

Joonas Nokia

**MOMENTINMITTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU
NAUHAVALSSAUSLINJAN PÄÄMOOTTOREILLE**

Opinnäytetyö

CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Huhtikuu 2014

Yksikkö Ylivieskan yksikkö	Aika Huhtikuu 2014	Tekijä/tekijät Joonas Nokia
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi MOMENTINMITTAUSLAITTEISTON SUUNNITTELU NAUHAVALSSAUSLINJAN PÄÄMOOTTOREILLE		
Työn ohjaaja FM Joni Jämsä	Sivumäärä 56	
Työelämäohjaaja Markus Manninen		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Ruukki Metals Oy:lle Raahen tehtaalle. Työn tavoitteena oli suunnitella ja osittain toteuttaa jatkuvatoiminen momentinmittauslaitteisto nauhavalssaamon päämoottoreiden akseleille ja yhdistää se tietojärjestelmiin. Linjalla ei ole aiemmin ollut käytössä jatkuvatoimista momentinmittausta, vaan kaikki momenttitiedot on laskettu moottorien virroista.</p> <p>Ainoastaan suoran momentinmittauksen avulla voidaan seurata jakovaihteistojen momenttikermituksen jakautumista ylä- ja alavalssille, sekä tutkia tarkemmin tuotekohtaisia vääntömomenttivaatimuksia. Myös pääkäyttöjen säätöä voidaan tulevaisuudessa parantaa mittaustiedon avulla. Lisäksi mittauksista saatavaa dataa voidaan hyödyntää erityisesti kunnonvalvonnassa.</p> <p>Opinnäytetyön aikana kartoitettiin alkutilanne ja olosuhteet, selvitettiin mahdollisia laitetuottajia ja kilpailutettiin niitä. Lisäksi työhön sisältyi mekaanista sekä sähköistä suunnittelua, mittauslaitteiden kalibrointia, ja runsaasti teoreettista tutkimusta valssausenaikaisesta vääntömomentista, telemetriasta ja mittaustekniikoista. Työ loi laajan katsauksen eri aihealueisiin ja antoi hyvän kokonaiskuvan uuden laitteiston hankkimisen vaatimasta työmäärästä.</p>		
Asiasanat anturi, automaatio, momentinmittaus, sähkömoottori, telemetria, vääntömomentti		

Unit Ylivieska Unit	Date April 2014	Author/s Joonas Nokia
Degree programme Degree programme in electrical engineering		
Name of thesis PLANNING TORQUE MEASUREMENT APPARATUS TO ROLLING STRIP MILL MAIN MOTOR AXLES		
Instructor M. Sc. Joni Jämsä		Pages 56
Supervisor Markus Manninen		
<p>This thesis was made for Ruukki Metals Oy Raahe Factory. The aim for this thesis was to design, plan and partly implement a continuous torque measurement apparatus to the shafts of strip rolling mill main motors and connect the data to information systems. Previously there hasn't been any continuous torque measurement, but all torque information has been calculated from motor currents.</p> <p>Only with direct torque measurement the torque division between top and bottom rolls can be observed and to better analyze the torque requirements of specific steel products and qualities. Also the control of main motor drives may be improved with the help of torque measurement data. The data can also be useful in condition monitoring of the shafts and transmissions.</p> <p>During this thesis the starting conditions were investigated and clarified and some of the possible apparatus manufacturers and vendors were interviewed and asked for bids. The thesis also included mechanical and electrical planning, as well as calibration of measurement devices and plenty of theoretical analysis of torque changes during rolling process, telemetry and measurement techniques. This thesis created a wide overview about different areas and gave a good understanding about the different steps needed and the amount of work required to actualize a new system to an industrial plant.</p>		

<p>Key words automation, electric motor, sensor telemetry, torque, torque measurement</p>
--

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Rautaruukki Oyj ja Ruukki Metals Oy	1
1.2	Kuumanauhavalssaamo	2
1.3	Nauhalinjan päämoottorit	3
1.4	Työn esittely	4
1.5	Työn lähtökohdat ja vaatimukset	8
2	VÄÄNTÖMOMENTTI	11
2.1	Vääntömomenttianturit ja anturityypit	17
2.2	Mittaukset ja mittaustuloksia	25
3	SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	29
3.1	Anturivalmistajan valinta	29
3.2	Testilaitteisto	34
3.3	Perusarkkitehtuurin suunnittelu	37
3.4	Yhteys tietojärjestelmään	38
3.5	Kotelointi, kannakointi ja muut suojaustoimenpiteet	44
3.6	Kaapeloinnit	50
4	YHTEENVETO	52
	LÄHTEET	54
KUVIOT		
KUVIO 1	Kuumanauhavalssaamon tuotanto	3
KUVIO 2	F5 Pääakseli	6
KUVIO 3	F1 Kardaaniakselit	6
KUVIO 4	F3 Kardaaniakselit	7
KUVIO 5	Momentin huippu- ja keskiarvot	13
KUVIO 6	TAF-arvot	14
KUVIO 7	Venymäliuska-anturi	19
KUVIO 8	Anturikokoonpano	20

KUVIO 9 Teräspanta	23
KUVIO 10 Momenttikäyrä 1	26
KUVIO 11 Momenttikäyrä 2	26
KUVIO 12 Momenttikäyrä 3	27
KUVIO 13 Momenttikäyrä 4	27
KUVIO 14 Momenttikäyrä 5	28
KUVIO 15 Momenttikäyrä 6	28
KUVIO 16 Demodulaattorivahvistimet	33
KUVIO 17 Testilaitteisto	35
KUVIO 18 Demodulaattorivahvistin	35
KUVIO 19 Layout	38
KUVIO 20 Tietojärjestelmät	39
KUVIO 21 IbaPadu - moduuli	41
KUVIO 22 Pääakselien kannake	47
KUVIO 23 Kardaaniin kannake	49
TAULUKOT	
TAULUKKO 1 Teknisiä tietoja	30
TAULUKKO 2 Laitteistojen hintoja	33

1 YLEISTÄ

1.1 Rautaruukki Oyj ja Ruukki Metals Oy

Tämä opinnäytetyö tehtiin Ruukki Metals Oy:n Raahan tehtaan kuumanauhavalssaamolle. Työn tavoitteena oli kartoittaa, suunnitella ja osittain toteuttaa toimiva momentinmittaus nauhavalssausrinjan päämoottoreiden akseleille. Haluan kiittää nauhavalssaamon henkilöstöä avusta ja asiantuntemuksesta, sekä tästä tilaisuudesta tehdä opinnäytetyö ainutlaatuisessa kohteessa.

Rautaruukki toimittaa asiakkailleen energiatehokkaita teräsratkaisuja, ja niistä voidaan tehdä paremmin rakennettuja ympäristöjä asumiseen, työhön ja liikkumiseen. Yhtiöllä on toimintaa noin 30 maassa ja henkilöstöä noin 11 800. Liikevaihto vuonna 2012 oli 2,8 miljardia euroa. Osake on noteerattu NASDAQ OMX Helsingissä. Yhtiö käyttää markkinointinimeä Ruukki. (Rautaruukki Oyj 2013.)

Rautaruukki Oyj yhtiöitettiin vuonna 2011. Uudet tytäryhtiöt jaettiin liiketoiminta-alueittain. Ruukki Construction on keskittynyt rakentamiseen, Engineering konepajaliiketoimintaan sekä Metals terästen valmistamiseen. (Rautaruukki Oyj 2013.)

