterin telojen nopeus on sama kuin rainankin, eli telat eivät hio paperin pintaa, pelkästään puristavat. Suuntautumisella tarkoitetaan levymäisten ja pitkulaisten partikkelien siirtymistä paperin tason mukaisesti, ja tämä synnyttää paperiin kiiltoa. Viimeinen kalanteroitumismekanismi on jäljentymisen, jolloin telan pinnassa olevat epätasaisuudet kopioituvat paperin pintaan. Tästä johtuen telojen pintojen pitää olla ehjät ja sileät, kiiltoa taasen pystytään muokkaamaan eri materiaalista tehdyillä teloilla. Suurta kiiltoa saadaan esimerkiksi kromatuilla teloilla ja mattapintaista paperia hiekkapuhalletuilla teloilla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 205–206.)

## 2.1 Superkalanteri

Superkalanteri on off-machine – laite, mikä tarkoittaa laitteen olevan irrallaan paperikoneen tuotantolinjasta. Superkalanteri on paperinvalmistuksen pullonkaula, koska sen tuotantonopeus on paperilinjaan verrattuna paljon pienempi. Hitaalla kalante-

roinnilla maksimoidaan paperin laatu, mitä kauemmin paperi viipyy nipissä sitä paremmin paperi kalanteroituu. Jokainen kalanteroitava tampouri kuljetetaan paperikoneelta kalanterille nosturilla tai siirtovaunulla. Jotta kalanterointi ei jäisi paperikoneen tuotannosta jälkeen, on PK 2:lla kolme superkalanteri-laitetta. Rauman tehtaalla superkalanterilla tarkoitetaan näiden kolmen laitteen kompleksia, ja yksittäisestä laitteesta puhuttaessa sanotaan SC21, SC22 ja SC23. (Prowledgen www-sivut 2014.)

Tavallisesti painopaperisuperkalanterilla on 10 tai 12 telaa, tämän opinnäytetyön kohteilla teloja on 12. Telat on pinottu pystysuoraksi seinämäksi, jonka molemmin puolin on ulosottoteloja ennen nippiä. Ulosottotelojen tehtävänä on estää ilmakuplien ja kalanterihaavojen syntymistä sekä levittää rainaa leveysuunnassa ennen nipille menoa, sillä paperi kutistuu kuivuessaan. Kalanterihaavalla tarkoitetaan paperiin kohdistuvaa liiallista viivakuormaa ylimmissä nipeissä, jolloin paperi repeää. Kuvassa 2 havainnollistetaan superkalanterin perusrakenne seitsemällä telalla. (Prowledgen www-sivut 2014.)

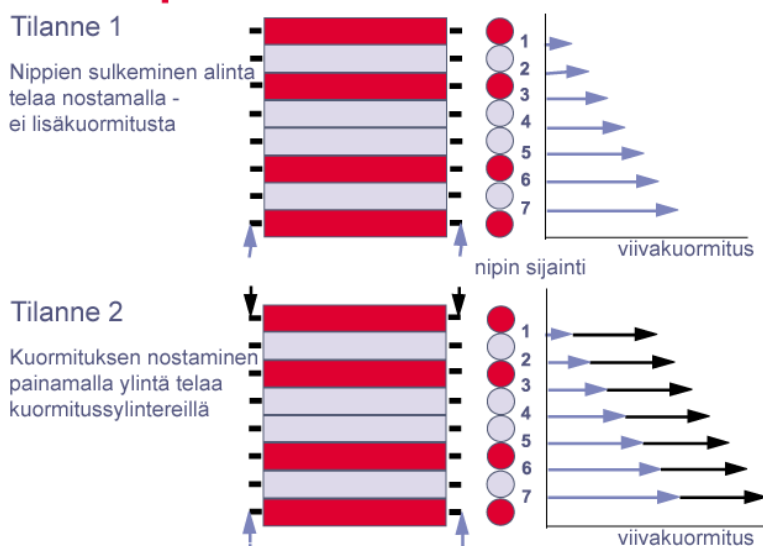


Kuva 2. Superkalanterin perusrakenne (Prowledgen www-sivut 2014).

Kuvasta 3 selviää telapinon viivakuormitusten suhteet toisiinsa, jotka kasvavat toisiinsa nähden ylhäältä alaspäin mentäessä. Kuormituksen nousu johtuu muun muassa

telojen painosta, sillä nippejä ei pystytä kuormittamaan toisistaan riippumatta. Telojen luonnollinen kuormitus ei aina kuitenkaan riitä, sillä yleensäkin kalanterille tullessaan paperi on muokattavimmillaan mutta telapinon ylimmissä nipeissä puristusvoima ei ole riittävä. Kun kuormitusta nostetaan painamalla ylintä telaa, nousee koko telaston kuorma tasaisesti koko matkalla. Tällä tavalla voitaisiin myös vähentää telojen lukumäärää tai kalanteroida käänteisesti alhaalta ylöspäin. Telojen vähentäminen vaikuttaisi suoraan telavaihtojen määrään vähentävästi, mutta muutos vaatisi laitteen rakennemuutoksia, jotta se kestäisi lisäkuormaa. Kuvan 3 ylemmässä tilanteessa puhutaan nippien sulkemisesta, joka tehdään aina tampuurin tai telan vaihdon jälkeen. Jos telojen välissä olevia nippejä ei avata, rainaa ei voida vaihtaa siten että vältyttäisiin teloihin kohdistuvalta epätasaiselta kuormitukselta, jolloin riski telojen muokautumisesta kasvaa. Samasta syystä myös telavaihdon ajaksi nipit on avattava. (Prowledgen www-sivut 2014.)

## Superkalanterin kuormitus



Kuva 3. Superkalanterin viivakuormitukset (Prowledgen www-sivut 2014).

### 2.2 Superkalanterin telat ja niiden halkaisijat

Erilaisilla materiaaleilla ja valmistustavoilla saadaan erilaisia teloja, jotka ovat kovia tai pehmeitä. Pehmeä tela myötäilee enemmän paperin pintaa, joka jää tästä johtuen mattaisemmaksi kuin kovalla telalla ajettuna. Tämän lisäksi tela voi olla kuumalla



vesikierrolla lämmitettävä lämpötela, joka vaikuttaa paperin plastisoitumiseen, eli kykyyn muokkautua pysyvästi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 208–210.)

Superkalanterin telapinon ylin ja alin tela on taipumakompensoituja kokilliteloja, eli tela taipuu tarpeen mukaan niin, että nipissä on koko rainan leveydeltä tasainen viivakuorma. Kokillitela tarkoittaa kovaa telaa, joka on valmistettu valuraudasta ja päällystetty kromilla. Kokilliteloja on myös näiden kahden uloimman telan välissä vuorotellen paperitelojen kanssa. Paperitelat ovat niin sanottuja pehmeitä teloja, joiden lämmönkestävyys on heikko. Paperin kulkiessa paperitelallisesta nipistä, tela antaa myöten kokillitelalle, jolloin syntyy lämpöä. Jotta telojen kestävyyttä ja siten myös käyttöikää voitaisiin nostaa, superkalanterin ajonopeutta on pienennettävä. Paperin plastisoituminen tapahtuu parhaiten korkeissa lämpötiloissa ja hitaassa ajonopeudessa. (Prowledgen www-sivut 2014; Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 213–215.)

Koska paperi kalanteroituu eri tavoin pehmeää ja kovaa telaa vasten, tarvitaan telapiinon niin sanottu kääntönippi, jotta molemmat telamallit käsitteisivät rainan tasaisesti molemmilta puolilta. Kääntönipillä tarkoitetaan nippiä, jossa kosketuksissa olevat telat ovat molemmat samaa materiaalia. Kääntönippi esitetään kuvassa 4, jossa eriväriset telat kuvastavat pehmeitä ja kovia teloja. PK 2:n superkalantereiden tapauksessa kuvan musta tela olisi vetotela, harmaat telat kuvastaisivat paperiteloja ja valkoiset kokilliteloja. Kuten superkalanterin kuormituksia käsitellessä jo todettiin, paperi muokkautuu eniten ensimmäisissä nipeissä, joten kääntönippi ei ole telaston puolivälissä vaan jo alkupuolella. Jos kääntönippi olisi keskellä telastoa, paperi muokkautuisi toiselta puolelta vahvemmin kuin toiselta. (Prowledgen www-sivut 2014.)



Kuva 4. PK 2:n superkalanterin kääntönippi.

Kääntönipin, ajonopeuden, lämpötilan ja kuormituksen lisäksi paperin kalanteroinnista saatava laatu riippuu myös telojen halkaisijoista. Halkaisijat ovat muuttuvia varsinkin heikkojen paperitelojen kohdalla. Koska paperitela joustaa kokillitelaa vasten, sen pintaan syntyy jännitteitä ja niiden johdosta telan pinta vioittuu lohkeamalla, muotoutumalla ja muilla väsymisestä johtuvilla tavoilla. Nämä vioittumiset vaikuttavat paperin laatuun ja käytön jatkuessaan pitkään telan vika vain pahenee. Telojen pinta hiotaan, jotta vikaantunut kohta ja pintaan jääneet jännitykset saadaan poistettua. (Prowledgen www-sivut 2014; TietoEnator, 5-22.)

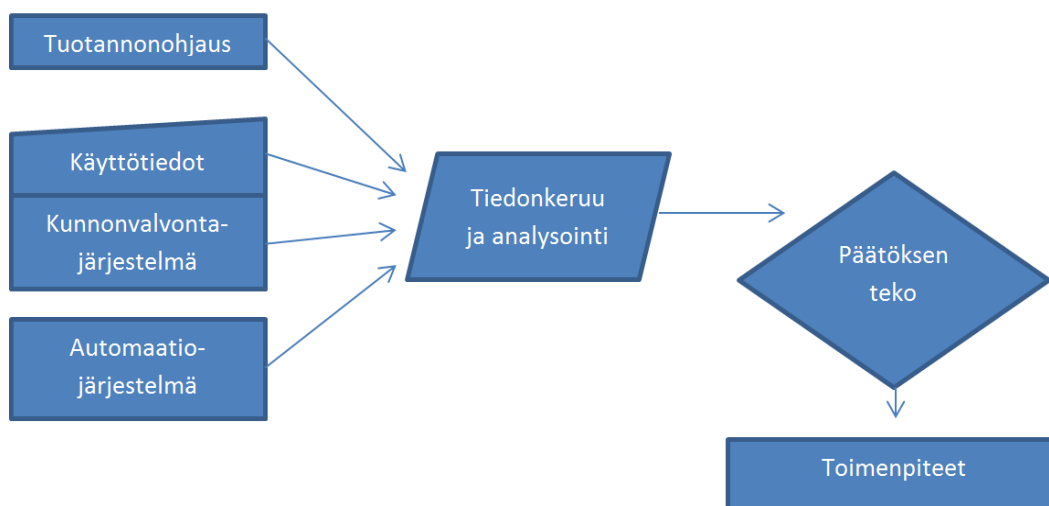
Telahionnan jälkeen lopputuloksena on sileän pinnan lisäksi muuttunut telahalkaisija, jonka muuttuminen vaikuttaa telan käytettävyyteen superkalanterilla. Alhaisemman halkaisijan omaava tela saa nipissä vahvemman viivapaineen aikaiseksi johtuen pienemmästä nippileveydestä, jolloin telapinon paino keskittyy pienempään alueeseen. Tuloksena saadaan sileämpää paperia, kuin suuren halkaisijan omaavalla telalla. Kaikki telat eivät kuitenkaan voi olla pieniä halkaisijaltaan muun muassa siksi, että kovemman viivakuorman takia telat vioittuisivat nopeammin ja hiontaväli pienenesi. Lisäksi nykyiset superkalanterit on rakennettu siten, että jokaisella positiolla on asetettu rajat telojen minimi- ja maksimihalkaisijoille. Samanlaiset rajat on määritelty myös koko telapinolle, jossa kaikkien telojen halkaisijat lasketaan yhteen. Telapinon rajalle on selityksensä:

- Liian pieneksi jäävillä telapinoilla viivakuormitus pienenee ja pahimmassa tapauksessa nippiin kuuluvat telat eivät olleenkaan kosketa toisiinsa, jolloin kalanterointi on tehotonta
- Liian suuret halkaisijat taas vievät tilaa nippejä avattaessa, jolloin telojen vaihto on vaikeaa ja vaarallista, ja nippejä kiinni laitettaessa viivakuorma kasvaa liian suureksi, jolloin telojen pinta hajoaa nopeasti.

Nippien viivakuormat jäävät liian pieniksi tai kasvavat turhan suuriksi riippuen kalanterin ominaisuuksista. Nipit avataan ja suljetaan hydraulikalla, jonka liikkuvuus on rajallinen. Tästä samasta syystä varastossa olevien telojen halkaisijoiden on oltava helposti löydettävissä, jotta yllättäväkin telavaihto pystytään hoitamaan nopeasti ilman varatelan viimehetken etsimistä. (Prowledgen [www-sivut](#) 2014.)

### 3 TIETOJÄRJESTELMÄT

Nykyisissä tuotantolaitoksissa käytetään useampia tietojärjestelmiä, joista osa toimii integroituna toisiinsa ja osa täysin itsenäisesti. Kunnonvalvonnassa, joka on osa kunnossapitoa, hyödynnetään useimmiten useampaa tietojärjestelmää, sillä kunnon arvioiminen vaatii kaiken mahdollisen saatavilla olevan tiedon hyödyntämistä. Myöhemmin esitellään UPM:llä käytössä olevat tuotannonohjaus- ja prosessiautomaatiojärjestelmät, jotka tulisi liittää kunnonvalvontajärjestelmään telojen tietojen välittämiseksi. Tietojärjestelmien kunnonvalvontaan liittyvä teoreettinen hierarkia on esitetty kuviossa 1. Kuvio on tarkoituksella epätarkka, sillä jokaisessa tuotantolaitoksessa järjestelmien integrointi on erilainen johtuen muun muassa toimialasta ja käytössä olevien järjestelmien ominaisuuksista. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 111–113.)