Ruukki Metalsin vastuulla ovat Ruukin terästuotteet sekä niihin liittyvät esikäsittely-, logistiikka- ja varastointipalvelut. Teräслиiketoiminnan painopisteet ovat erikoisterästuotteisiin perustuvan liiketoiminnan kehittäminen, kustannustehokkuus sekä markkina-aseman vahvistaminen

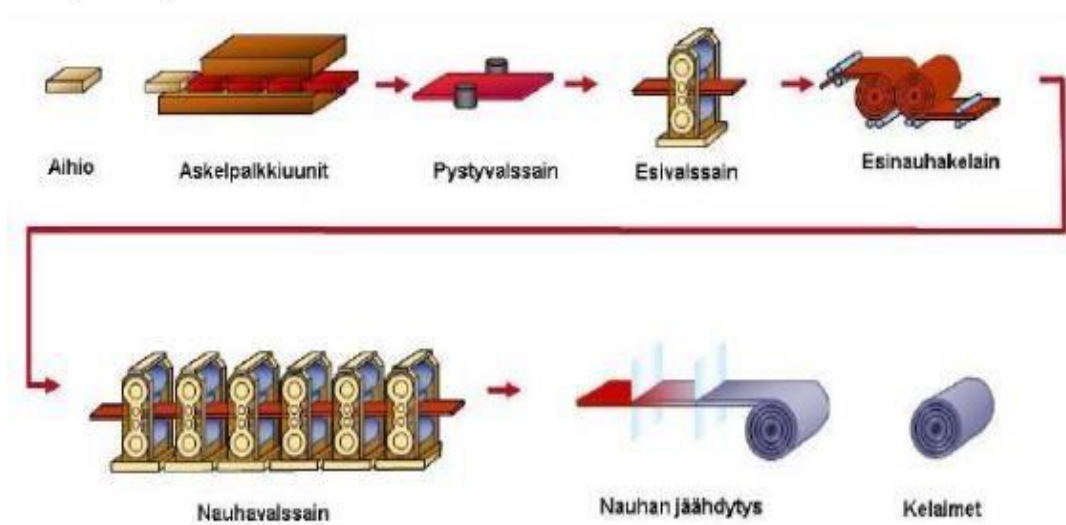
Pohjoismaissa ja Baltiassa. Yhtiön strategiana on nostaa erikoisterästen osuus Metalsin liiketoiminnasta 60 %:iin. Vuonna 2012 vastaava osuus oli reilu kolmannes. (Rautaruukki Oyj 2013.)

Terästuotteita ovat kuuma- ja kylmävalssatut terästuotteet, metalli- ja maalipinnoitetut teräkset sekä putket, palkit ja profiilit. Erikoisterästuotteita ovat erikoislujat rakenneteräkset, kulutusta kestävät ja erikoispinnoitetut teräkset sekä suojausteräkset. (Rautaruukki Oyj 2013.)

1.2 Kuumanauhavalssaamo

Sulatoilta toimitettavat aihiot kuumennetaan ensin askelpalkkiuuneissa. Askelpalkkiuuneja on kaksi, ja molemmat ovat tuotantokapasiteetiltaan 300 t/h. Uunista lastataan punahehkuinen aihio tuotantolinjalle. Pystyvalssaimella tehdään esinauhan, sekä lopputuotteen oikea leveys. Esivalssaimella noin 200mm paksu aihio valssataan 28-50mm paksuksi esinauhaksi pääsääntöisesti seitsemällä pistolla, mutta joissain tapauksissa myös viidellä. Suurin osa esinauhoista kelataan coilboxiin eli esinauhakelaimeen esinauhan lämpötilan vakioimisen takia. Coilbox myös mahdollistaa nykyisen jopa 30 tonnin kelakoon.

Nauhavalssi koostuu kuudesta valssituolista, joissa esinauhasta valssataan halutun paksuinen teräsnauha jonka loppupaksuus on 1,5mm ja 25mm välillä. Ennen kelausta nauha jäähdytetään hallitusti jäähdytysvyöhykkeellä. Kuvio 1 havainnollistaa prosessin kulkua yksinkertaistettuna kaaviona. (Rautaruukki Oyj 2007.)



KUVIO 1. Kuumanauhavalssaamon tuotanto. (Rautatuukki Oyj 2007.)

Tämä opinnäytetyö keskittyy kuvassa näkyvään nauhavalssaimeen ja sen päämoottoreiden akseleihin.

1.3 Nauhalinjan päämoottorit

Nauhavalssilinjalla on käytössä kahta eri sähkömoottorityyppiä. Vanhemmat koneet ovat 70-luvulta peräisin olevia tasasähkökoneita ja niitä on käytössä valssituoleilla F1, sekä F4-F6. Ne ovat vierasmagnetoituja ja moottorit on varustettu kompensointi- ja kääntönapakäämityksillä, jotka on kytketty sarjaan ankkuripiirin kanssa. Ankkuripiirin summavirrat ovat kiloampeerien luokkaa ja ankkuripiirin jännitettä voidaan säätää nopeuden mukaan magnetointiin vaikuttamatta. Lisäksi magnetointia voidaan säätää itsenäisesti. Ankkuri- ja magnetointipiirien itsenäisillä säädöillä tuotetaan koneelle tarvittavat säätöominaisuudet nollosnopeudesta maksiminopeuteen asti. (Hietala, H. 2003.) Näistä kolmen koneen teho on 4500 kW per kone ja valssilla F6 moottorin teho on 3750 kW. Koneet kuitenkin toimivat eri kierrosnopeusalueilla

ja tästä johtuen niiden pääakseleiden momentit poikkeavat suuresti toisistaan, varsinkin kun F1 moottorilla on alennusvaihte, joka nostaa pääakselin momentin jopa 3,5 MNm asti.

Valssituoleilla F2 ja F3 on käytössä uudemmat, 90-luvun tahtikoneet. Näiden tehot ovat jopa 15000 kW ja nämäkin koneet toimivat toisistaan poikkeavilla kierrosnopeusalueilla. Tästä johtuen momentitkin ovat poikkeavia. F3 moottorin akselilta saadaan jopa 1,8 MNm ilman vaihteiston apua. F2 ja F3 koneet suorittavat suurimmat muokkaukset nauhatuotteeseen ja siksi niillä esiintyvät momenttipiikit ja rasitukset ovat kaikkein suurimmat. Viimeisimmät akselirikot ovat tapahtuneet juuri F3 nivelkardaaneilla, joten momentinmittaustietoa on hyvin tärkeä saada varsinkin sieltä.

Päämoottoreina toimivat tahtikoneet ovat sähköisesti magnetoituja, eli magnetointi suoritetaan liukurenkaiden kautta tasasähkön avulla. Sähköinen magnetointi mahdollistaa lähes viiveettömän säädön, joka on tärkeä valssaimen päämoottoreissa. Käytännössä tahtikoneen roottori on pyörivä tasasähköllä magnetoitu magneetti. Moottorit ovat umpinapaisia ja niitä ohjataan syklokonvertterikäyttöillä. (Hietala 2003.)

1.4 Työn esittely

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja osittain toteuttaa toimiva momentinmittauslaitteisto kuumanauhavalssauslinjan kuudelle päämoottorille. Työssä keskityttiin erityisesti valssituoli F3 akseleihin, joilla on viimeksi sattunut kalliita akselirikkoja. Työ sisälsi laitteistojen valinnan lisäksi

kaapelointien, anturien sijoittelun, kannakoinnin, sekä signaalitiedon automaatioon yhdistämisen suunnittelun. Työn aikana tutustuttiin eri momenttimittausmenetelmiin, antureihin, telemetrialaitteisiin, ja niiden valmistajiin, sekä olin mukana asentamassa laitteistoja paikalleen. Alun perin työ sisälsi myös eri valmistajien anturi-, sekä telemetrialaitteiden testausta ja vertailua keskenään, mutta useamman valmistajan laitteistojen testaus päätettiin jo toisen viikon aikana jättää kustannusteknisistä ja laitteistojen samankaltaisuudesta johtuen pois, sillä mittaustuloksista ei uskottu saatavan niin selkeitä eroja saman hintaluokan laitteiden kesken, että niistä olisi voitu löytää mittaustuloksiltaan merkittävästi parempi ratkaisu. Tästä syystä suoritin laitteistojen vertailun teknisten tietojen perusteella ja sitä kautta valikoin olosuhteisiin sopivan, sekä aika- että budjetti-ikkunaan sopivan ratkaisun. Kalliimmat vaihtoehdot kuitenkin kartoitin mahdollisuuksien mukaan kehitysmahdollisuuksien takia.

Nauhavalssilla on kaiken kaikkiaan 18 eri akselia, joista momenttia oli tarve mitata. Näistä akseleista kuusi on moottoreilta lähteviä pääakseleita, jotka ovat halkaisijaltaan kokoluokkaa 900-1320mm. Moottorit itsessään sijaitsevat erillisessä moottorihuoneessa ja niiden pääakselit tulevat seinän läpi tuotantolinjalle ja ovat siksi varsin pitkiä, suuria ja painavia. Kaikki pääakselit päättyvät omaan jakovaihteistoonsa, joka jakaa momentin pääakselilta kahdelle kardaaniakselille. Kardaanit puolestaan pyörittävät valsseja. Kaksi näistä akseleista on nivelettömiä kardaaniakseleita, jotka sijaitsevat ensimmäisellä valssituolilla F1. Näiden akselien halkaisijat ovat noin 500mm. Nämä akselit ovat nähtävissä kuvioissa 2 ja 3.



KUVIO 2. Valssin F5 pääakselin pää ja oikealla jakovaihteisto.



KUVIO 3. Kardaaniakselit valssituolilla F1. Jakovaihteisto ja kytintä suojaava häkki oikealla.

Loput 10 akselia ovat nivelöityjä kardaaniakseleita. Näissä akseleissa on niin kutsuttu CVC –säätö (Continuous Variable Crown), jossa valsseja liikutetaan niiden pituussuunnassa toistensa suhteen. Tämä säätö on tärkeä valssausprofiilin geometrian kannalta ja se toteutetaan kardaaniakseli-

pituutta muuttamalla. Tämä liike toi suurimman haasteen momentinmittausanturoinnin toteuttamiselle kaikille nivelakseleille. Nivelakseleita on linjalla kahden tyyppisiä. Kuviossa 4 havainnollistetut akselit ovat käytössä valssituoleilla F2 ja F3. Tässä kardaanityypissä momenttia välittävä akseli päättyy valssituolin puolella olevaan ”hihaan”, jonka sisällä akseli liikuu CVC -säätöä tehtäessä. Näistä valssituolien F2 ja F3 kardaaneista momenttia voidaan mitata vain CVC -liukupinnan jakovaihteiston puolelta ja mitattavan alueen leveys on noin 20cm. Anturit on näillä akseleilla pakko sijoittaa juuri tähän, sillä muista kohtaa kardaania ei saa oikeaa momenttitietoa, sekä kytkinten ja nivelten kohdalle antureita ei voi sijoittaa.

Valssituoleilla 4-6 on käytössä hieman toisenlainen kardaani, jossa ”hiha” sijaitsee jakovaihteiston puolella ja momentinmittaukselle otollinen alue sijaitsee lähempänä valssituolia. Nämä akselit olivat työn kannalta haastavimpia ja niille ei kaikilta valmistajilta löytynyt sopivaa ratkaisua.



KUVIO 4. Kardaaniakselit valssituolilta F3.

Varsinaisen automaation liittymisen lisäksi opinnäytetyöhön tuli lisänä selvittää momentinmittaustietojen mahdollinen yhdistäminen nauhavalssaamalla käytössä olevaan Metson Sensodec- kunnonvalvontajärjestelmään. Tämä järjestelmä on täysin erillään muista ja tämän vaihtoehdon kartoittamista varten olin yhteydessä myös Metsoon.

Opinnäytetyön aikana olin hyvin paljon tekemisissä myös Ruukilla jo olemassaolevien testilaitteistojen kanssa, joita on käytetty tarpeen mukaan eri paikoissa momentin mittaukseen. Tätä laitteistoa olin mukana asentamassa ja käyttöönottamassa F1 kardaaniakseleille toisen projektin takia.

1.5 Työn lähtökohdat ja vaatimukset

Kuten aiemmin todettiin, Raahen terästehtaan nauhavalssausrinjan koostuu kuudesta valssituolista, joista käytetään yleisesti nimityksiä F1-F6. Nauhan valssituolien päämoottorien voimanjako on toteutettu moottorilta lähtevillä pääakseleilla, jotka on kytketty jakovaihteistoon, jossa voima jaetaan kahdella akselilla ylä- ja alavalssille. Näin on toteutettu F3-F6. Tuoleilla F1 ja F2 on käytössä lisäksi alennusvaihte, joka nostaa valsseilta ulos saatavan vääntömomentin korkeammaksi. Nämä alennusvaihteet sijaitsevat moottorihuoneen puolella ja niiltä tulevat pääakselit liittyvät kuvissa näkyviin jakovaihteistoihin.

Linjalla ei aiemmin ole ollut käytössä anturimittauksiin perustuvaa jatkuvaa momentinmittausta, vaan tuotettu momentti laskettiin vain päämoottoreiden virroista. Vain valssituolin F6 pääakselilla oli jonkin aikaa ollut asennettuna vanhempaa mallia oleva väliaikainen, siirrettävä testilaitteisto, joka on

kiinnitetty paikalleen lasikuituteipillä. Tältä anturilta oli saatavilla jo jotain dataa, mutta tämä anturi oli yhdistetty järjestelmään, jonka näytteenottotaajuus ei ole riittävä kaikkien momenttipiikkien havaitsemiseen. Virroista laskemalla ja tällä väliaikaisella momentinmittauksella momentista ei voida luotettavasti havaita vaihteistoja ja akseleita rasittavia momenttipiikkejä, jotka saattavat joissain tapauksissa aiheuttaa kalliita vaurioita. Ainoastaan suoran momentinmittauksen avulla voidaan seurata välivaihteistojen kuormituksen jakautumista ylä- ja alavalssille, sekä tutkia tarkemmin tuotekohtaisia vääntömomenttivaatimuksia. Myös pääkäyttöjen säätöä voidaan parantaa mittaustiedon avulla. Lisäksi saatavaa dataa voidaan hyödyntää erityisesti kunnonvalvonnassa, ja se olikin yksi tämän työn tulosten jatko- ja kehittymismahdollisuuksista. (Manninen 2013.)

Laitteiston valinnassa oli huomioitava vaativat olosuhteet kuten lämpötila, lika, värinä, akseleiden halkaisijat ja akseleiden mekaaniset liikkeet. (Manninen 2013.)

Vaikka kuvien kohteissa esiintyy lämpökameralla mitattuja, paikoitellen jopa 65 °C lämpötiloja akseleilla, ja jakovaihteistosta tihkuvaa öljyä ja muuta likaa, niin ainoastaan akseleiden halkaisijat ja niiden liikkeet tuottivat haasteita työn kannalta.

Vaatimuksina laitteistolle asetettiin jatkuvatoimisuus, varmuus ja mahdollisimman suuri huoltovapaus. Nämä tarkoittavat käytännössä sitä, että mittauksessa ja signaalinsiirrossa ei saisi esiintyä häiriöitä, jotka voivat johtua akselin vieressä sijaitsevan mittapäävastaanottimen värinästä, sekä akselin liikkeistä johtuvista vastaanottopään ja akselilla sijaitsevan antennin liikkeestä toistensa suhteen. Muita syitä informaatiokatkoon voivat tuki olla kaapelirikot,

mutta ne ovat huomattavasti epätodennäköisempiä. Varmuudella taas tarkoitetaan mittaustiedon luotettavuutta ja häiriöherkkyttä, jotka liittyvät anturien oikeaan asennustapaan, sekä kaapelissa kulkevan signaalin häiriintymiseen.

Signaalin häiriintymistä pyrin estämään oikeilla kaapelivalinnoilla. Huoltovapaudella haettiin sitä, että momentinmittauslaitteisto ei tarvitsisi huoltoa ja tarkkailua joka viikko tai edes joka kuukausi. Tämä käytännössä eliminoi osan ratkaisuista pois.

2 VÄÄNTÖMOMENTTI

Vääntömomentti on yksi tärkeimmistä valssausparametreista. Valssauksen vaatima voima välitetään käyttömootoreilta valsseihin voimansiirron avulla. Korkea tuottavuus sekä laatu vaativat jatkuvaa tasaista voimantuottoa. Käytännössä valssien käytöt joutuvat kuitenkin erilaisten dynaamisten rasitusten alaisiksi. Erityyppiset iskut, valssaussuunnan muutokset, vääntövärähtelyt, valssien muodonmuutokset ym. vaikuttavat heikentävästi lopputuotteen laatuun, sekä tuotantolaitteiden käyttöikään. (Mackel & Fieweger 2010.)

Momenttia tarvitaan nauhavalssilinjalla muokattavan materiaalin kuljettamiseen halutulla nopeudella valssiparien välistä, sekä materiaalin samanaikaiseen muokkaamiseen. Vääntömomentti tuotetaan aiemmin mainittujen sähkömoottorien avulla, jotka on kytketty akselien välityksellä valsseihin. Vääntömomenttiin vaikuttava voima on materiaalin muokkaamiseen tarvittava valssausvoima.

Tämä voima vaihtelee paljon ja nopeasti varsinkin silloin, kun nauhan etupää saapuu valssiparille. Saapuminen aiheuttaa valsseihin ja sitä kautta akseleille ja jakovaihteistolle tulevan momenttipiikin eli iskun.

Moottorissa asti nämä piikit eivät näy kokonaisuudessaan, sillä akseleissa on suuri pyörivä massa ja sitä kautta hitaus, joka suodattaa iskun. Lisäksi vaihteistossa on hieman välyksiä, jotka myös vaikuttavat tähän. Näistä syistä moottorin virroista mitattava ilmvälimentti ei vastaa tarkasti hetkellisiä arvoja. Lasketut jatkuvat momentit ovat kuitenkin suoraan verrannollisia

valsseja pyörittävän moottorin virtaan, joka on kiloampeeriluokkaa. Sähköinen vääntömomentti voidaan laskea tasavirtakoneille kaavalla.

$$T = c * I_a * \emptyset$$

Jossa T on momentti, c konekohtainen vakio, I_a ankkurivirta ja \emptyset magneettivuo. (Korpinen 1998.)