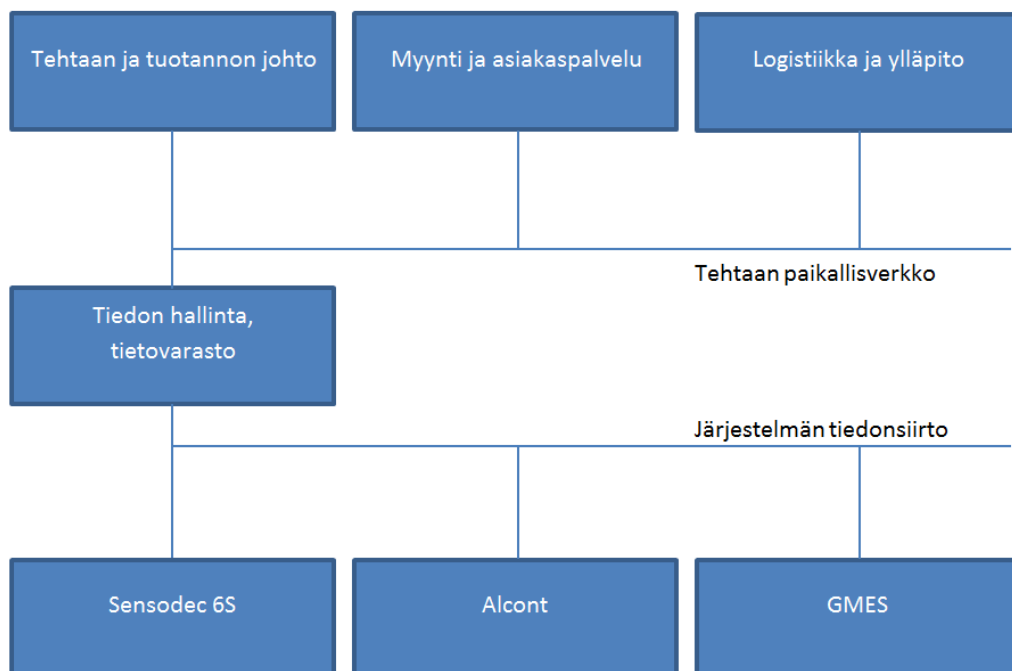


Kuvio 1. Kunnonvalvonnassa hyödynnetään kaikki saatavilla oleva tieto (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 111).

Kunnonvalvonnalla on oma tietojärjestelmänsä, sillä järjestelmän tuottamista tiedoista on kiinnostunut vain hyvin pieni osa henkilöstöstä. Useimpia kiinnostaa vain koneiden kunto ja niiden turvallinen käyttöaika, joten on havaittu helpoimmaksi siirtää vain muokattua ja valikoitua tietoa yleisemmin käytössä olevaan järjestelmään. Tietojärjestelmien välille tehtävien liittymien tarkoituksena on mahdollistaa helpompi ja

nopeampi käyttö ja ettei samaa asiaa tarvitsisi tehdä useaan kertaan eri järjestelmissä. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 113; Nohynek & Lumme 1996, 43–44.)

Tehtaiden automaattioratkaisut alkavat muistuttaa kuviota 2, jossa ylimpänä olevat toiminnot ja niihin liittyvät laitteet sijaitsevat valvomoissa ja toimistoissa. Ne on liitetty tehtaan paikallisverkkoon, jonka kautta edelliset on liitetty prosessiohjauksessa käytettäviin laitteistoihin ja muihin järjestelmiin. Kolmannella tasolla sijaitsevat prosessi-, laskenta- ja kommunikointiasemat, joiden avulla toteutetaan ylimmän tason suunnitelmat ja tehtävänannot. Kolmas taso on liitetty alimpaan tasoon, jossa sijaitsevat prosessiin liittyvät ohjelmistot, jotka on liitetty toimialueidensa laitteisiin, kuten moottoreihin, venttiileihin, toimilaitteisiin, ohjausjärjestelmiin ja koneautomaation erikoislaitteisiin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 245–246.)

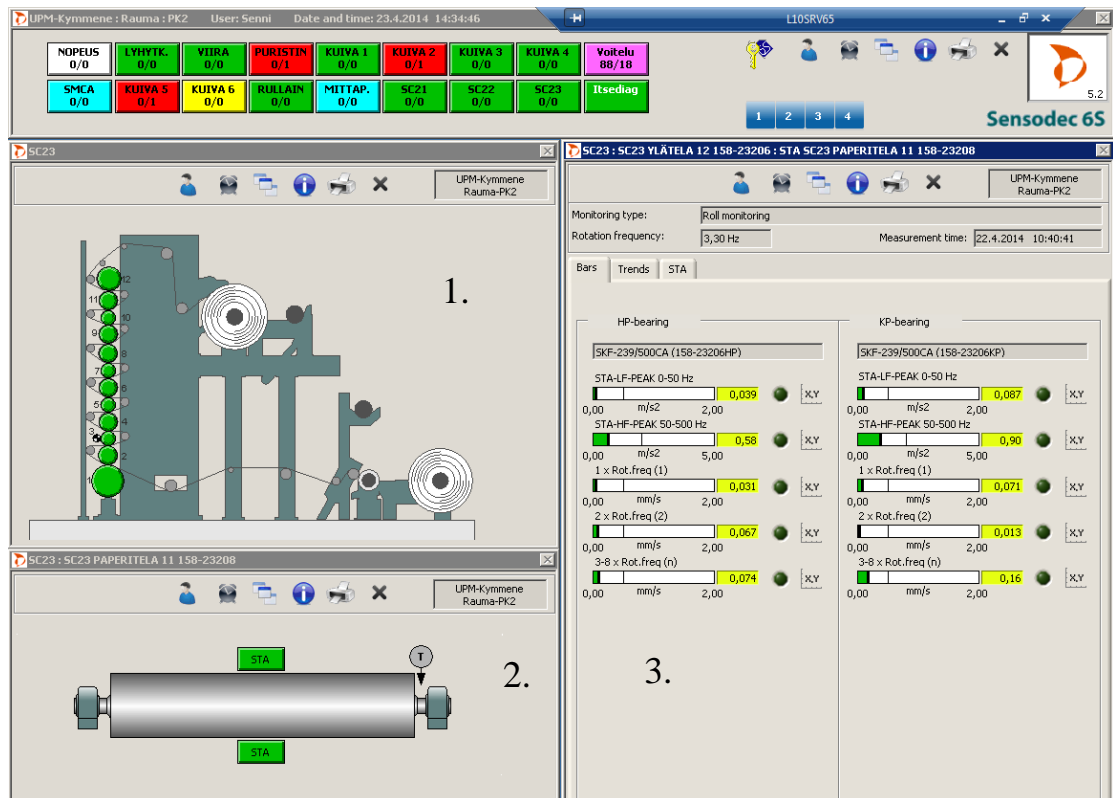


Kuvio 2. Prosessiteollisuudessa käytettävä tietojärjestelmämalli (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 246).

### 3.1 Sensodec 6S

Sensodec 6S (The Sixth Sense) on värähtelymittaukseen perustuva kunnonvalvontajärjestelmä, jonka avulla värähtelysignaalille tehdään myöhemmin käsiteltävä STA-analyysi (tahdistettu aikakeskiarvostus). 6S-järjestelmän tarkoitus on helpottaa mitausten selattavuutta ja siten myös niiden analysointia. (Metso 2000.)

6S on käytössä myös PK 2:n superkalantereiden kunnonvalvonnassa, jonne asetetaan jokaiselle telapaikalle, eli positiolle, värähtelyn suuruutta koskeva hälytysraja. Kuvassa 5 on esimerkki Sensodec 6S:n näkymästä. Ylimmältä riviltä voidaan valita eri laitteita, joihin 6S on liitetty. Hälytykset näkyvät kyseisten laitteiden kohdalla jo tässä vaiheessa, jotta vikatilanteen voisi huomata mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Kuvassa on valittuna yksi PK 2:n superkalantereista, jonka prosessiosakuva on merkitty numerolla 1. Tämän kautta voidaan valita yksittäinen positio tarkempaan seurantaan esimerkiksi vikatilanteessa, jolloin positiopaikkakin vilkkuisi punaisena. Numerolla 2 merkitty ruutu avautuu, kun valitaan yksi positio edellisestä ruudusta. Kuvasta näkyy, että STA-analyysin voi tehdä molemmista telan nipeistä. Analyysin saa näkyviin kolmanteen ruutuun, johon hälytysrajat on asetettu. Valkoiset palkit kuvastavat värähtelyn suureskaalaa, jossa mustat pystyviivat on asetettuja rajoja ja tässä tapauksessa kaikki vasemmalla reunassa olevat palkit ovat viimeiseksi mitattuja värähtelyjä. Värähtelyjen noustessa vasemmalla olevat vihreät palkit lähestyisivät hälytysrajaa. (Metso 2014.)



Kuva 5. Sensodec 6S:n käyttäjäliittymä ja superkalanterin hälytysrajat (Metso 2014).

Sensodec 6S sisältää monia sovelluksia ja ratkaisumahdollisuuksia, mutta tämän työn kannalta mielenkiintoisin 6S:n sovellus on laitekortisto, jota ei vielä ole perustettu PK2:n superkalanterin teloille vaan ainoastaan positioille. Kortisto on kuin tietojärjestelmän runko, josta selviää laitteiden ja laitepaikkojen tekniset - ja historiatiedot, varaosat ja hieman myös kirjanpitoa. Ongelmana on, että paperiteollisuudessa laitteita, varsinkin superkalantereiden paperiteloja vaihdetaan usein ja välillä koko telapakka kerrallaan, jolloin yksilökohtainen seuranta tulee vaikeaksi ja kalliiksi. Toisaalta telat ovat arvokkaita ja samalla kriittisiä, jolloin niiden laitekorttien ylläpito on viisasta. (Kunnossapitoyhdistys ry 2007, 222–223.)

### 3.2 Ohjausjärjestelmä

UPM:llä on käytössä useita ohjaus- eli automaatiojärjestelmiä, joilla on automatisoitu tuotantoprosessit osa-alueittain, ja laitekohtaisesti tuotetaan erilaisia raportteja ja kerätään historiatietoja. Tärkein tehtävä ohjausjärjestelmillä on kerätä mittaustietoja prosessista, ja niiden perusteella automaattisesti ohjata eri säätöjä. Mittaustiedot näytetään myös käyttäjälle, joka voi tarvittaessa muuttaa automatiikan määrittelemiä

säättöarvoja. Järjestelmästä saatavia mittaustietoja ovat esimerkiksi lämpötila, virtausnopeus ja sakeus. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 114.)

Ohjausjärjestelmät pystyvät mittaustietojen avulla myös ilmoittamaan prosessissa ilmenevistä vioista ja häiriöistä, kuten tukkeutumisista, käyttäjille. Eri mittausarvoille on asetettu ylä- ja alahälytysrajoja, joiden ylittyessä tai alittuessa järjestelmä tekee hälytyksen. Hälytys ilmenee summerilla ja järjestelmän sovellusikkunan piirikuvassa punaisena värinä. Järjestelmä kerää hälytyksiin liittyvät tiedot erilliseen Hälytykset – ikkunaan, jossa kerrotaan hälytyksen ajankohta, positiotunnus, hälytysalue, piirin nimi ja hälytyksen tyyppi. (Prowledgen www-sivut 2014.)

Ohjausjärjestelmän keräämä tieto muistuttaa kunnonvalvonnassa käytettävää mittaustietoa. Ohjausjärjestelmät ovat kuitenkin vielä liian hitaita käsitelläkseen kunnonvalvontaan tarvittavia tietoja tarvittavaan muotoon, vaikka nopeudet ovat jo hie- man kasvaneet. Tulevaisuudessa kunnonvalvonta tulee liittymään entistä kiinteäm- min osaksi prosessiautomaatiota, vaikka haasteena ovat käyttöliittymä- ja tietotarpei- den erot eri ammattiryhmien välillä. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 114.)

### 3.3 GMES

GMES (Global Mill Execution System) on valmistus- ja tuotannonohjausjärjestelmä, jonka alla käsitellään muun muassa tilausten käsittelyä, tuotannosuunnittelua, varas- tointia, laadunhallintaa ja raportointia. Järjestelmä on UPM:llä yhdistetty globaalisti kaikkiin maailmalla oleviin yhtiön tehtaisiin, jolloin yhtiön johdon on helpompi hal- lita edellä mainittuja toimintoja. (UPM 2011.)

Tuotannonohjausjärjestelmät sijoittuvat järjestelmähierarkiassa ERP-järjestelmien (Enterprise Resource Planning) ja tuotantoautomaation väliin, sisältäen ominaisuuksia molemmista järjestelmistä ja siten se yhdistää nämä kaksi tiiviimmin toisiinsa. ERP-järjestelmästä siirretään tilaustiedot MES-järjestelmään, jossa valmistusjärjestys muokataan tuotannolle sopivaksi ja siirretään tuotantoautomaatiojärjestelmään. Tuotantoautomaatiojärjestelmästä kerätään tietoja tuotantomääristä, laadunvalvonnasta sekä raaka-aineiden ja energian kulutuksesta. Toimintakulttuurista riippuen tiedot



raportoidaan MES- tai ERP-tasolla, joista jälkimmäisestä saadulla raportilla seurataan koko yrityksen taloudellista kehitystä. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 120–121.)

ERP-järjestelmä on toiminnanohjausjärjestelmä, jolla ohjataan ja seurataan koko yrityksen toimintaa. Sen tarkoituksena on kerätä yrityksen johdolle tietoja yrityksen muista järjestelmistä, ja näiden tietojen perusteella yrityksen johdon on tarkoitus johdtaa ja kehittää yrityksen investointeja ja muuta toimintaa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 121.)

Kuten tietojärjestelmät yleensäkin, myös UPM:n järjestelmissä on otettu käyttöön erilaisia sovelluksia, joista GMES:n kohdalla tätä opinnäytettä ajatellen mielenkiintoisin on telaseuranta. Sovellus mahdollistaa superkalanterien telojen käytön, kulumisen ja huollon seuraamista kontrolloidusti, jolloin telatilannetta on helpompi seurata ja ennustaa. Telaseurantaan voidaan liittää teloihin liittyviä tietoja, kuten ajoajat ja ajetut kilometrit, telavaihtojen ajankohdat ja superkalanterin positioissa olevien telojen telanumerot ja halkaisijat sekä oleelliset värähtelytiedot. (TietoEnator, 8–15.)