Tahtikoneille voidaan soveltaa yleistä pyörivän koneen tehon kaavaa.

$$T = \frac{P}{2\pi n}$$

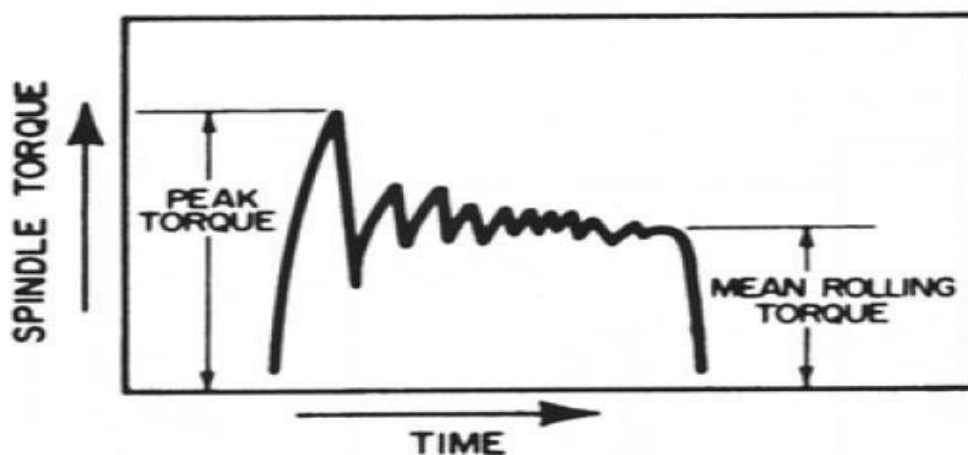
Jossa T on momentti, P ilmaväliteho ja n on kierrosluku sekunnissa. (Niiranen 2000.)

Kun momenttia siirretään moottorilta valsseihin, akseleihin ja kytkimiin syntyy vääntöjännityksiä. Niiden suuruus riippuu valssien nauhaan tekemästä työstä, nauhan ja valssaimen osien fyysisistä ominaisuuksista sekä systeemin dynaamisesta käyttäytymisestä johtuvista jaksottaisista venymisistä. Vääntömomentin mittauksella pystytään estämään valssaimen osien yllirasittuminen ja siitä johtuvat äkilliset rikkoontumiset sekä ennenaikaiset väsymiset. Näin pystytään vähentämään suunnittelemattomia huoltoseisokkeja. (Frantz 1981.)

Valssausprosessin aikana dynaaminen vääntöjännitys on korostuneempi kuin staattinen vääntöjännitys. Dynaaminen vääntöjännitys riippuu valssausparametreista ja valssaimen rakenteesta, kun taas staattinen vääntöjännitys riippuu valssattavan nauhan ominaisuuksista.

Vääntöjännityksen huippuarvo saavutetaan muutama millisekunti sen jälkeen, kun nauha on saapunut valssikitaan. Huippuarvo voi olla moninkertainen valssausmomentin keskiarvoon nähden. (Frantz 1981.)

Valssausvääntömomenttiin liittyy myös lyhenne TAF (Torque Amplification Factor) eli momentinvahvistuskerroin, joka kuvaa vääntömomentin huippuarvon ja keskiarvon suhdetta (KUVIO 5). Sen matemaattinen esitys on lausekkeessa kuvion alapuolella.



KUVIO 5. Momentin huippu- ja keskiarvo. (Honjyo & Watanabe 1975.)

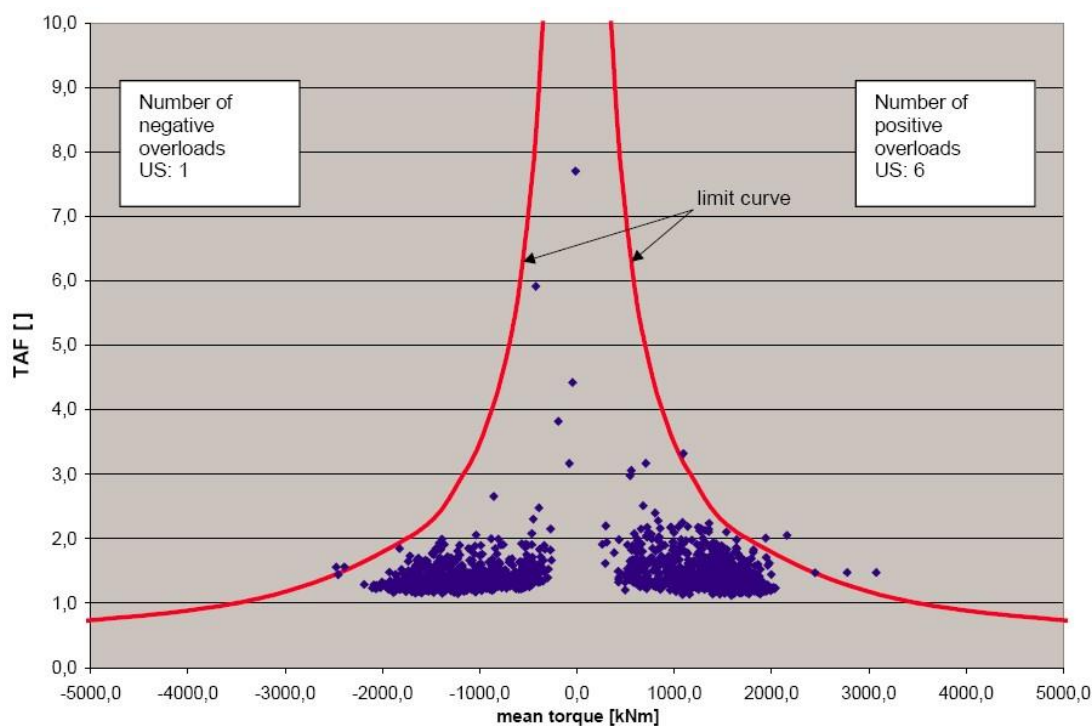
$$TAF = \frac{M_p}{M_{av}},$$

Jossa M_p on vääntömomentin huippuarvo ja M_{av} on vääntömomentin keskiarvo. (Snively & Black 1964)

TAF -arvon suuruus riippuu systeemin hitausmomenteista ja jousivakioista. Yksinkertainen värähtelysystemi sisältää ainoastaan yhden jousen ja sen päässä olevan massan. Valssaimissa puolestaan systemi voi olla hyvin monimutkainen, jonka massoina ovat moottorit, vaihteistot, kytkimet ja valssit.

Massat toisiinsa yhdistävät akselit toimivat puolestaan jousina ja tavallisesti ne kuvataan massattomiksi. Monimutkaisen systeemin vuoksi TAF arvo voi kasvaa hyvin suureksi aiheuttaen vääntöväärähtelyä jollakin systeemin ominaistajuudella. (Peterson 1964.)

TAF -arvo ei kuitenkaan suoraan kerro haitallisista kuormituksista, vaan ainoastaan kuormituksen muutoksesta. Näin ollen korkeatkin TAF -arvot voivat olla turvallisia, jos keskimääräinen valssausmomentti on hyvin pieni (KUVIO 6). (Krumbach, Mackel, Farkas & Schaaf 2004.)



KUVIO 6. Akselilta mitattuja TAF-arvoja, punaisella on esitetty akselin rasituksen raja-arvokäyrä. (Krumbach ym. 2004.)

TAF -arvon suuruuteen vaikuttavat monet tekijät, jotka voidaan jaotella puhtaasti iskumaisiin, sekä valssaimen käytöstä ja kunnossapidosta johtuviin iskuihin. Puhtaasti iskumaisia tekijöitä ei voida välttää, mutta niiden

suuruuteen voidaan vaikuttaa valssaimen käytön ja kunnossapidon avulla. (Honjyo & Watanabe 1975.)

Iskumaisuutta voivat aiheuttaa:

- nauhan syöttönopeus valssikitaan
- valssaimen mekaaninen rakenne ja
- moottorinohjauksen vaste.

Valssaimen käytöstä ja kunnossapidosta johtuvia tekijöitä ovat:

- synkronointi valssien ja nauhan välillä
- synkronointi valssituolien välillä
- itseherätteinen värähtely voimansiirrossa
- voimansiirron välykset
- lämpötilan epätasaisuus nauhassa, sekä
- epäsuhta ylä- ja alavalssin vääntömomentin välillä. (Honjyo & Watanabe 1975.)

Nauhan syöttäminen valssikitaan valssien pyörimisnopeudesta poikkeavalla nopeudella aiheuttaa valsseihin pyörimisnopeuden muutoksen. Vastaavasti myös nauhan nopeus muuttuu. Jos nauhan nopeus sen saapuessa valssikitaan on valssien pyörimisnopeutta suurempi, osa liike-energiasta muuttuu nauhan muodonmuutostyöksi. Tällöin valssien pyörimisnopeuden kasvaessa moottorin vääntömomentti ei välitykään valssille, jolloin valssikaulan ja siihen liitetyn kytkimen välille syntyy välystä. Valssien nopeuden laskiessa valssausnopeuteen vääntömomentti poistaa välykset aiheuttaen voimakkaan iskumaisen vääntömomentin kasvun. (Monaco 1977.)

Valssikaulan lisäksi myös muiden kytkimien ja vaihteiden välykset voivat aueta, jos valsseihin vaikuttava isku saa aikaan negatiiviseen suuntaan vaikuttavan kiertymän. Tällöin välysten kiinniottaminen aiheuttaa voimakkaan

iskun siihen koneenosaan, jossa välys sijaitsee. Voimakkaimmillaan isku on silloin, kun kyseinen koneenosa sijaitsee värähtelyn solmukohdassa. Välysten suuruus on suoraan verrannollinen TAF -arvon suuruuteen. Esimerkiksi valssikaulan kytkimen välyksen suureneminen nelinkertaiseksi kulumisen vuoksi aiheuttaa TAF:n kaksinkertaistumisen. Kunnossapitotoimien yhteydessä tuleekin tarkkailla valssikaulan lisäksi välysten suuruutta nivelakseleissa ja hammaskäytöissä. Erityisesti hammaskäyttöjen tarkastuksessa huomio kannattaa kiinnittää hampaan kuormittamattomalle puolelle, jonka mahdollinen kuluminen antaa viitteitä voimakkaiden vääntöväärähtelyjen esiintymisestä. (Wachel & Szenasi 1993.) (Wright 1981.)

Valssaimen mekaanisessa rakenteessa suurin vaikutus TAF -arvoon on systeemin hitausmomenteilla ja jousivakioilla. Valssien hitausmomentti vaikuttaa suoraan valssien pyörimisnopeuden muutokseen nauhan saapuessa valssikitaan. Valssien kokoa suurentamalla saavutetaan suurempi hitausmomentti ja pienempi TAF -arvo. (Honjyo & Watanabe 1975.)

Moottorinohjaus voi aiheuttaa vääntömomentin nopeaa vaihtelua, jos ohjauksen vaste on hyvin nopea. Tällöin nopeuden mittausjärjestelmä reagoi hyvin nopeasti valssausnopeuden muutokseen ja muuttaa moottorin vääntömomenttia, kunnes ennalta asetettu valssaus-nopeus on jälleen saavutettu.

Valssausnopeuden saavuttamisen jälkeen systeemiin varastoitunut vääntöjännitys purkautuu ja muuttaa jälleen valssien pyörimisnopeutta aikaansaaden moottorinohjaukselta uuden käskyn korjata nopeutta. (Honjyo & Watanabe 1975.)

TAF -arvon merkitys korostuu siinä, että koneenosat kestävät yleensä hyvin korkeitakin staattisia kuormia, mutta vaihtuvat kuormat aiheuttavat rakenteiden ennen aikaista väsymistä. (Wright 1976.)

TAF -arvoja ja momenttikäyriä on esitetty käytännössä mittaustuloksia kappaleessa.

2.1 Väätömomenttianturit ja anturityypit

Akseleiden väätömomentin mittaukseen kehitetyt menetelmät voidaan perinteisesti jakaa kahteen pääryhmään: akselin väätökulman mittaukseen perustuvat anturit, sekä akselin väätöjännityksen mittaukseen perustuvat anturit. Lisäksi on ainakin olemassa vielä kehitysvaiheessa oleva Barkhousen kohinaan perustuva väätömomentin mittaustapa, mutta sille ei löytynyt kaupallisia sovelluksia, joten jätän sen käsittelemättä tässä opinnäytetyössä.

Väätökulmaan perustuvia antureita ovat optiseen analogiatekniikkaan perustuvat menetelmät, vaihetekniikkaan perustuvat menetelmät ja värähtelevään kieleen perustuvat menetelmät.

Optiseen analogiatekniikkaan perustuvassa menetelmässä akselille kiinnitetään kaksi rei'itettyä kiekkoa. Valonlähde lähettää valoa reikien läpi valokennolle. Kiekot on asetettu siten, että akselin ollessa kuormittamaton n. 25% valon määrästä pääsee reikien läpi. Kuormitetussa akselissa kiekkoilla olevat reiät säätelevät niiden läpi menevää valoa akseliin vaikuttavan väätömomentin suhteessa. Valon määrä mitataan kahdella valokennolla samanaikaisesti useamman sulkimen kohdalla. (Koivuviita 1997.)

Vaihetekniikkaan perustuvassa menetelmässä akselin kiertymäkulman mittausta suoritetaan kahdella valokennotyyppisellä anturilla, jotka lukevat akseliin kiinnitettyjä lovettuja kiekkoja. Akselin pyöriessä antureilta saadaan jaksollinen pulssijono. Vääntömomentti aiheuttaa akselissa kiertymäkulman muutoksen muuttaen samalla kahden pulssijonon välistä vaihe-eroa, joka mitataan. Pulssiantureina voidaan käyttää magneettisia tai valosähköisiä antureita. (Koivuviita 1997.)

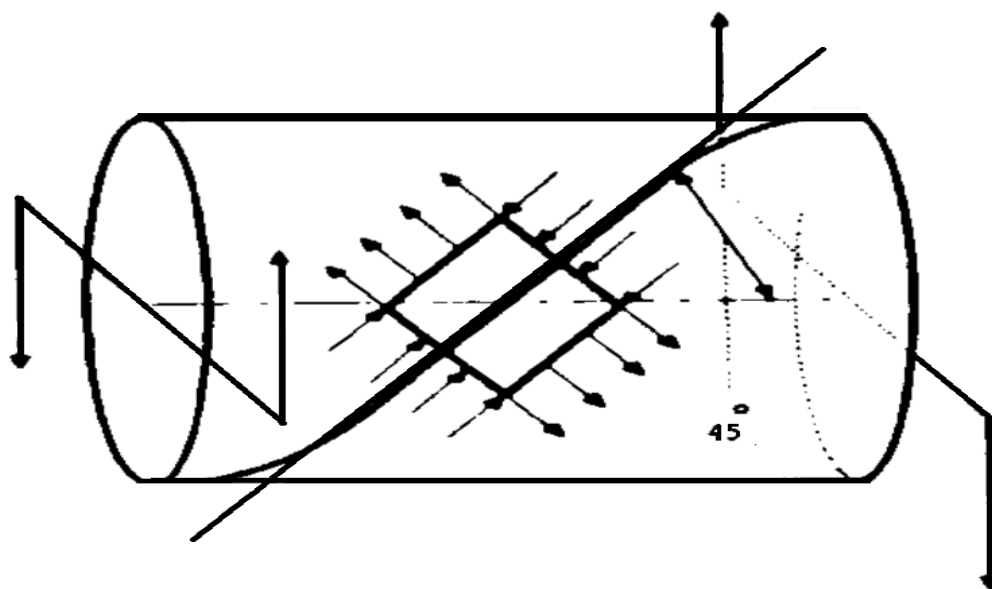
Värähtelevään kieleen perustuvissa menetelmissä on akselille kiinnitettyjen kauluksien väliin kiristetty kielijousi, joka saatetaan värähtelemään resonanssitaajuudellaan. Kun akseliin vaikuttaa vääntömomentti aiheuttaen kieleen jännitysmuutoksen, muuttuu myös kielijousen resonanssitaajuus. Kielijousen taajuus ilmaistaan radiolähettimillä. Vastaanottimessa on vertailukieli, joka on viritetty kuormittamattomien akselikielien värähtelytaajuudelle. Vertaamalla akselikielien taajuutta vertailukielen taajuuteen saadaan erottaajuus, joka on verrannollinen akselin kiertokulmaan ja momenttiin. (Koivuviita 1997.)