Telaseurannan helpottamiseksi sovellukseen kuuluu myös telalista, jossa on luetteloidtu kaikki superkalanterissa käytettävät telat, myös ne jotka ovat hionnassa tai varastoituna. Aiemmin mainittujen tietojen lisäksi telalistalta löytyy telan sijaintitiedot, kommenttikentät hiomon ja käytön henkilöstöä varten, jolloin telojen käyttäytyminen ja erikoisominaisuustietojen välitys osastolta toiseen paranisi. (TietoEnator, 15–18.)

Kuten jo aiemmin superkalanterin teloja käsiteltäessä (kappaleessa 2.2) todettiin, telojen halkaisijatieta on käytön kannalta tärkeää hallita. Telaseurantaan on lisätty tätä varten ominaisuus, josta näkyy kaikkien telojen halkaisijat yhdellä sivulla. Tarkoitus tällä on helpottaa halkaisijatilanteen seuranta, eli pystytään näkemään kun useampi tela on loppuun hiottu ja telapakan kokonaishalkaisijaa ei enää saada sallittavan suuruiseksi. Tällöin osataan varautua uusien telojen tilaamiseen, jotta tuotanto pysyisi tasaisena ilman katkoja. Havainnointia helpottamaan kuvaajaan on piirretty ideaalitalanne, jossa halkaisijoita olisi tasaisesti erisuuruisia ja käyttöön saataisiin mahdollisimman sopivan kokoinen tela. (TietoEnator, 14.)

## 4 VÄRÄHTELY

Värähtelyllä tarkoitetaan esimerkiksi rakenteen, koneen tai koneenosan edestakaista liikettä tasapainopisteensä ympärillä. Syntyäkseen värähtely tarvitsee voimakkuuttaan tai suuntaansa vaihtavan voiman, ja sen vahvuutta mitataan yleensä siirtymänä  $x$  ( $lm$ ), nopeutena  $v$  ( $mm/s$ ) tai kiihtyvyytenä  $a$  ( $m/s^2$ ). Jos voima olisi pysyvä ja liikumaton, eli vakiovoima, värähtelyä ei syntyisi tasapainotilan vuoksi. (Nohynek & Lumme 1996, 48.)

Useimmiten värähtely mielletään haitalliseksi, mutta siitä on tietyissä kohteissa hyötyäkin. Esimerkiksi kuljettimissa hyödynnetään tärinää, kuten myös tiivistimissä ja seuloissa. Tämän opinnäytetyön kannalta ajateltuna värähtely on kuitenkin haitallista, sillä se aiheuttaa jännityksiä, rakenteisiin syntyy väsymysmurtumia, liitokset löysyvät, käyttöikä laskee ja valmistettavan tuotteen laatu kärsii. Värähtely kuluttaa myös energiaa, koneen käynti on epävarmaa ja se synnyttää melua, mutta pitää myös muistaa, että värähtelevä rakenne aiheuttaa haittaa myös viereisille laitteille. (Nohynek & Lumme 1996, 48.)

Opinnäytetyössä keskitytään hitaasti pyörivien telojen värähtelyyn, jonka aiheuttajana on tyypillisesti epätasapaino, välykset, linjausvirheet, kuormitusvaihtelut ja mekaaniset viat. Käytännössä tärinää aiheuttavia tekijöitä ei saa kokonaan pois, joten tärinätasojen seuranta on välttämätöntä. (SKF 2006.)

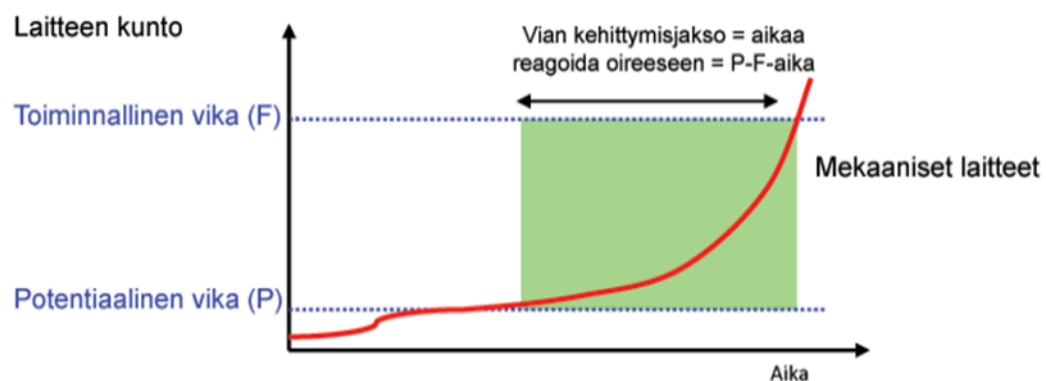
### 4.1 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonnan erilaisia mittaustekniikoita on käytetty teollisuudessa suunnitellusti 60-luvulta lähtien, mutta merkittävin käytönlisäys tapahtui 80-luvulla. Nykyään jokaisesta tuotantolaitoksesta löytyy jonkinlainen koneiden kuntoa mittaava laite, ja suurimmissa laitoksissa on yksinomaan kunnonvalvontaan keskittyntä henkilöstöä. (Nohynek & Lumme 1996, 14.)

Ennen nykyteknisiä mittauslaitteita luotettiin aistinvaraiseen kunnonvalvontaan, joka tarkoittaa kuuntelua, katselua, haistamista ja koettamista. Tuolloin oli tärkeää, että

jokainen tehdashallissa liikkuva aisti koneiden ohi kulkiessaan mahdollisia tuoksua, äänenmuutoksia ja silminnähtäviä käännteitä koneiden kunnossa. Tällainen menetelmä vaatii ammattitaitoa, sillä valvojan on tunnettava koneen käyttötarkoitus, rakenne ja normaali käyttäytyminen, jotta koneen muuttuneen käytöksen ja siten myös vian voisi havaita. Nykyään aistinvarainen kunnonvalvonta on vähentynyt mittauslaitteiden kehittymisen myötä, ja tästä johtuen myös tietämys laitteista ja niiden toiminnasta on katoamassa työpaikoilta hiljaisena tietona. (Prowledgen www-sivut 2014.)

Kunnonvalvontaan kuuluu vian ja sen syyn etsimisen lisäksi turvallisen käyttöajan määrittely, jota päätettäessä otetaan huomioon vian vaikutus valmistettavan tuotteen laatuun, prosessin kulkuun ja vian kehittyminen vakavammaksi, eli vaurioksi. Kuviossa 3 esitetään P-F – käyrä, jonka kirjain P (Potential Failure) tarkoittaa potentiaalista tai oirehtivaa vikaa, ja kirjain F (Functional Failure) toimintahäiriötä tai toiminnallista vikaa, eli vauriota. Kuvio 3 kuvastaa mekaanisia vaurioita, jollainen vika-tyyppi on myös tämän opinnäytetyön perustana. Esimerkiksi sähköisten vaurioiden kehitysjakso on huomattavasti lyhyempi (Prowledgen www-sivut 2014; PSK 5711 1996, 2.).



Kuvio 3. Koneen vikaantumista kuvaava P-F – käyrä (Prowledgen www-sivut 2014).

#### 4.2 Värähtelymittaukset

Koneiden pyörimisnopeutta on kasvatettu tuotantomäärien nostamiseksi, joten myös niiden vikaantumiset syntyvät nopeammin suurempien voimien johdosta. Teknologian avulla pystytään määrittämään, missä vaiheessa vikaantuminen on. Samalla näh-

dään myös, minkä koneenosan kunto on niin heikko, että se synnyttää havaitun värähtelytason muutoksen. Mittaavan kunnonvalvonnan käytöllä pystytään myös korvaamaan tehokkaasti tuotantolaitosten henkilöstövähennyksiä, joiden seurauksena aistinvarainen valvonta on konekohtaisella tasolla vähentynyt. (Nohynek & Lumme 1996, 13–16.)

Ainakin Rauman tehtaalla mittaava kunnonvalvonta suoritetaan säännöllisin väliajoin, jolloin mittauskierroksen reitti on asetettu mittauslaitteeseen, johon on jokaisen koneen ja position kohdalle asetettu yksilöllisiä asetuksia. Mittausreitillä tarkoitetaan mitattavien laitteiden järjestystä mittarissa ja tietojärjestelmissä. Järjestys on rakennettu siten, että peräkkäin mitattavat laitteet sijaitsevat fyysisesti lähellä toisiinsa, jolloin säästetään mittauskierrokseen menevää aikaa vähentämällä siirtymää konealeissa. Koska varsinkin suurissa tuotantolaitoksissa voi olla satoja ellei tuhansia mitattavia laitteita, ne on jaettu lyhyempiin reitteihin sijaintinsa perusteella.

Mittaustulokset tarkistetaan vielä mittauskierroksen jälkeen, jolloin mahdolliset värähtelymuutokset huomataan ja määritellään niihin vaikuttaneet syyt ja mahdolliset viat. Oiremäärittelyn jälkeen otetaan laite seurantaan mittaamalla sen värähtelyjä normaalia useammin ja näin pyritään havainnoimaan vian kehittymisen nopeus. Jokainen laite ja vika on kuitenkin ainutlaatuinen, joten vikojen analysointi vaatii kokemusta ja ammattitaitoa. (Nohynek & Lumme 1996, 132.)

PK 2:n superkalantereilla värähtelyt mitataan kiinteästi asennetuilla antureilla, jotka on kytketty Sensodec 6S:ään. Anturit ovat kiinteät, sillä telojen värähtelyt mitataan kymmenistä satoihin kertoihin päivässä ja näin säästetään työaikaa sekä parannetaan kunnonvalvonnan tehoa.

Värähtelymittausten perusta on aikatasosignaali, joka käytännössä mitataan aina, kun mitataan värähtelyä. Värähtelevään kappaleeseen kiinnitetty anturi värähtelee kappaleen mukana, jolloin anturi muuttaa saamansa mekaanisen värähtelytiedon sähköiseksi suureeksi. Aikatason esitystapaa muuttamalla ja jalostamalla erilaisin menetelmin saadaan värähtelytietoja eroteltua ja muutoin näkyviksi, vaikka toki jo raaka-astaa aikatasosta pystytään erottamaan tiettyjä vikoja. Trendit, spektrit ja STA-analyysi

ovat tähän opinnäytetyöhön liittyviä aikatazon muokkaustapoja, jotka tullaan esittelemään myöhemmin tässä raportissa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 181.)

#### 4.2.1 Hitaasti pyörivien koneiden värähtelymittaus

Hitaasti pyörivällä koneella tarkoitetaan alle 10 hertsin pyörimisnopeutta. PK 2 superkalanterien telojen pyörimisnopeus vaihtelee Sensodec 6S:n mukaan 1 ja 6 hertsin välillä, joten koneet voidaan lukea hitaasti pyöriviksi.

Mittalaitetekniikasta ja fysikaalisista syistä johtuen matalataajuisien värähtelyjen mittaaminen on vaikeaa. Tämä johtuu siitä, että hidaskäyntisillä laitteilla viat esiintyvät useimmiten korkeilla taajuuksilla ja matalien taajuuksien mittaaminen voi olla turhaa, kuten myös pienemmät dynaamiset voimat ja harvoin ilmenevät herätevoimat, jotka toistuvat kerran kierroksessa. Näistä syistä vian eteneminen on hitaampaa kuin nopeakäyntisillä koneilla, mutta toisaalta kuormat on yleisimmin laskettu suuremmiksi. Täten vikatyypit ja vian esiintymistavat voivat poiketa nopeisiin laitteisiin verrattuna. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 347.)

Matalilla taajuuksilla kiihtyvyydet ovat hyvin alhaiset ja niiden mittaaminen kiihtyvyyssanturilla on vaikeaa muun muassa mittausjärjestelmän kohinan vuoksi. Kohinalla tarkoitetaan häiriösignaalia, joka voi syntyä mistä tahansa mittausjärjestelmän osasta, kuten anturista, kaapeleista ja itse mittalaitteesta. Vaikka Rauman tehtaalla käytetään STA-analyysiä, kohinaa ei silti pystytä kokonaan poistamaan, ja se saattaa muuttaa tai peittää alleen kiinnostavan signaalin. Mitä pienempi värähtelysignaali ja suurempi kohina, sitä todennäköisemmin mittaustulos vääristyy. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 348.)

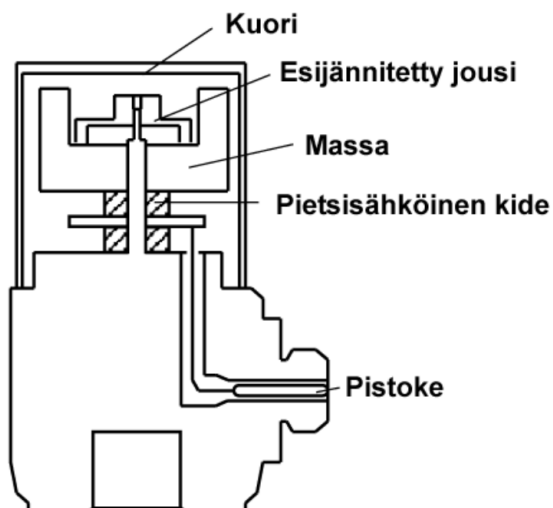
Kohinaa voidaan vähentää valitsemalla sopivimmat mittalaitteet ja analysointitavat, sekä käyttämällä erityisesti matalien taajuuksien mittaamiseen tarkoitettua värähtelyanturia. Lisäksi on monia ulkoisia tekijöitä, joiden eliminoinnilla saadaan kohinatasoa vähennettyä. Näitä ovat muun muassa mekaaniset iskut, liian lyhyt anturin asettumisaika mittaushetkellä sekä anturiin kohdistuvat höyry- ja ilmavuodot. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 348.)