Nykyään yleisin vääntömomenttianturityyppi on akselin vääntöjännityksen mittaukseen perustuva venymäliuska-anturi. Tämä tyyppi on rakenteeltaan ylivoimaisesti yksinkertaisin, pienin, sekä huoltovapain. Kaikki kaupalliset sovellukset tämän opinnäytetyön kohteen tapaisiin sovelluksiin olivat venymäliuskatyyppisiä. Venymäliuskat ovat yleisin toteutustapa myös pienemmissä kohteissa.

Samankaltainen resistanssin muutoksiin perustuvan venymäliuska-anturin kanssa on magnetoelastinen anturi, joka perustuu magneettivuon muutoksiin anturissa. Muutokset johtuvat ulkoisen voiman tai väännön vaikutuksesta.

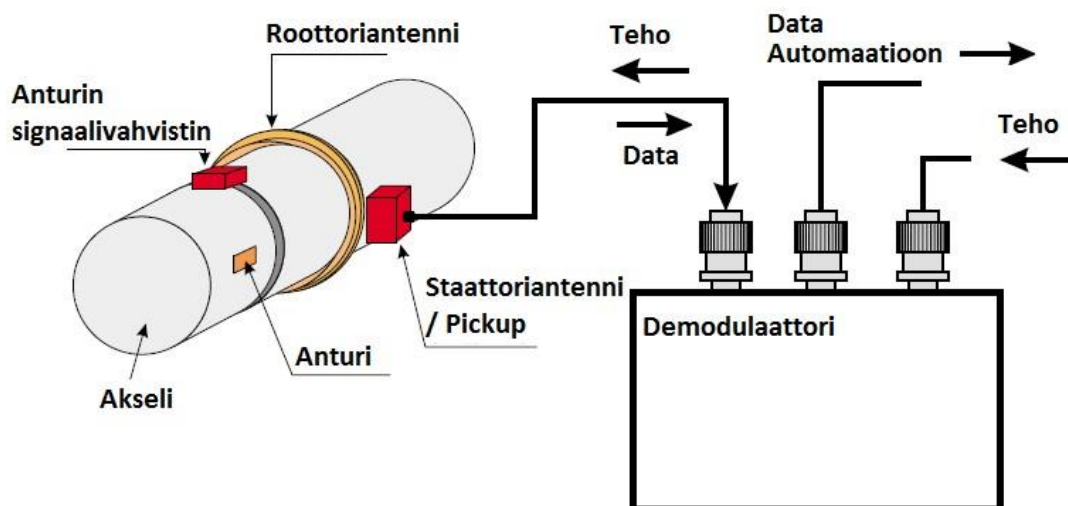
Magnetoelastiset anturit toimivat joko kuristin- tai muuntaja-asetuksella. Muuntaja-asetus on huomattavasti käytännöllisempi, varsinkin kun ensiökäämeillä on virransyöttö. Kuitenkin tämäntyyppiset anturit ovat herkkiä magneettiselle pölylle, jota Ruukilla on runsaasti, joten tämän tyyppiset anturit eivät tule kysymykseen, kuin paitsi ehkä vaihdelaatikoiden sisäisessä momentinmittauksessa. (Baumann 1976.) (Schulze 2014.)

Venymäliuska-anturissa vääntömomentin kuormittaman akselin pinnassa syntyy kuvion 7 mukainen jännitystila. Sylinterin pinnasta erotetussa neliönmuotoisessa alkiossa, jonka sivut muodostavat 45° :n kulman sylinteripinnan sivuviivan kanssa vaikuttaa kahdessa vastakkaisessa reunassa puristus ja kahdessa muussa yhtä suuri vetojännitys. Kiinnittämällä venymäliuskat jännitysten suuntaisesti ja kytkemällä liuskat Wheatstonen siltaan voidaan mitata vääntömomentin aiheuttamaa venymää tai puristumaa akselin pinnalla. (Koivuviita 1997.)



KUVIO 7. Akseli ja Wheatstonen silta -tyyppinen venymäliuska-anturi. (Koivuviita 1997.)

Vääntömomenttianturilta saatava mittaviesti siirretään akselilta vastaanotinosaan yleensä pyörivän muuntajan avulla. Toinen, vanhempi toteutustapa, on käyttää liukurenkaita, mutta ne altistuvat jatkuvasti mekaaniselle hankaukselle ja sitä kautta jossain vaiheessa ovat ylimääräinen huoltokohde. Tämän takia huoltovapaa pyörivä muuntaja on syrjäyttänyt liukurenkaat. Pyörivällä muuntajalla tarkoitetaan sitä, että akselin ympärille kiedotaan kuparilankaa, joka toimii sekä lähetysantennina signaalinsiirrossa, että virran vastaanottopäänä. Akselin viereen, noin 10-25mm päähän, asennetaan signaalin vastaanottopää eli "pick-up", joka myös syöttää virtaa akselilla oleviin käämeihin induktiivisesti koskematta itse akseliin.



KUVIO 8. Anturikokoonpanon periaatekuva.

Venymäliuska-anturien asennustapa akselille riippuu siitä, että käytetäänkö Full bridge-asennusta vai jotain sen osaa. Full Bridge, eli täyssiltaasennuksessa venymäliuskat asennetaan akselilla tarkalleen akselin vastakkaisille puolille niin aksiaalis- kuin poikittaissuunnassakin. Vain tällä tavalla tarkasti asennuspaikat mittaamalla, antureista saadaan kaikki venymätieto ja tätä kautta vääntömomenttieto selville.

Muita vaihtoehtoja virransyöttöön ovat akkuparistot. Nämä eivät kuitenkaan sovellu pitkäaikaiseen asennukseen, sillä yhden pariston käyttöikä oli valmistajasta riippuen kymmenistä tunneista pariin päivään. Tämän työn kohteisiin paristot eivät siis sovellu, sillä akselit ovat pidempään pysähdyksissä vain yhtenä huoltopäivänä viikossa. Akkupariston käyttö induktiivisen virransyötön rinnalla sen sijaan on hyvä ajatus. Tämä pätee ainakin nivelöidyillä akseleilla, joissa lähetinantenni -virtakäämi liikkuu vastaanotinpään suhteen ja saattaa aiheuttaa signaalin katkeamisen joissain tilanteissa, jos varavirtalähdettä signaalinlähetykseen ei ole. Tällöin olisi kuitenkin vaadittu radioaalloilla toimivat lähettimet ja vastaanottimet, jotka olisivat lisänneet hintaa. (Astech 2014.) (Manner 2014.)

Signaalinsiirtoon toinen vaihtoehto oli radiosignaalin käyttö, mutta tämä vaihtoehto hylättiin, sillä se olisi vaatinut kalliimmat lähettimet ja vastaanottimet ja kun virransyöttö kuitenkin jouduttiin järjestämään induktiivisesti, niin signaalinsiirtokin päätettiin hoitaa sitä kautta. (Astech 2014.) (Manner 2014.)

Momenttianturin valinnassa tuli kiinnittää huomiota mm. seuraaviin anturin ominaisuuksiin.

- mitta-alue
- maksimi kierrosnopeus
- tarkkuus
- riippuvuus pyörimissuunnasta
- anturin kyky mitata sekä vakiomomenttia, että nopeasti muuttuvia momenteja.
- näytteenottotaajuus
- kiihtyvyyksien kesto

Mitta-alueen tuli tässä tapauksessa soveltua vähintään välille 500kNm-3,5MNm. Suuri osa antureista ei ole suunniteltu näin suurille voimille ja valmistajia, joilla on tällaisiin kohteisiin soveltuvat anturit, sekä suomen kielinen edustaja ovat harvassa. Maksimikierronnopeudet eivät muodostuneet rajaavaksi tekijäksi, sillä valmistajilla oli laitteistosovelluksia aina kymmeneen tuhansiin minuuttikierroksiin asti. Tässä kohteessa nopeimmat akselit pyörivät 370 kierrosta minuutissa.

Tarkkuus oli kaikille antureille ilmoitettu jotain prosentin osia, jonkin verran lämpötilasta riippuen, mutta lämpötilariippuvuudenkin pystyi kompensoimaan parametroidulla eli ohjelmoimalla pick-upiin liitettävälle signaalivahvistimelle erillinen lämpötilakerroin. Pyörimissuuntariippuvuutta ei millään anturivalmistajalla ollut. Järeimmät, yleensä metallisella tai bakeliitista valmistetulla asennuspannalla akselille asennettavat anturisolukset kestävät helposti yli 50000g kiihtyvyyksiä ja kykenevät mittaamaan niistä johtuvia momenttipiikkejä 1kHz näytteenottotaajuudellaan. Rajaavaksi tekijäksi muodostuikin Ruukin tiedonkeruujärjestelmän, Iban 1kHz näytteenottotaajuus, jonka olisi pitänyt Nyquistin teoreeman mukaan olla kaksinkertainen anturin näytteenottotaajuuteen verrattuna, jotta näytteistä voitaisiin täydellisesti rakentaa alkuperäistä vastaava signaali. Tämän tarkempaa järjestelmää Ruukilla ei kuitenkaan ole käytössä, joten se tosiasia on vain hyväksyttävä, että jotain tietoa saattaa jäädä saamatta.