Tärinää aiheuttavien voimien suuruudet riippuvat yleensä kierrosluvusta, ja nämä kaksi ovat verrannollisia keskenään. Tästä johtuen koneen tärinä on suurempi, mitä suuremmilla pyörimisnopeuksilla konetta ajetaan. Tästä voi päätellä, että hitaasti pyörivien koneiden viat on vaikeampi havaita. (Nohynek & Lumme 1996,121–122.)

#### 4.2.2 Anturit PK 2:n superkalanterien paperiteloilla

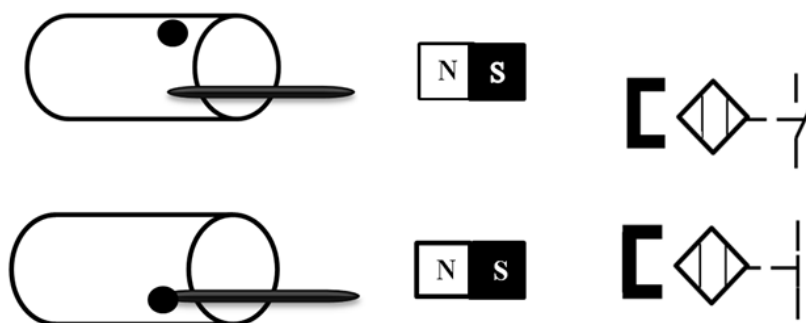
Superkalantereilla käytetään kahdenlaisia antureita. Kiihtyvyyssantureilla mitataan värähtelyjen suuruutta, ja PK 2:n kalantereilla nämä anturit sijaitsevat ylä-, veto-, ja alateloissa. Kiihtyvyyssantureita tarvitaan telojen molempiin päihin (hoito- ja käyttöpuoli), sillä värähtelyt ovat näissä erilaisia riippuen vian sijainnista telalla. Tahdistusanturi aistii telojen pyörimisnopeuden, jota tarvitaan STA-analyysin tekoon. Jokaisella telalla on oma pyörimisnopeutensa johtuen halkaisijamittojen vaihtelusta, joten tahdistusantureita tarvitaan jokaiselle telalle. Telan kumpikin pää pyörii samalla nopeudella, joten antureita tarvitaan vain yksi telaa kohden. (Metso 2014.)

Kiihtyvyyssanturin idea perustuu pietsosähkökiteeseen, jonka sivuilla tai päällä on massaa. Anturin värähdellessä massa puristaa kidettä, joka varautuu sähköisesti suoraan verrannollisesti värähtelyn suuruuteen nähden. Varaus vahvistetaan ja muutetaan jännitteeksi, jolloin saadaan mittaussignaali. Anturin elektroniikan ansiosta sen antamalla signaalilla voidaan tulkita matalia ja korkeita taajuuksia. Kuvassa 6 esitetään pietsosähköisen kiihtyvyyssanturin rakenne. Anturi on hyvin kestävä, sillä se ei sisällä liikkuvia osia, ja on siksi pitkään luotettava mittausväline. (Nohynek & Lumme 1996, 54–55.)



Kuva 6. Pietsosähköisen kiihtyvyyssanturin rakenne (Prowledgen www-sivut 2014).

Tahdistusanturina superkalantereilla käytetään magneetilla toimiva liipaisuanturia, joka reagoi telassa olevaan magneettiseen kappaleeseen ja näyttää signaalin on/off-muotoista. Ollessaan magneetin vaikutuksen alaisena, anturin sisällä oleva metallinen kieli sulkee sähköpiirin, tämä on esitetty kuvassa 7. (Metso 2014.)



Kuva 7. Magneetilla toimivan tahdistusanturin toiminta pyörimisnopeutta mitattaessa (Metso 2014).

PK 2:n superkalantereiden tahdistus- ja kiihtyvyyssanturit on toimittanut Metso Automation, joka on asettanut myös Sensodec 6 S:ään itse sopiviksi määrittelemiään hälytysrajoja. Metson arvot ovat kuitenkin lähinnä suuntaa-antavia, joita tullaan työn aikana tarpeen tullen muokkaamaan.

### 4.3 Värähtelymittausten vianmääritys

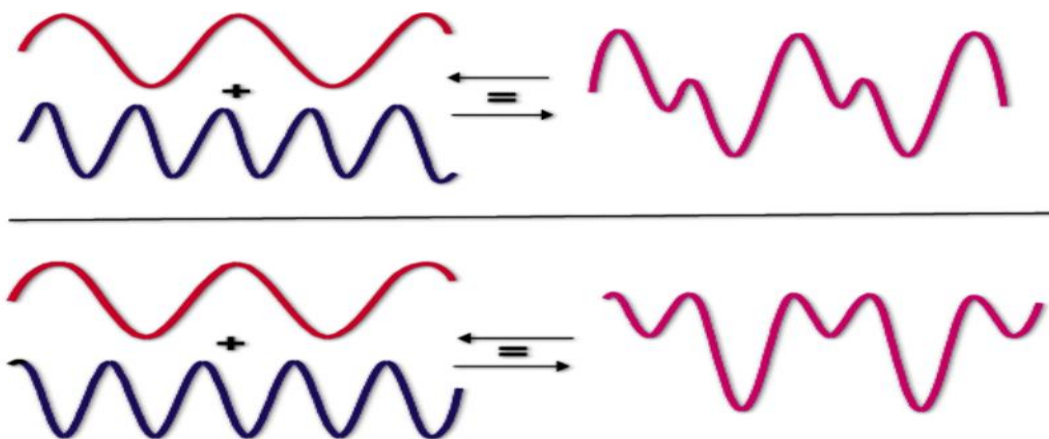
Värähtelymittausten päätarkoituksena on etsiä ja selvittää vika sekä siihen johtaneita syitä. Kun tiedetään ennakkoon koneen vika, pystytään huolto ajoittamaan järkevästi ja järjestelemään se taloudellisesti ja tehokkaasti. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 297.)

Tunnettujen, kulumisesta johtuvien vikojen kehittyminen on helpompi arvioida kuin satunnaisten vikatyyppeiden, sillä vian kehityksen arviointi perustuu kokemukseen. Vianmäärityksen helpottamiseksi on kehitelty pääsääntöjä, joiden mukaan vian tyyppi määräytyy värähtelyn taajuuden ja vakavuusaste amplitudin mukaan. Mitatut värähtelysignaalit käsitellään ohjelmistoilla, jolloin mitatusta datasta saadaan esille erilaisia asioita, jotka helpottavat vianmääritystä. (Nohynek & Lumme 1996, 127; PSK 5711, 1.)

#### 4.3.1 Trendi, aikataso- ja spektrianalyysi

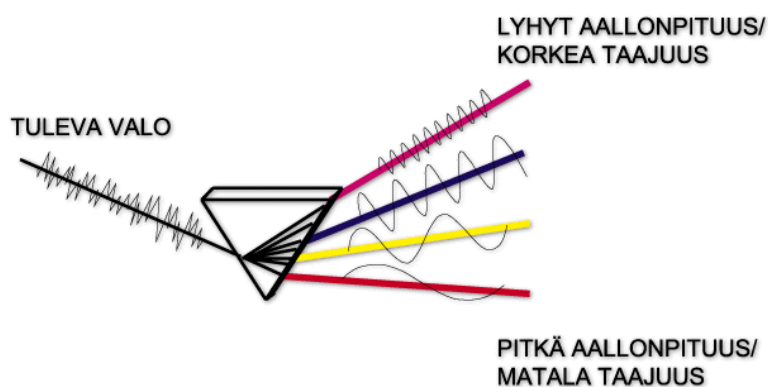
Aikatasosignaali perustuu värähtelyyn, joka on kappaleen liikettä tasapainopisteensä ympärillä. Kun värähtelevään kappaleeseen liitetään anturi, muuttaa se mekaanisen värähtelyn sähköiseksi suureeksi jota sanotaan aikatasosignaaliksi. Tämä suure saadaan käytännössä aina, kun mitataan värähtelyä. Todellisuudessa värähtely on kuitenkin vain harvoin puhtaasti sinimuotoinen aalto, vaan aikatasoon päätyy useampia eritaajuisia aaltoja. Kaikki nämä aallot näkyvät aikatasossa, jolloin sen ulkomuoto monimutkaistuu. Tämä on havainnollistettu kuvassa 8, josta näkee myös miten eri kohdista alkavat taajuusjaksot vaikuttavat aikatason profiiliin.





Kuva 8. Aikatason muodostuminen erilaisista siniaalloista (Prowledgen www-sivut 2014).

Yleisimmin aikatasosignaalin käsittely tehdään FFT:n (Fast Fourier Transform) avulla, joka on Fourier-muunnoksen tekemiseen tarkoitettu työkalu ja jolla aikatasosignaalista saadaan eroteltua erilliset siniaallot toisistaan. Fourier-muunnos hajottaa aikatasosignaalin siten että eri signaalitaajuuDET erotetaan toisistaan, jolloin saadaan eri siniaallot esille. Tämä esitetään kuvassa 9, jossa ilmiö on selvennetty vertaamalla sitä prisman läpi menevään valoon, jolloin syntyy sateenkaari, eli valon eri aallonpituudet hajoavat eri taajuuskomponentteihin. (Promaint 2009, 181–182; Peltonen, Perkiö & Vierinen 2007, 116–117.)

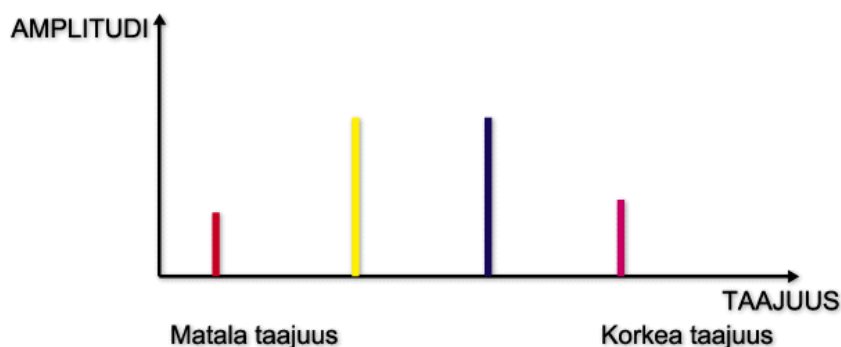


Kuva 9. Fourier-muunnosta voidaan verrata valon hajoamiseen prismassa (Prowledgen www-sivut 2014).

Fourier-muunnoksen avulla saatuja taajuuskomponentteja sanotaan spektreiksi, jotka havainnollistetaan useimmiten kuvan 10 kaltaisesti amplitudi/taajuus – koordinaateissa. Eri taajuudet on erotettu toisistaan, ja ne esitetään x-akselilla matalasta taaju-

desta korkeaan. Amplitudi ilmaisee värähtelyn voimakkuutta, joten juuri tämä on yksi tärkeimmistä suureista kunnonvalvonnassa. (Prowledgen www-sivut 2014.)

Puhtaasti sinimuotoisena pyörivän laitteen spektrikuvassa näkyy vain yksi amplitudipiikki laitteen pyörimistaajuudella. Koska täysin puhdas sinimuotoinen värähtelysignaali on käytännössä harvinaista, spektrikuvissa esiintyy kuvion 4 tavoin useampia amplitudipiikkejä. (Promaint 2009, 196–197.)



Kuvio 4. Fourier-muunnoksen avulla saadun spektrin yleinen esitystapa (Prowledgen www-sivut 2014).

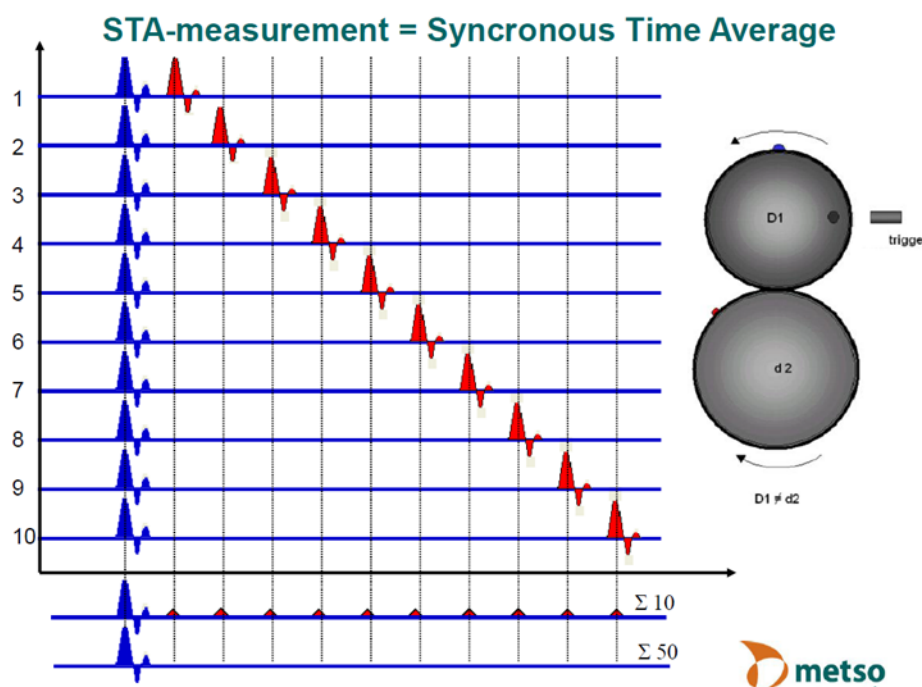
Aikatasosignaaliin liittyy tiiviisti myös trendi, jonka avulla seurataan koneen kuntoa mittaushistoriaan verraten. Historiatietoihin tallennetaan aikatasosignaalista laskettu tehollisarvo, ja näiden arvojen muuttumista ajan kuluessa seurataan. Menetelmän avulla löydetään lähinnä suuria vikoja, sillä trendiseuranta on yksinkertaisimpia tapoja tehdä kunnonvalvontaa. Sen avulla voidaan kuitenkin helposti päätellä esimerkiksi ratakatkon vaikutus vioittumiseen, sillä trendin avulla voidaan jälkeenpäin etsiä tietyn kellonajan mittaukset. Ratakatkon yksi aiheuttaja on telan likaantuminen, joka voidaan trendiä seuraamalla havaita ajoissa ja siten välttää katkon syntymiseltä ja sen aiheuttamilta suuremmilta vahingoilta. (Prowledgen www-sivut 2014.)