KUVIO 9. Akselin ympärille asennettava teräspanta muovisisustalla. Kuvassa myös antennikäämin päät.

Laitteistojen resoluutiot, rajataajuudet ja näytteenottotaajuudet vaikuttavat kaikki omalla tavallaan mittaustarkkuuteen. Esimerkiksi 12 bitin ja 16 bitin välillä kyse on amplitudin resoluutiosta eli erottelukyvystä, joka riippuu osittain järjestelmän näytteenottotaajuudesta. Yleisesti järjestelmien tarkkuus on 1-5 % odotetuista maksimiampplitudeista käynnin aikana. Täyden skaalan mittausalue tulee olla suurempi, koska myös ylikuormat halutaan mitata. Täten resoluutiota täytyy kasvattaa, jos mittaustarkkuus halutaan säilyttää. (Schulze 2014.)

Yhden prosentin tarkkuudella toimivan järjestelmän resoluution täytyy olla kymmenen kertaa pienempi, eli 0,1 %. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi 12-bittisellä resoluutiolla, kun yksi potenssi jätetään bittikohinalle päästään $2^{11}=2048 \rightarrow 0,048$ % resoluutioon. (Schulze 2014.)

Vääntömomenttiantureilla mitataan pääasiassa momentti-iskuja, jotka ovat käytännössä hetkittäistä ylikuormitusta. Nämä ylikuormat saattavat olla jopa 100- 250 % normaalista. Kun otetaan huomioon tämä täysi mittausskaala, joka yleensä mitoitetaan kaksinkertaiseksi momentin maksimiampplitudiin verrattuna, saadaan resoluutioksi 0,096 %. Myös tässä bittikohinasta johtuvat häiriöt aiheuttavat sen, että resoluutio laskee 0,192 % tasolle, joka on huomattavasti korkeampi kuin haluttu 0,1 %. Tästä johtuen 12-bittinen järjestelmä riittää parhaimmillaan noin 2 % mittaustarkkuuteen. Uuden Ruukille tulevan laitteiston resoluution valitsin 16-bittisenä, jolloin resoluutio ja sitä kautta myös mittaustarkkuus ovat huomattavasti parempia. Myös 24-bittistä resoluutiota oli laitteistoissa tarjolla, mutta Ruukin järjestelmä muodostui siinä hyötyä rajoittavaksi tekijäksi. (Schulze 2014.)

Korkeimmat tarvittavat taajuudet riippuvat anturijärjestelmän tarkoituksesta. Esivalssaimelle ja ensimmäiselle viimeistelyvalssaimelle, eli F1:lle rajataajuudet ovat 100Hz luokkaa. Tuolla taajuudella virheet ovat alle 2 %, koska normaalin pyörimisnopeudet valsseille näissä tapauksissa ovat 20 1/s ja 60 1/s välillä. Valssituolien hitaan nopeuden takia voidaan tarkkailla myös akselien hampaiden keskinäisiä taajuuksia. Keskimmäisten ja viimeisten viimeistelyvalssainten virhe maksimiampplitudeilla on edelleen samaa luokkaa, mutta vääntöväärhtelyt laitteistoissa, eritoten ensimmäisellä ja korkeammilla harmonisilla taajuuksilla ovat yli 100Hz. Jos näiden taajuuksien tarkkailu olisi järjestelmän tarkoitus, täytyisi näytteenottotaajuuden olla vähintään viisi kertaa suurempi kuin rajataajuuden. Tässä sovelluksessa näytteenottotaajuus on edellä mainittu 1kHz ja rajataajuutena käytetään 100Hz. Kuumavalssaamoilla rajataajuudet ovat tyypillisesti aina alle 600Hz. (Schulze 2014.)

2.2 Mittaukset ja mittaustulokset

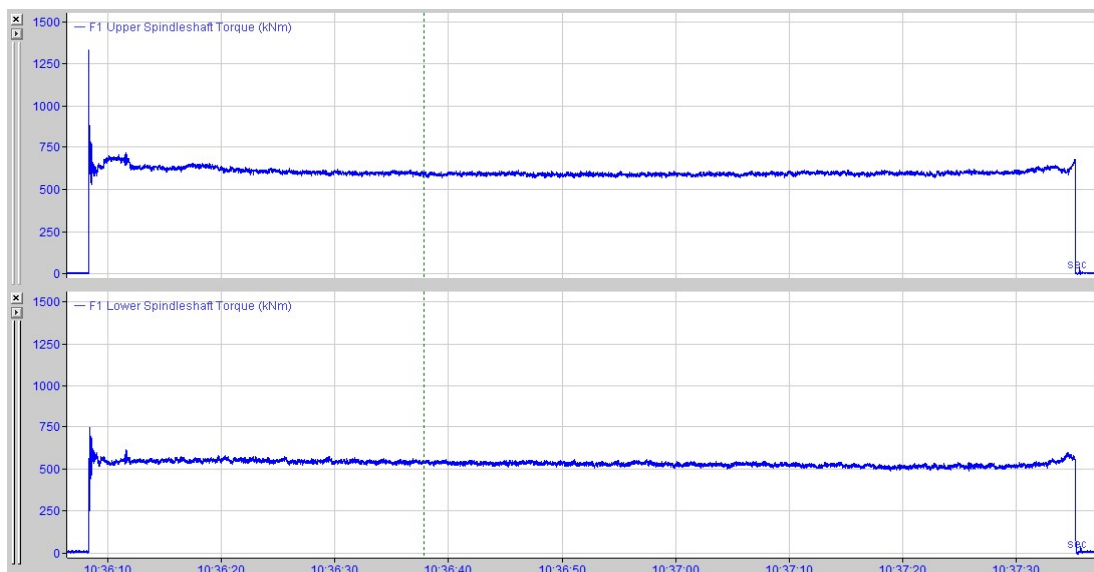
Mittaustuloksia opinnäytetyössä saatiin uusien laitteistojen tilauksen viivästyksien takia vain väliaikaiselta testilaitteistolta, joka oli alun perin asennettuna F6 pääakselille ja siirrettiin työn aikana F1 jakovaihdekardaaneille. Siirto johtui siitä, että jakovaihdeakseleilta haluttiin momenttitietoja jakovaihteistojen uudistusprojektia varten.

Ennen siirtoa testimittauslaitteisto oli yhdistetty hitaampaan tiedonkeräysjärjestelmään, jonka näytteenottotaajuus on ainoastaan 100Hz. Toisin sanoen momenttitieto ei ole läheskään yhtä tarkkaa kuin nopeammassa 1kHz järjestelmässä, johon tämän opinnäytetyön uudet anturit yhdistettiin, sekä F1 anturit siirrettiin.

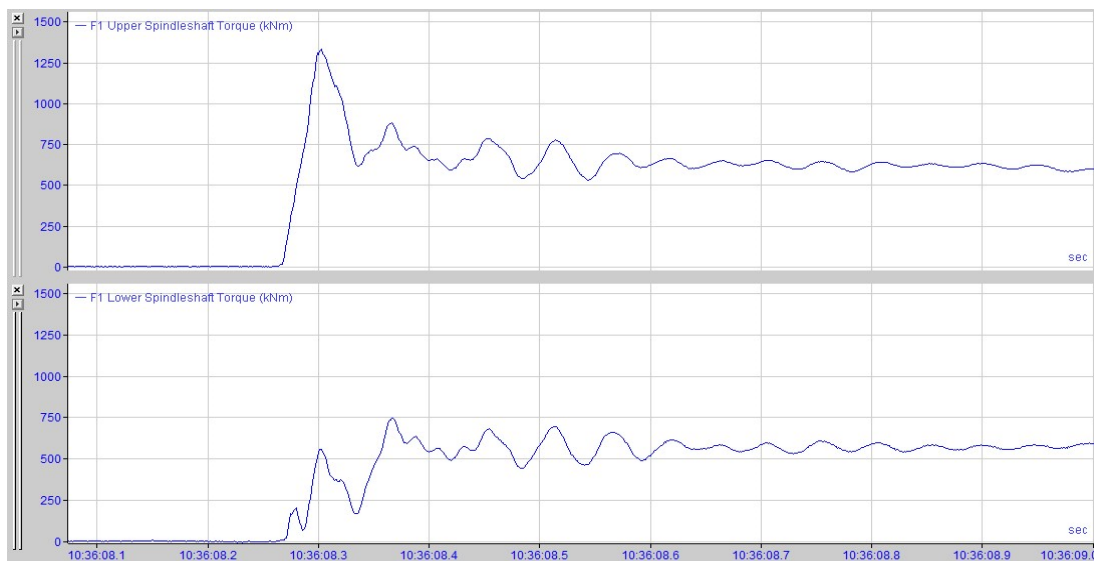
Käytännössä 100Hz näytteenottotaajuus tarkoittaa sitä, että on sattumasta kiinni nähdäänkö mittauksessa suurimpia momenttipiikkejä, sillä piikit kestävät lyhimmillään muutamia millisekunteja ja jos näytteitä otetaan kymmenen millisekunnin välein, jää näkemättä paljon. Lisäksi, koska mittaus oli toteutettu pääakselille, eikä jakovaihdeakseleille, välissä oleva jakovaihteisto suodattaa osan momentti-iskuista pois. Tästä häviöllisyydestä johtuen en esittele valssituoli F6 mittausdataa lainkaan.