#### 4.3.2 Tahdistettu aikakeskiarvostus

Tahdistettu aikakeskiarvostus, eli STA-analyysi (Synchronous Time Averaging), on yksi kunnonvalvonnan työkaluista, jolla parannetaan spektrin ja aikatason tulkittavuutta. Käsittelemättömissä signaaleissa näkyy myös satunnaisia värähtelyjä muilta koneenosilta ja laitteilta, jotka saadaan poistettua STA-analyysin ja tahdistusanturien

avulla. Tällä tavoin saadaan vahvemmin esille tutkittavan kohteen värähtelyjä. (Promaint 2009, 205.)

Tahdistusanturin tehtävänä on tässä tapauksessa mitata telan ympäripyörähtämiseen menevä aika STA-analyysiä varten. Näin kiihtyvyyssanturin mittaama värähtely saadaan jaksotettua siten, että mittaus alkaa aina samasta kohtaa telan pintaa. Kuvassa 10 nähdään, että viereisen telan halkaisijan ollessa erikokoinen, värähtely ilmenee mitatuissa jaksoissa erikohdissa. STA-analyysi laskee näiden mittausjaksojen keskiarvon, jolloin samassa kohtaa olevat värähtelyt säilyvät kuvaajassa ja satunnaiset katoavat. Satunnaisten värähtelyjen katoaminen on riippuvainen keskiarvostettujen jaksojen määrästä; mitä enemmän jaksoja keskiarvostetaan, sitä varmemmin satunnaiset värähtelytaajuudet katoavat. (Promaint 2009, 205.) Kuvassa kaksi alinta riviä kuvastaa keskiarvostettuja jaksoja, joista ylemmässä on kymmenen jaksoa ja alemmassa viisikymmentä jaksoa keskiarvostettu. Kymmenen ylintä riviä kuvastaa jaksoja, jotka on laskettu mukaan keskiarvostukseen.



Kuva 10. Tahdistetun aikakeskiarvostuksen perusidea (Metso 2008.)

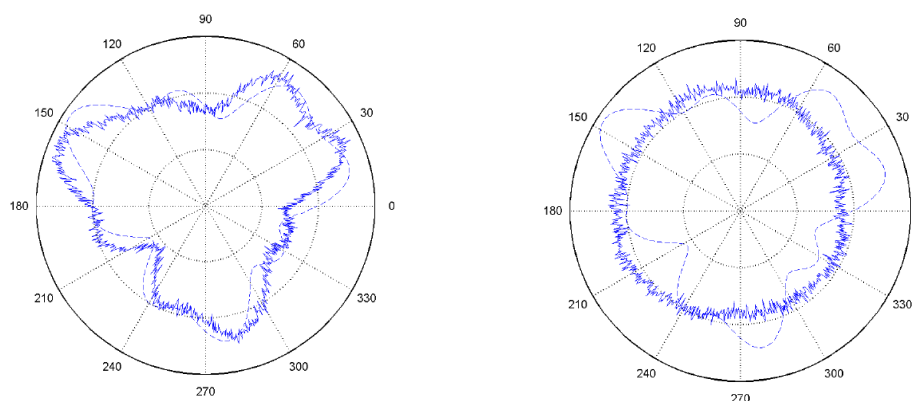
Keskiarvostuksen voi tehdä spektrille ja aikatasolle. Aikatasolla tehty keskiarvostus on kuitenkin hyödyllisempi, sillä sitä voidaan tarkastella sellaisenaan tai se voidaan

muuttaa laskemalla keskiarvostetuksi spektriä. Keskiarvostettua spektriä ei voi muuttaa aikatasoksi. (Promaint 2009, 205.)

#### 4.3.3 Keskiarvostus ja profiilivalvonta

Profiilivalvontaa suoritetaan tapauksissa, joissa tutkitaan pyöreän kappaleen, kuten telojen ja hammaspyörien, kuntoa. Profiilivalvonnan tulokset syntyvät STA-analyysistä, jossa tulokseksi on saatu yhden kierroksen värähtelyt ja tämä käyrä on tavutettu pyöreään muotoon. Jos keskiarvostus on suoritettu sopivalla määrällä jaksolla, voidaan kuvaajasta päätellä kohteen kunto ja mahdollinen huollontarve. (Nohynek & Lumme 1996, 98.)

Kuten keskiarvostuksessa yleensäkin, myös profiilivalvonnassa on tahdistusanturin rooli hyvin tärkeä. Anturin on oltava tarpeeksi tarkka, jottei kuvassa 11 esitetty profiilin vääristymä toteutuisi. Kuvan tilanteessa tahdistusanturi ei ole tarpeeksi tarkka, vaan se on laskenut jakson pituuden liian lyhyeksi tai pitkäksi. Jos epätarkan anturin antamaa signaalia keskiarvostetaan tarpeeksi monella jaksolla, muuttuu tulos täysin pyöreäksi. Pyöreä muoto kertoo ehjästä telan profiilista ja kuvan tapauksessa min-käänlaista vioittumista ei huomattaisi. (Nohynek & Lumme 1996, 98.)



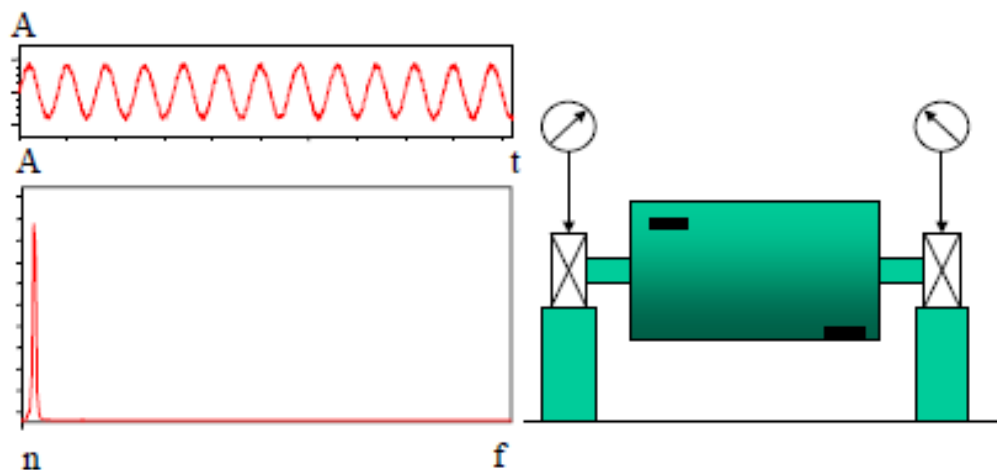
Kuva 11. Vasemmalla lähes sopivasti keskiarvostettu ja oikealla liikaa keskiarvostettu tela-analyysi tapauksessa, jossa tahdistusanturi on epätarkka (Metso 2012).

Koska tässä opinnäytetyössä tullaan käsittelemään profiilivalvonnassa yleisimmin ilmeneviä vikoja teloissa, täsmennetään tässä kohtaa termiä tela-analyysiksi. Tämä sen vuoksi, koska esimerkiksi telojen ja hammaspyörien viat ilmenevät eri tavoin profiilivalvonnassa ja näin vältetään väärinkäsitykset.

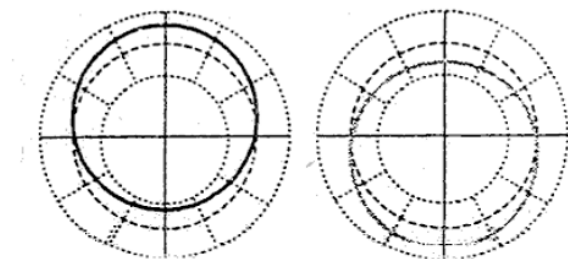
#### 4.3.4 Värähtelymittauksissa ilmeneviä vikatyyppejä

Yleisimpiä pyörivälle kappaleelle värähtelyä aiheuttavia vikoja on epätasapaino, jossa kappaleen painopiste poikkeaa pyörimiskeskuksesta. Ilmiö voi johtua muun muassa huonosta valusta, virheellisestä telahionnasta, irtonaisesta tai puuttuvasta materiaalista. Epätasapainon suuruus on riippuvainen painopisteen ja pyörimispisteen etäisyydestä. Koska epätasapainotilanteita on kaksi, jotka usein esiintyvät yhdessä, esitetään staattisen ja dynaamisen epätasapainon yhdistelmä, eli yhdistelmäepätasapaino. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 297.)

Ensimmäiseksi esitellään kuva 12, jossa yhdistelmäepätasapainoa kuvataan erillään muista värähtelyistä, eli teoriaan perustuen jotta perusajatus selkenisi. Yhdistelmäepätasapaino ilmenee aikatasona tasaisena siniaaltona, jossa on yksi jakso kierrosta kohti. Alempi käyrä kuvastaa spektriä, jossa epätasapainon tunnuksena on yksi amplitudin huippu telan pyörimistaajuudella. Kuvassa 13 yhdistelmäepätasapaino ilmaistaan tela-analyysinä, jossa havaitaan hoito- ja käyttöpuolen aikatason vaihe-eron olevan  $180^\circ$ . (SKF 2007.)

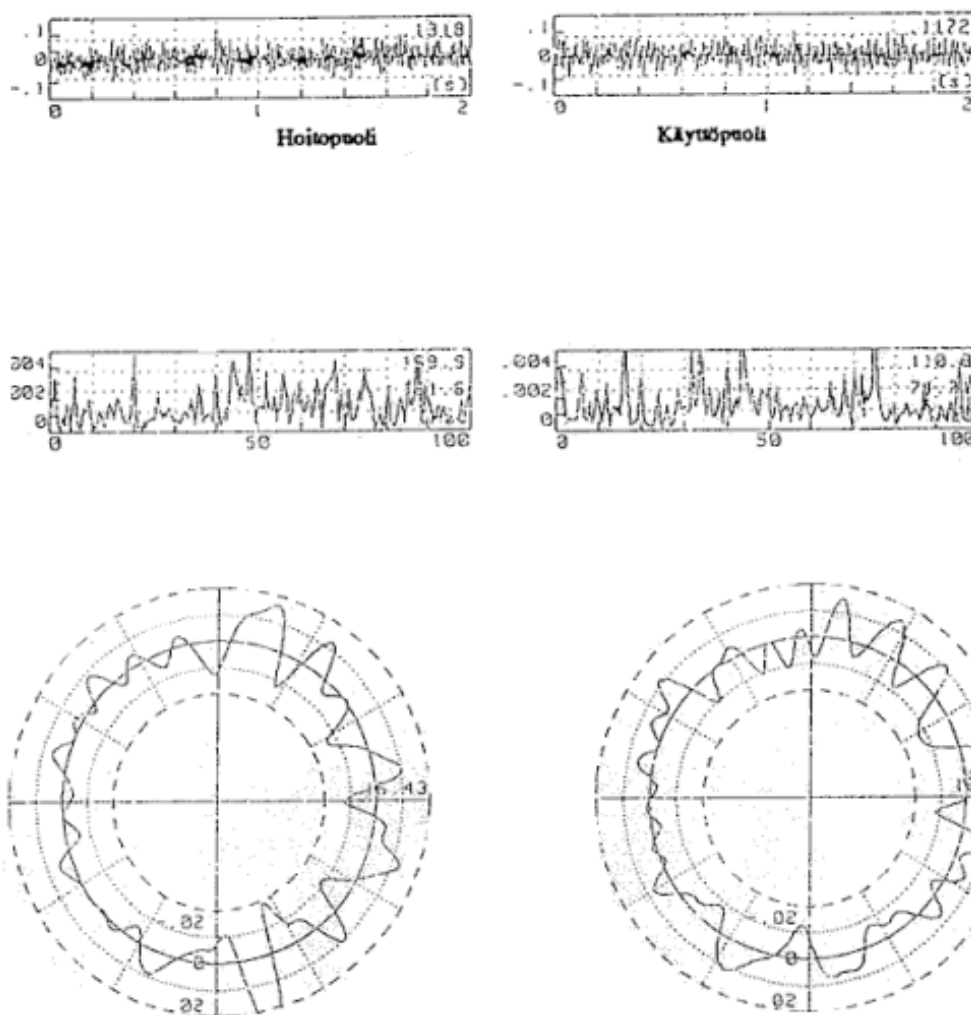


Kuva 12. Yhdistelmäepätasapaino aikatasona, spektrinä ja rakennekuvana (PSK 5707, 8).



Kuva 13. Yhdistelmätasapaino tela-analyysissä (SKF 2007).

Epätasapainon aiheuttama vika teloilla voi olla esimerkiksi pinnoitteen irtoaminen. Vian aiheuttaa yleisimmin telan resonointi, rainan mukana kulkevat vierasesineet, rainan kerrostuminen tai katkeaminen. Edellistä realistisemmassa kuvassa 14 esitellään ylimpänä aikataso, keskellä spektri ja alimpana tela-analyysi. Pinnoitteen irtoaminen ilmenee aikatasossa useina sinimuotoisina jaksoina, joiden lukumäärä ilmaisee irronneen pinnoitteen lukumäärää. Spektrissä näkyy ominaistaajuus monikertoimina ja tela-analyysissä epäsymmetrisiä impulsseja voi olla 1-15 kappaletta. (SKF 2007.)

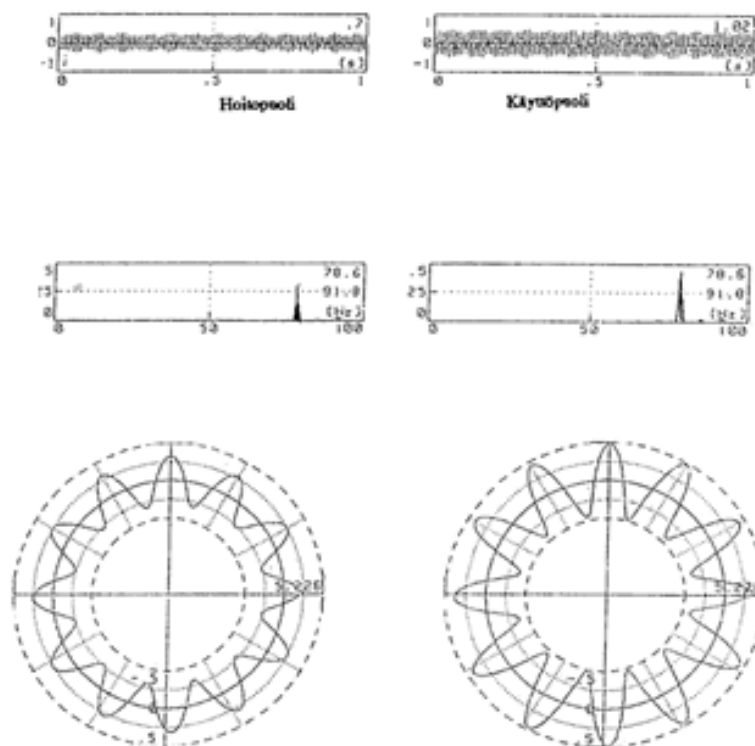


Kuva 14. Telapinnoitteen rikkoutumisen ilmeneminen aikatasossa, spektrissä ja tela-analysissä (SKF 2007).

Telan pinta muotoutuu helposti ajossa, sillä värähtelyvoimat osuvat samaan kohtaan telan pintaan. Jos osumat saavat iskeä tarpeeksi kauan, telan pyöreysprofiili muokkautuu palautumattomaksi ja paperiraina kalanteroituu epätasaisesti. Muotoutumiseen johtavat värähtelyvoimat aiheutuvat tässäkin tapauksessa usein resonanssista. (Prowledgen www-sivut 2014.)

Kuvasta 15 voidaan havaita, että aikatasossa esiintyy useita sinimuotoisia jaksoja, joiden lukumäärä kuvastaa pinnoitteen pömpöjen lukumäärää. Spektrissä muotoutuminen ilmenee telan ominaistajuuksena ja sen monikertoina korkeammilla taajuuksilla. Tela-analysissä impulssit ovat symmetrisiä ja lähes samankaltaisia niin hoito-

kuin käyttöpuolellakin. Tela-analyysissä impulsseja voi olla tapauksesta riippuen 2-25 kappaletta. (SKF 2007.)



Kuva 15. Telan muotoutumisen havainnointi aikatasossa, spektrissä ja tela-analyysissä (SKF 2007).

#### 4.4 Hälytysrajat värähtelymittauksissa

Yleisesti uskotaan virheellisesti, että tehokas kunnossapitomalli laaditaan historiatietojen pohjalta, jolloin vikatiedostoja käytetään kunnossapidon suunnittelun pohjana. Historiatietoja tutkimalla kuitenkin havaitaan, että tiedot ovat täynnä perustelematonta tietoa, kuten arvauksia ja johtopäätöksiä, sekä pahimmassa tapauksessa keskenään ristiriitaisia tietoja. Tämä johtuu siitä, että nykyisin laitteet ovat monimutkaisia, jolloin niitä pitäisi tutkia laajemmin eri osa-alueilla. Monimutkaisuus vaikeuttaa vikaantumisen aiheuttavien yksityiskohtien selvittelyä, jolloin historiatietoihin jäävä vika-analyysi voi olla virheellinen. Tämä aiheuttaa myös sen, että tietokannoissa on samalle vialle monta vikaantumismallia. Historiatietojen käyttö toimii siinä tapauksessa, kun tutkitaan samanlaisia laitteistoja, joiden käyttötavat vastaavat toisiaan.



Historiatietojen luotettavuusongelmia aiheuttaa myös se, että vikojen kirjaaminen vaihtelee eri positioiden välillä. Kunnonvalvonnassa on tulkinnan varaa, jolloin yhden mielestä laite on käyttökelvoton ja toisen mielestä vasta vioittumassa. Tilastoista voidaan huomata myös, että tuotannon toiminta-asteeseen vaikuttavia ja korjauskustannuksiltaan kalliita laitteita kunnostetaan ja valvotaan tehokkaammin kuin laitteita, joissa vikaantumiset eivät vaikuta tuotannon tehokkuuteen ja ovat halpoja korjata. Korjausten tarpeen toistuvuus ei siis ole laitteen tehottomuuden mittari, vaan kunnonvalvonnan tärkeysjärjestyksen ilmentymä. (Kunnossapitoyhdistys ry. 2000, 169–172.)

Kunnonvalvonnan helpottamiseksi laitteille voi asettaa raja-arvoja, jotka ilmaisevat, kun värähtely on noussut asetetun rajan yli. Yleensä hälytysrajoja asetetaan kaksi, joista alempi on varoitusraja ja ylempi on vaurioraja aiemmin kappaleessa 4.1 esitetyn P-F – käyrän mukaisesti. Ylitettyään varoitusrajan, koneen kunnonvalvontaa tulee tehostaa, hälytyksen aiheuttaja pitää selvittää ja varautua korjauksiin. Vauriorajan ylittyminen edellyttää koneen nopeaa korjaamista. Tähän opinnäytetyöhön liittyvillä kalantereilla ei aseteta kuin yksi hälytysraja, sillä teloja pystytään korjaamaan vasta, kun ne on siirretty huoltoon. Ja huoltoon ei kannata viedä kuin käyttöön sopimattomia teloja, joten asetettavat raja-arvot ovat vauriorajoja. (PSK 5705, 4.)

Raja-arvot perustuvat valmistajan suosituksiin, standardeihin ja kunnonvalvonnasta saatuihin kokemuksiin. Raja-arvoja voidaan ja säädetäänkin käyttökokemusten perusteella, mutta ne voidaan ainakin osittain määrittää myös matemaattisesti:

$$\text{Hälytysraja} = 1,6 \cdot \text{keskiarvo} + 2 \cdot \text{keskihajonta} \quad (\text{Kaava 1.})$$

$$\text{Vaurioraja} = 4 \cdot \text{keskiarvo} + 2 \cdot \text{keskihajonta} \quad (\text{Kaava 2.})$$

(PSK 5705, 5.)

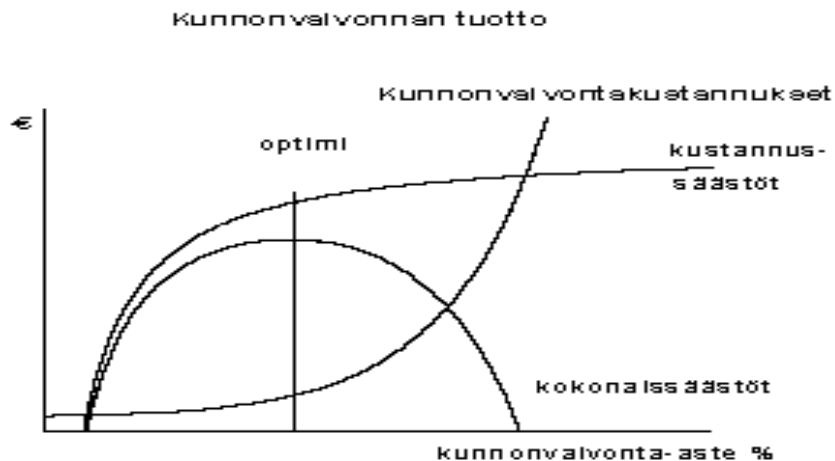
Käytäntönä on ollut seurata laitteen toimittajan huolto-ohjeita lähes orjallisesti, sillä on uskottu laitteen valmistajan tuntevan parhaiten laitteen turvallisesta käyttämisestä. Todellisuudessa ohjeet ovat vain viitteellisiä, sillä valmistaja testaa tuotteensa optimaalisissa olosuhteissa, jossa häiriötekijät on minimoitu tai ne poikkeavat asiakkaan luona olevista häiriötekijöistä. On siis muistettava, että paras rajojen asettelu suoritetaan konekohtaisen kokemuksen ja seurannan avulla. Standardit ja normit ovat vain

suuntaa-antavia, sillä värähtelyn tasot voivat olla standardien mukaiset, mutta kone ei niitä välttämättä kestä. Standardien konekohtainen soveltaminen, kokemus ja koeajot eri ajotilanteissa mahdollistavat onnistuneen hälytysrajojen määrittämisen. (Nohynek & Lumme 1996, 111; Kunnossapitoyhdistys ry. 2000, 185.)

#### 4.5 Kunnossapidon ja kunnonvalvonnan taloudelliset vaikuttimet

Metsäteollisuudessa investointien osuus liikevaihdosta on merkittävä, joten muutosten suunnittelu ja kannattavuuslaskelmat ovat hankintaprosessien aikana suuressa roolissa. Kokonaisuuden huomioiminen ja tulevaisuuden ennustaminen tekee suunnittelusta vaikeaa, sillä ulkoisten vaikutteiden lisäksi lopputulokseen vaikuttaa yrityksen oma toiminta esimerkiksi järjestelyjen suhteen. Investoinnilla tarkoitetaan resurssien uhrausta, jotta tulevaisuudessa saadaan taloudellista tai muuta hyötyä. Tämän määritelmän mukaisesti myös kunnossapitoa voi pitää investointina, sillä sen tarkoituksena on pitää koneet käyttökelpoisina ja siten varmistaa niiden kykyä tuottaa vaaditun laatuista tuotetta. Kunnossapito vaikuttaa osaltaan myös tuotteen toimintäsmällisyyteen ja sitä kautta varaston kokoon, joka on jo suuri osa yrityksen kustannuksista. (Prowledgen www-sivut 2014.)

Kunnonvalvonta on kunnossapidon osa, joka varsinkin värähtelymittausten osalta on noussut yhdeksi tärkeimmäksi menetelmäksi koneiden käyttöasteen ja toiminnan kannattavuuden nostamisessa tuotantolaitoksissa. Tietokoneavusteinen kunnonvalvonta mahdollistaa jatkuvan koneiden kunnon tarkkailun, suurten tietomäärien hallinnan ja nopean reagoinnin vikatilanteisiin. Nopean reagoinnin ansiosta voidaan välttää turhia seisokkeja ja työvaiheita, sekä varaosat osataan tilata ennakkoon, jolloin myös varaosavarausta saadaan pienemmäksi. Vaikka mittauslaitteisto, miestyötunnit ja koulutus tuovat kustannuksia, oikein järjestettynä kunnonvalvonta tuo säästöjä, kuten kuvioista 5 voidaan havaita. (Nohynek & Lumme 1996, 13.)



Kuvio 5. Kunnonvalvonnan optimointi (Nohynek & Lumme 1996, 13).

Kuten edellä jo todettiin, kunnonvalvonta vaikuttaa monella tavalla yrityksen muihin toimintoihin, sillä sen avulla saadaan tärkeää tietoa investointien tarpeesta ja välineet yrityksen kannattavuuden parantamiseen. Taulukossa 2 näkyy lisää kunnonvalvonnan liityntöjä yrityksen eri osa-alueisiin. (Nohynek & Lumme 1996, 12.)

Taulukko 2. Kunnonvalvonnan liityntöjä yritystoimintaan (Nohynek & Lumme 1996, 11).

<b>Kunnonvalvonta</b>			
<b>Investoinnit</b>	<b>Kannattavuus</b>	<b>Kunnossapito</b>	<b>Käyttö</b>
Suunnittelu	Käytettävyys	Vian määrittäminen	Hälytykset
Valmistus	Katastrofien estäminen	Parannukset	Ajo-ohjeet
Asennus	Kunnossapitokustannukset	Huolto- ja korjaustarpeiden määrittäminen	Turvallinen käyttöaika
Vastuunotto			
Takuuarvot			

Kunnonvalvonnan välittömiä tuottoja selvittäessä otetaan huomioon tuotannonmenetysten, kunnossapitokustannusten ja seurausvaikutuskustannusten summan muutos edellisestä laskenta-ajankohdasta, ja saadaan tulokseksi kustannussäästön määrä. Jos tässä opinnäytetyössä otettaisiin välittömät kustannukset huomioon, aihe tulisi liian laajaksi. Tämän vuoksi parempi vaihtoehto on keskittyä välillisiin tuottoihin. Välilli-

set tuotot ovat esimerkiksi tuotantovälineiden käyttöön kasvu ja seisokkien harveneminen ja lyheneminen. (PSK 5709, 3.)

Kunnossapidon kannattavuuden ja tavoitteiden toteutumisen seuraamiseksi onkin vakiintunut käytäntö, jossa seurataan tiettyjen tunnuslukujen kehittymistä ajan kuluessa. Tunnuslukuja tarvitaan, jotta kehitystarpeet ja –kohteet löytyvät ja tehtyjen muutosten vaikutukset saadaan selville. Hyödyllisyyden mittaaminen on kuitenkin ongelmallista, sillä varsinkin kunnossapidon tulos muodostuu lähes kokonaan epäsuorista vaikutuksista. Tuotannollisen toiminnan mittarit on helpompi asettaa esimerkiksi tuotantomäärien mukaan, kun taas kunnossapidon osalta mittarit keskittyvät lähinnä tuotannon menetyksiin ja toimitusaikoihin. Lisäksi tunnuslukujen on vastattava yrityksen kunnossapidon strategiaa ja tuettava päätöksentekoa, sekä henkilöstön motivoinnin vuoksi niiden on oltava konkreettisia ja helposti yhdistettävissä heidän omaan toimintaansa kunnossapidon saralla. Käytännössä tunnusluvut muodostetaan usein kahden luvun suhteesta, jolloin lukujen pitää olla selkeästi riippuvaisia toisistaan. Tällä tavalla tuloksesta saadaan tarkka, joka on aina karkeaa arviota parempi. (Prowledgen [www-sivut](#) 2014.)

## 5 TYÖMENETELMÄT JA RATKAISUT

### 5.1 Hälytysrajat

Työn tarkoituksena oli tehostaa superkalanterin tuotantoa vähentämällä turhien telavaihtojen määrää. Vaihdot ovat oleellinen osa tuottavuutta, sillä superkalanteri pitää pysäyttää aina telaa vaihdettaessa ja vaihdon jälkeen raina vielä pujotetaan nippien läpi paikalleen ennen ajon aloittamista. Tähän operaatioon kuluu arvokasta tuotantoaikaa, joka oli ainakin osittain tehostettavissa.

Akselinsa ympäri pyörivien koneenosien kunnonvalvontaa on alalla tehty jo pitkään värähtelymittauksilla, ja tekniikan kehittyessä menetelmästä on tullut entistä tarkempaa. Juuri tarkkuutta vaaditaan, kun mitataan hitaasti pyörivien laitteiden värähtelyjä, joten myös PK 2:n superkalanterille päätettiin asentaa värähtelyanturit. Hälytysrajojen avulla pystytään valvonta suorittamaan tehokkaammin automaation avulla, joten hälytysrajojen pitää olla luotettavat ja oikeelliset. Oikein asetelluilla hälytysrajoilla vähennetään seurantaan kuluva työaika, mutta samalla varmistetaan että vika havaitaan ajoissa.

Tätä opinnäytetyötä aloitettaessa päätettiin, että superkalanterien hälytysrajat tullaan määrittelemään tuoreen kokemuksen ja vian vakavuuden määrittelyn perusteella. Sensodec 6S -tietojärjestelmään asetetut toimittajan laatimat raja-arvot oletettiin olevan vain viitteellisiä, ja niissä ei otettu huomioon esimerkiksi ympäristön vaikutusta telojen värähtelyyn. Tämän vuoksi jokainen hälytys tutkittiin ja telojen viat analysoitiin. Tarkoituksena oli, että jos hälytyksen aiheuttanut tela oli vielä käyttökunnossa, kyseisen position raja-arvoa muutetaan hieman suuremmaksi ja kyseisen position seuranta jatketaan.

Telojen kuntoa seurattiin kiihtyvyyss- ja tahdistusantureilla, jotka on liitetty värähtelysignaaleja käsittelevään Sensodec 6S -järjestelmään. 6S osoittautui kunnonvalvonnan tarpeisiin varsin sopivaksi, sillä järjestelmän avulla pystytään seuraamaan telojen värähtelyjä lähes ajantasaisesti nopeasti toistuvien mittausten avulla ja saadut tulokset järjestelmä muuttaa automaattisesti trendeiksi ja spektreiksi. Koska trendit ja

spektrit saadaan järjestelmässä nopeasti aikatasosta esille, tulosten analysointi sujuu nopeasti ja reagointi vikoihin on nyt tehokkaampaa. Tulosten analysointi vaatii edelleen ammattitaitoa ja konekohtaista tuntemusta, mutta antureiden ja hälytysrajojen asettamisen jälkeen seuranta helpottui huomattavasti.

Värähtelytuloksia tutkitaan trendien, spektrien ja aikatasojen avulla. Kullakin näistä esitysmuodoista on oma tehtävänsä, sillä esimerkiksi aikatasossa näkyvä epäselvä vika voi spektrissä näkyä selvänä ja vika pystytään nimeämään. Opinnäytetyötä tehtäessä vikaantuvat telat löydettiin juuri tällä menetelmällä ja telojen viat pystyttiin nimeämään ilman, että telaa olisi paikanpäällä tarvinnut tutkia. Telavaihdon jälkeen kyseinen tela etsittiin ja vian vakavuus pystyttiin varmistamaan.

Työn suorittaminen vaati myös konesalissa käymistä, sillä värähtelevän telan tiedot piti tarkistaa paikanpäällä. Teloista löytyy kaksi lukemaa, telanumero ja halkaisija, jotka piti käydä laittamassa muistiin ennen kuin tela vaihdettiin ehjään. Telanumeron avulla telan pystyi löytämään vaihdon jälkeen telahuollosta ja halkaisijatiedon perusteella tarkistettiin, ettei telaa ole vielä hiottu ehjäksi. Hionnassa on käytäntönä, että halkaisijatiedot merkitään teipinpalalla, jolloin ne on helppo vaihtaa hionnan jälkeen. Hiomattomasta telasta näkee, millainen vika värähtelyn on aiheuttanut.

Sensodec 6S:n toimittaja Metso asetti järjestelmään omat hälytysrajansa, joita pidettiin viitteellisinä ja siksi niitä seurattiin. Kuitenkin seurantajakson aikana havaittiin, että kaikki järjestelmän tekemät hälytykset olivat aiheellisia ja aiheuttivat erilaisia toimenpiteitä. Tämän vuoksi hälytysrajat todettiin oikeellisiksi ja sopiviksi, eikä niitä tarvinnut muuttaa.

Toiseksi työn aikana todistettiin, että telan pyörimisnopeudella on merkitystä värähtelyn suuruuteen myös käytännössä. Vaikka telassa oleva pintarikko olisi pysynyt saman kokoisena, nopeutta nostettaessa värähtelyn voimakkuus kasvoi ja rikko näytti Sensodec 6S:ssä pahemmalta, mitä se olikaan. Tämä muun muassa johti siihen, että kahden kuukauden tarkkailujakso oli liian lyhyt aika hienojakoisemman analyysin tekemiseen. Ideaalinen lopputulos olisi ollut, että jokaiselle nopeudelle säädetään oma hälytysrajansa. Tämä ei kuitenkaan alun perinkään kuulunut tehtävänantoon,

sillä sen tiedettiin jo työn suunnitteluvaiheessa olevan mahdotonta jo pelkästään aikataulullisista syistä.

Vaikka hälytysrajoja ei opinnäytetyön yhteydessä muutettu, mikä oli työn tärkein aihe, sai UPM Rauman tehdas varmistuksen siitä, että hälytysrajat PK2:n superkalanterilla ovat sopivat ja todenperäiset. Lopputulos on siis alkuperäisen suunnitelman mukainen, vaikka hälytysrajojen asettelu ei odotettua työmäärää tuottanutkaan.

## 5.2 Tietojärjestelmät

Tietojärjestelmien integrointisuunnitelmaksi määriteltiin teoreettisen mallin olevan riittävä, sillä aihe piti rajata työmäärän hallitsemisen vuoksi. Tällaisesta rajauksesta huolimatta työhön liittyviin tietojärjestelmiin tuli tutustua vähintään pintapuolisesti, jotta saatiin selville eri järjestelmien mahdollisuudet, ominaisuudet ja käyttötarkoitukset.

Järjestelmiin tutustuessa havaittiin, että ohjausjärjestelmä on superkalanterin toiminnan kannalta ehdoton. Käytön kannalta järjestelmän on jatkuvasti oltava toimintakunnossa, sillä se mittaa superkalanterin lämpötiloja, nopeuksia ja paineita. Jollei näitä tietoja saada esille, laitteen käyttöä ei tuolloin pystytä ollenkaan valvomaan ja säätämään. Toisin sanoen ohjausjärjestelmä toimii aina kun superkalanteri on ajossa ja tämä seikka ratkaisi päätöksen, jonka mukaan ohjausjärjestelmä on järjestelmien yhdistämisessä ydinjärjestelmä.

Vaikka GMES:n telaseuranta-sovellus olisi lähes valmis kokonaisuus, jonne saataisiin muutamalla muutoksella kaikki halutut tiedot yhteen järjestelmään, on sen käyttövarmuus kuitenkin heikompi kuin ohjausjärjestelmän. Ollessaan laajemmin yhtiön käytössä se sisältää myös useampia erikoissovelluksia, joita pitää usein päivittää ja lisätä. Usein päivitysten ajaksi GMES pitää sulkea käytöstä, mikä tarkoittaisi myös superkalanterin käytön katkeamista samalla hetkellä. Tällaiset tuotantokatkot olisivat turhia, sillä superkalanteri olisi kuitenkin todellisuudessa käyttökunnossa. Superkalanterilla joudutaan katkaisemaan ajo usein paperitelojen vaihtojen vuoksi ja jos kat-

koja syntyisi myös järjestelmän huoltojen takia, tuotannon tehokkuus laskisi entisestään ja hälytysrajojen asettamisesta saatu hyöty mitätöityisi. Näin GMES todettiin epäsovivaksi telatietojen välittämiseen muihin järjestelmiin, vaikka sen telaseurantaominaisuus olisikin tarkoitukseen erittäin sopiva.

Kuten GMES, myös Sensodec 6S sisältää telatietojen välitykseen soveltuvan pohjan, eli telakortiston. Telakortisto vaatisi kuitenkin jokaisen telan tietojen lisäämisen järjestelmään, sillä nykyisellään kortisto on täysin tyhjä. Tietojen lisääminen olisi työllästä ja aikaa vievää, ja sen lisäksi järjestelmä vaatisi käyttöopastusta. 6S on lähinnä värähtelymittaajien työkalu, jota kaikki telatietoja tarvitsevat eivät hallitse. Tämän vuoksi telatietojen muuttaminen ja tarkistaminen on hyvä olla sellaisessa järjestelmässä, joka on valmiiksi eri työntekijöiden hallinnassa ja jossa suoritetaan muitakin superkalanteriin liittyviä hallintatehtäviä. Tällöin helpotetaan tietojen päivittämistä, sillä vaihto on helpoin ja nopein tehdä järjestelmään, joka on jo valmiiksi päätteellä avattuna. Tästäkin syystä ohjausjärjestelmä on paras vaihtoehto telatietojen ylläpitoon.

Linkitystä rakennettaessa otettiin huomioon eri henkilöstöryhmien tarpeet, heidän päätoimisesti käyttämänsä tietojärjestelmät ja niiden ominaisuudet. Telanumerot ja –halkaisijat merkitään superkalantereiden käyttöhenkilökunnan toimesta ohjausjärjestelmään, joka jakaa saman tiedon GMES:in kautta Sensodec 6S:ään. Samat tiedot kulkevat GMES:n kautta myös telavaihtojen kannattavuutta laskevaan Exceltaulukon, joka laadittiin tämän opinnäytetyön yhteydessä. Telahuolto taas ylläpitää telalista GMES:ssä, josta käyttöhenkilöstö saa telojen halkaisijat ja numerot tietoonsa. GMES on jo käytössä telahuollossa, joten henkilöstö oppii nopeasti laittamaan tarvittavat tiedot esiin. Sensodec 6S liitetään järjestelmien väliseen verkostoon myös siten, että sen tuottamat värähtelytiedot siirtyvät useamman tahon näkyville GMES:iin.

Kannattavuus otettiin huomioon myös linkityskarttaa suunniteltaessa, sillä eri toimittajien valmistamien järjestelmien välille rakennettava tiedonsiirto voi olla vaikeaa ja kallista. Siksi siirtämistä vaativat tiedot punnittiin tarkoin ja lopputulosta pyrittiin yksinkertaistamaan mahdollisimman paljon karsimatta kuitenkaan liikaa. Lopputu-



lokseksi saatiin teoriassa selkeä linkkien verkosto, jossa ei ole mitään ylimääräistä ja toistensa kanssa rinnakkaisia toimintoja.

### 5.3 Kannattavuustaulukko

Kannattavuustaulukon teoriapohjan löytäminen osoittautui erittäin haastavaksi, sillä kannattavuutta mitataan usein taloudellisten lukujen avulla. Jos talousluvut olisi otettu huomioon, työn määrä olisi kasvanut huomattavasti ja opinnäytteen aiheita olisi pitänyt rajata muualta. Tällaista rajausta ei kuitenkaan voitu tehdä, sillä hälytysrajojen asettaminen oli lähtökohtana ja idea kannattavuuden seuraamisesta oli sivuosassa. Jos kannattavuusseuranta olisi asetettu pääasemaan, ei olisi välttämättä ollut mitään muutoksia seurattavana, sillä hälytysrajojen käsittelyyn varattu aika olisi vähentynyt radikaalisti tällaisesta suunnitelmien vaihdosta.

Talousluvut huomioon ottamalla kannattavuustaulukossa olisi näkynyt myös muun muassa ylimääräisten hiontojen, ajokatkojen ja henkilöstön kustannuksia. Näin olisi saatu parempi kuva hälytysrajojen käyttöönotosta aiheutuvista säästöistä, mutta tässä työssä keskityttiin käytäntöä, eli telavaihtoja kuvaavaan tilastoon. Kannattavuustilasto täyttyy tietojärjestelmien linkityssuunnitelman mukaan GMES:n kautta, joten tilaston ylläpito ei vaadi erityistä huomiota, muutoin kuin tuloksia tarkastellessa.

Kuten jo aiemmin todettiin, valmista teoriapohjaa kannattavuustaulukon rakentamiseen ei löydetty, vaan malli piti rakentaa alusta alkaen itse. Tarkoituksena oli löytää keino, miten telavaihtojen lukumäärää pystytään nopeasti seuraamaan superkalante-reittain, positioittain ja näiden yhdistelminä. Koska UPM:llä ei ollut valmiina tällaisen kannattavuuden mittaamiseen soveltuvaa järjestelmää, päädyttiin valitsemaan taulukon pohjaksi Excel. Työn edetessä tämä valinta osoittautui oikeaksi, sillä GMES pystyy tietonsa kääntämään Excel-muotoon itsenäisesti, jolloin tietojen siirtäminen automaattisesti järjestelmästä toiseen on helpompaa.

Kannattavuustilasto rakennettiin siten, että eri välilehdillä esitetään eri tietoja, jotka on kaavojen avulla johdettu ensimmäiseltä välisivulta. Tällöin riittää, että tieto telavaihtojen lukumäärästä merkitään vain ensimmäiseen välilehteen ja sama tieto siirtyy

automaattisesti toisille lehdille. Liitteessä 1 on rajattuja kuvia välilehdistä, joihin telavaihtojen määrät merkitään ja havainnollistetaan vuosikohtaisesti tarkennettuna yksittäisiin positiioihin eri superkalantereissa. Lukemat ovat kuvitteellisia ja tarkoitettu vain havainnollistamaan Excel-taulukon toimintaa.

Taulukko esittää saman lukemat eri tavoin, jolloin on helppo saada erilaisia tietoja esille. Ajan mittaan voidaan havaita muun muassa, mikä positio kuluttaa teloja eniten ja siten tätä positiota osataan ryhtyä valvomaan tarkemmin, jolloin vikaantuminen havaitaan aikaisemmin ja osataan varautua vaihdosta aiheutuviin seisakkeihin. Tuloksia voidaan tarkastella myös siten, millä superkalanterilla telat pysyvät kauimmin ehjänä, jolloin osataan valita oikea kone esimerkiksi suurempien tilausten läpiajamiseen.

Kuten tietojärjestelmien yhdistämissuunnitelmassa, myös tämän kannattavuustilaston laatimisessa piti punnita tarvittavien tietojen tärkeyttä. Koska tilastoa tutkitaan vain harvoin, pitää ulkoasun olla selkeä, nopeasti ymmärrettävä ja kuitenkin sen on sisällyttävä kaikki oleellinen tieto. Siksi eri tiedot on jaettu eri välilehdille, joista näkee useamman vuoden tietoja samalta ruudulta. Ruutujen vierittäminen on pyritty rajaamaan pystysuuntaiseen, jolloin tietojen nopea selailu on huomattavasti helpompaa. Kaikissa kohdin tämä ei kuitenkaan ole ollut mahdollista esimerkiksi laajojen taulukoiden vuoksi, mutta tällöin ulkoasua on pyritty yksinkertaistamaan selkeillä linjoilla ja värien käytöllä. Suurten otsikoiden ansiosta selailija pysyy helpommin tietoisena ruudun sijainnista ja navigointi helpottuu siten huomattavasti.

## YHTEENVETO

Tässä opinnäytteessä oli kolme eri osa-aluetta, jotka ovat osaltaan kytköksissä toisiinsa muodostaen kokonaisuuden. Työn keskiössä oli UPM Rauman paperikone 2:n superkalanterit, joiden telojen värähtelyä haluttiin tutkia tarkemmin. Koneille asetetut värähtelyanturit on kytketty värähtelyä analysoivaan Sensodec 6S:ään, jossa piti värähtelytiedoille asettaa hälytysrajoja. Hälytysrajojen tarkoituksena on parantaa ja siten myös helpottaa telojen kunnonvalvontaa, jolloin alkavat viat havaitaan nopeammin ja superkalantereiden seisakkeja pystytään paremmin suunnittelemaan. Ennen järjestelmän käyttöönottoa teloja vaihdettiin useasti päivässä, yksi kerrallaan. Nykyään henkilöstö pystyy arvioimaan, kuinka kauan vioittuneella telalla uskalletaan ajaa paperia, ennen kuin tela on pakko vaihtaa. Tällöin voidaan tarkistaa myös muut telavaihtoa vaativat positiot, jolloin samalla seisakilla voidaan vaihtaa useampi tela.

Sensodec 6S:n toimittajat olivat laatineet teoriaan perustuvat hälytysrajat, joista tutkinnassa lähdettiin liikkeelle. Suunnitelmat opinnäytteen sisällöstä muuttuivat hieman, sillä kahden kuukauden tarkastelujaksolla havaittiin, etteivät rajat vaadi suurempia muutoksia, vaan toimittajan asettamat hälytysrajat olivatkin tarkoitukseen sopivalla tasolla. Tämän osion tavoitteena oli löytää hälytysrajoja, jotka hälyttävät järjestelmässä telavian ollessa oikealla kehitysasteella. Tavoitteeseen päästiin, vaikka odotettua työmäärää arvojen asettelun osalta tähän tavoitteeseen pääsemiseksi ei syntynytäkään. Lopputulokseen voi olla tyytyväinen, sillä järjestelmä toimii nyt niin kuin oli tarkoituskin. Vaivatonta seuranta ei kuitenkaan ollut, sillä se vaati erityisosaamista vian määrittelyn osalta. Tässäkin raportissa esitetyt erilaiset viat ja niiden analysointitavat piti tuntea, ennen kuin pystyi arvioimaan vian kriittisyyttä telan kuntoon. Telaston läpi kulkeutuva ylimääräinen paperinpala aiheuttaa hetkellisesti suuren värähtelyarvon, mutta sen jättämä pysyvä pinnanmuutos telassa voi olla hyvinkin pieni. Toisaalta pieni pinnan muokkautuminen heijastuu ajan saatossa muihin teloihin, joka aiheuttaa kaikkien vaikutuksen saaneiden telojen ominaisuuteen. Pahimmassa tällaisesta pienestä muokkautumisesta aiheutuu koko telapakan vaihto, joka on jo suuri kustannuskysymys.

Hälytysrajojen lisäksi superkalantereilla oli tarvetta tehostaa telojen sijaintitietojen saatavuutta. Koska vioittuneet telat hiotaan sileiksi telahuollossa, niiden halkaisijamitat muuttuvat. Halkaisijatietojen saanti ja seuranta on kriittistä, sillä kalanterilla olevan telapakan yhteenlasketun halkaisijamitan on oltava tiettyjen rajojen sisällä. Kun kaikkien telojen tiedot ovat näkyvillä, pystytään arvioimaan uusien telojen hankinnan tarvetta ennakoivasti. Tällöin vältytään tilanteelta, jossa superkalanterille ei ole sopivan kokoista telaa asennettavaksi ja turhan seisakit vähentyvät. Ongelmaksi osoittautui henkilöstön rajallinen osaaminen erilaisten tietojärjestelmien osalta, sekä tietojärjestelmien erilaiset ominaisuudet. Tämän vuoksi päädyttiin siihen, että telatiedot on helppoin saada kaikkien nähtäville eri tietojärjestelmien linkityksellä, jolloin tarvittavat tiedot siirtyvät automaattisesti järjestelmästä toiseen. Koska linkittäminen vaatii ammattitaitoa ja runsaasti aikaa, päädyttiin ratkaisuun, jossa opinnäytteen aiheena oli rakentaa teoreettinen malli järjestelmien yhdistämisestä. Haastavaa oli rajata siirrettäviä tietoja, sillä tällainen järjestely on tehtaalla uusi, eikä vastaavaa mallia ollut käytettävissä. Suurimmaksi tietolähteeksi osoittautui tehtaan henkilökunta, joka tunsi tarvitsemansa tiedot ja käyttämänsä tietojärjestelmät. Monen malliversion ja sähköpostin jälkeen lopputulokseksi kuitenkin saatiin riisuttu mutta käytännöllinen systeemi, josta löytyy kaikki tarvittava tiedonsiirto. Suunnitelma on nyt toteutukseen sopiva, sillä myös eri tiedostojen lukumuodot on otettu huomioon.

Koska päätavoitteena oli kehittää tehokkuutta, myös näkyviä tuloksia kaivattiin. Työn kolmas tehtävä oli saada värähtelyantureiden asennuksesta ja tietojärjestelmien linkittämisestä saatava hyöty esille ja ymmärrettävään muotoon. Tämä toteutettiin Excel-taulukkona, jonne syötetään kuukausittain telojen vaihtomäärät. Taulukkoon tehty pohja muokkaa syötettyjä tietoja automaattisesti erilaisiin pylväskaavioihin, joiden avulla voidaan vertailla vaihtojen määriä eri vuosina. Kannattavuutta oli vaikea saada esille ilman talouslukuja, mutta tästä huolimatta tulokseksi saatiin selkeä ja järjestelmällinen tilastointikeino. Tilasto ei ole aivan tarkka myöskään siltä osin, että se ei laske turhien telavaihtojen määrää. Oletuksena kuitenkin on, että värähtelyvalvonnan uudistumisen johdosta turhat vaihdot vähenevät, jolloin tilaston virhemarginaali pienenee. Ajan puutteessa virhemarginaalin tarkempi analysointi piti jättää huomioimatta, mutta tarkoituksena ei ollutkaan rakentaa täysin aukotonta tilastoa vaan lähinnä jälkeempään tapahtuvaa tarkastelua palvelevaksi.

Kaiken kaikkiaan tämän opinnäytteen tekeminen on ollut antoisaa ja kasvattavaa. Vaikka suunnitelmat hieman muuttuivat ja eteen tuli odottamattomiakin yllätyksiä, lopputulokseksi saatiin odotetun lainen tulos. Aihe ei ollut kovin vieras, sillä olin jo aiemmin harjoittelun aikana kunnonvalvontatehtävissä. Työtä tehdessä kuitenkin kävi ilmi, että läheskään kaikkea en ollut vielä oppinut, vaan jatkuvasti nousi esiin minulle uusia asioita. Aiemmin hankkimani pohjatieto oli kuitenkin elintärkeää, sillä värähtelytutkimus vaatii aikaa, paneutumista ja ammattitaitoa. Oli myös hienoa saada aiheeseen myös lähemmin tuotantotalouteen liittyvää asiaa kannattavuustilaston muodossa, jota oli osittain mukana myös tietojärjestelmien yhdistämisessä. Uskon, että työn aikana olen oppinut hahmottamaan suuria kokonaisuuksia ja kuitenkin ottamaan huomioon myös pienempiä yksityiskohtia.

## LÄHTEET

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2006. Paperin ja kartongin valmistus. 5. uud. p. Jyväskylä: Gummerus.

Kunnossapitoyhdistys Promaint. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media.

Kunnossapitoyhdistys ry. 2000. RCM: luotettavuuskeskeinen kunnossapito. Rajamäki: KP-tieto Oy.

Kunnossapitoyhdistys ry. 2007. Kunnossapito. 5. uud.p. Helsinki: KP-Media.

Metso. 1999. Sensodec 6S Käyttö- ja huolto-ohjeet. Luentomateriaali UPM:n tietokannassa.

Metso. 2000. Sensodec 6S, Rauma SC11-SC12 Koulutuskansio. Luentomateriaali UPM:n tietokannassa.

Metso. 2008. Calender monitoring using Sensodec 6S –system. Luentomateriaali UPM:n tietokannassa.

Metso. 2012. STA versus CTA. Luentomateriaali UPM:n tietokannassa.

Metso. 2014. PK 2 ja SC21-23 Järjestelmäkansio Sensodec 6S. Järjestelmäkansio UPM:n arkistossa.

Nohynek, P. & Lumme, V. 1996. Kunnanvalvonnan värähtelymittaukset. Rajamäki: KP-Tieto Oy.

Peltonen, H., Perkkiö, J. & Vierinen, K. 2007. Insinöörin (AMK) Fysiikka osa II. 7. uud. p. Lahti: Lahden Teho-Opetus Oy.

Prowledgen www-sivut. Viitattu 10.3.2014. <http://www.knowpap.com>

PSK 5709. Kunnanvalvonta. Toiminnan seuranta. Tunnusluvut. Condition Monitoring. Operation follow-up. Key figures. 2004. 3.p. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK.

PSK 5711. Kunnanvalvonta. Turvallisen käyttöajan ennustaminen. Condition Monitoring. Prognosis of safe operational time. 1996. 2. p. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK.

PSK 7502. Logistiikan tunnusluvut. Materiaalitoiminnot. Key Figures of Logistics. Material Function. 2002. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 17.3.2014. <http://www.psk-standardisointi.fi>

SKF. 2006. Vika-analyysi. Luentomateriaali UPM:n tietokannassa.

SKF. 2006. Värähtelymittausten perusteet. Luentomateriaali UPM:n tietokannassa.

SKF. 2007. Ympyräkuvaesimerkit. Luentomateriaali UPM:n tietokannassa.

TietoEnator. 2004. GMES Telaseuranta Rauma. Käyttöohje UPM:n tietokannassa.

UPM. 2011. GMES-koulutusversio. Luentomateriaali UPM:n tietokannassa.

UPM:n www-sivut. Viitattu 5.3.2014. <http://www.upm.com/fi/>.

## KUVA-, KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Paperin tuotantoprosessi (UPM:n www-sivut 2014).

Kuva 2. Superkalanterin perusrakenne (Prowledgen www-sivut 2014).

Kuva 3. Superkalanterin viivakuormitukset (Prowledgen www-sivut 2014).

Kuva 4. PK 2:n superkalanterin kääntönippi.

Kuva 5. Sensodec 6S:n käyttäjäliittymä ja superkalanterin hälytysrajat

Kuva 6. Pietzosähköisen kiihtyvyyssanturin rakenne (Prowledgen www-sivut 2014).

Kuva 7. Magneetilla toimivan tahdistusanturin toiminta pyörimisnopeutta mitattaessa (Metso 2014).

Kuva 8. Aikatason muodostuminen erilaisista siniaalloista (Prowledgen www-sivut 2014).

Kuva 9. Fourier-muunnosta voidaan verrata valon hajoamiseen prismassa (Prowledgen www-sivut 2014).

Kuva 10. Tahdistetun aikakeskiarvostuksen perusidea (Metso 2008).

Kuva 11. Vasemmalla lähes sopivasti keskiarvostettu ja oikealla liikaa keskiarvostettu tela-analyysi, jossa tahdistusanturi on epätarkka (Metso 2012).

Kuva 12. Yhdistelmäepätasapaino aikatasona, spektrinä ja rakennekuvana (PSK 5707,8).

Kuva 13. Yhdistelmäepätasapaino tela-analyysissä (SKF 2007).

Kuva 14. Telapinnoitteen rikkoutumisen ilmeneminen aikatasossa, spektrissä ja tela-analyysissä (SKF 2007).

Kuva 15 Telan muotoutumisen havainnointi aikatasossa, spektrissä ja tela-analyysissä (SKF 2007).

Kuvio 1. Kunnonvalvonnassa hyödynnetään kaikki saatavilla oleva tieto (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 111).

Kuvio 2. Prosessiteollisuudessa käytettävä tietojärjestelmämalli (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 246).

Kuvio 3. Koneen vikaantumista kuvaava P-F – käyrä (Prowledgen www-sivut 2014).

Kuvio 4. Fourier – muunnoksen avulla saadun spektrin yleinen esitystapa (Prowledgen www-sivut 2014).



Kuvio 5. Kunnonvalvonnan optimointi (Nohynek & Lumme 1996, 11).

Taulukko 1. Paperin ominaisuuksien muutokset kalanteroinnissa (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 204).

Taulukko 2. Kunnonvalvonnan liityntöjä yritystoimintaan (Nohynek & Lumme 1996, 11).