Käytin mittaustulosten oikeellisuuden arviointiin moottorin virroista laskettuja momenteja staattisen momentin skaalaukseen. Tämä siis tarkoittaa momenttia, kun akselit pyörivät nimellisa nopeudella ja valssien välissä ei ole muokattavaa terästä. Kun mitatun momentin suuruusluokka oli samaa luokkaa kuin laskettu momentti, oli mittaviesti oikein skaalattu. Laskennallisesti päädyttiin skaalaukseen 593 kNm/V. Tämä staattinen momentti kalibroitiin

nollakohdaksi, joten kuvioissa näkyvät vain tuotteen aiheuttaman vääntömomentin muutokset.



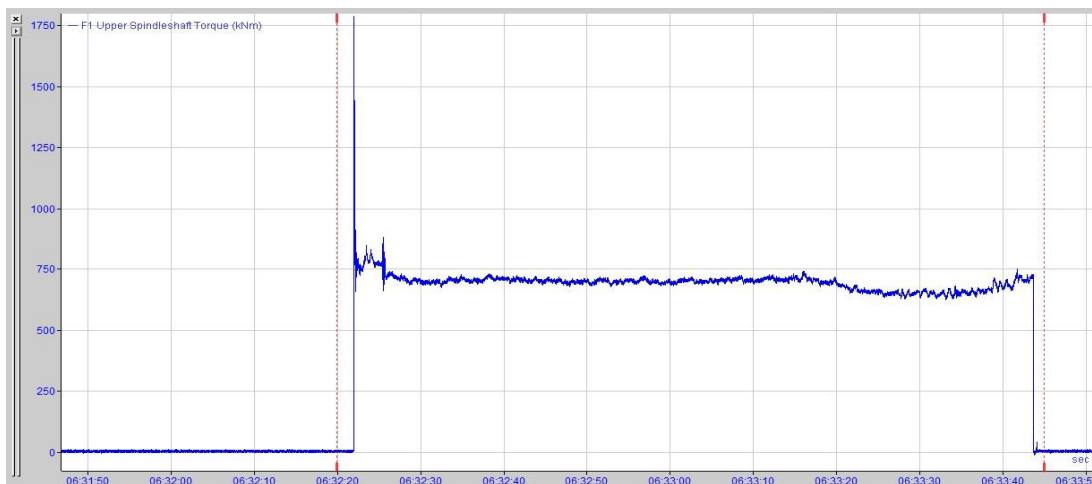
KUVIO 10.



KUVIO 11.

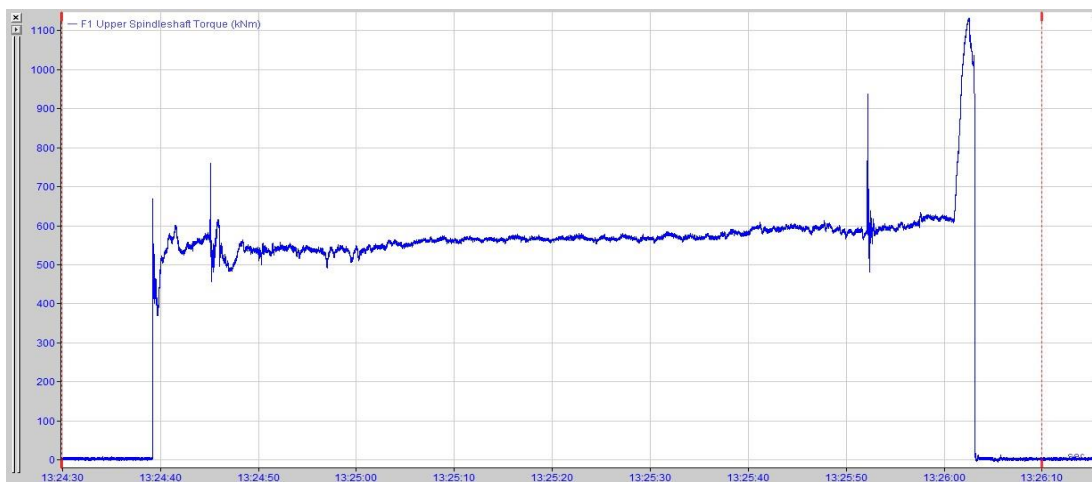
Kuvioiden 10 ja 11 ylä- ja ala-akseleiden mittauskäyrien aikamarkkereita tarkemmin katsomalla voidaan huomata, että momentti nousee nolosta huippuunsa noin 35 millisekunnissa ja siksi vanhemman järjestelmän 10 millisekunnin näytteenottoväli ei ole riittävä. Lisäksi ylävalssilla on

havaittavissa huomattavasti suuremmat momenttipiikit kuin alavalssilla. Myös keskiarvomomentti on yläakselilla hieman suurempi kuin alhaalla, vaikka periaatteessa jakovaihteen välitysten perusteella moottorilta tulevan momentin pitäisi jakautua 50:50- suhteessa. Kuvioden 10 ja 11 nauhan TAF – arvo on yläakselilla noin 2,1, eikä ole sinänsä mitenkään erikoinen.

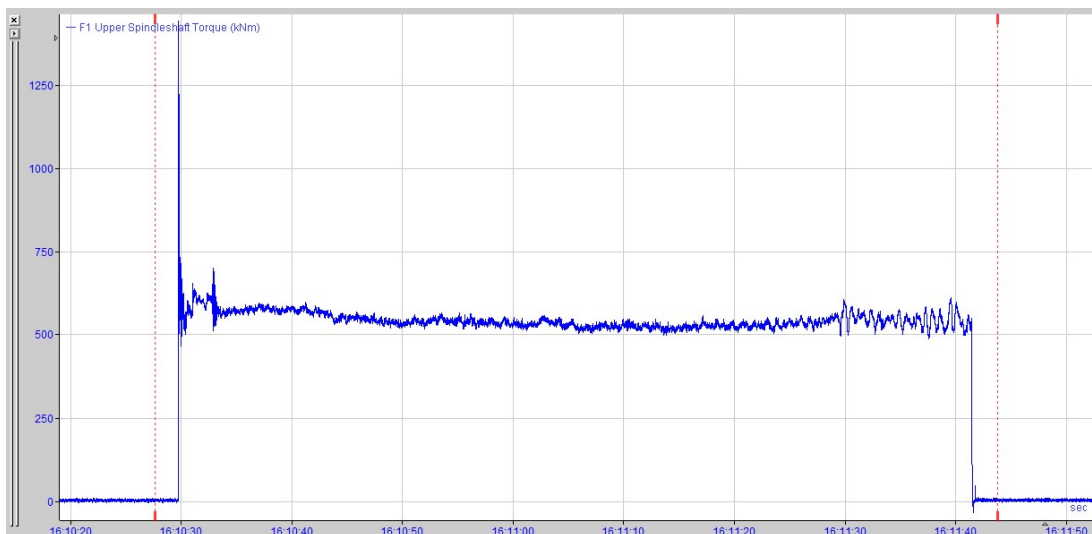


KUVIO 12.

Kuviossa 12 on havaittavissa suuri TAF – arvo ja suuri momenttipiikki yläakselilla paksulla nauhalla. Kuviossa 13 taas on suuri häntämomenttipiikki. Aiheuttaa tuotteissa hännän räpsymistä ja joskus hännän repeämisen. Syynä piikkiin voi olla hännän lämpötila.

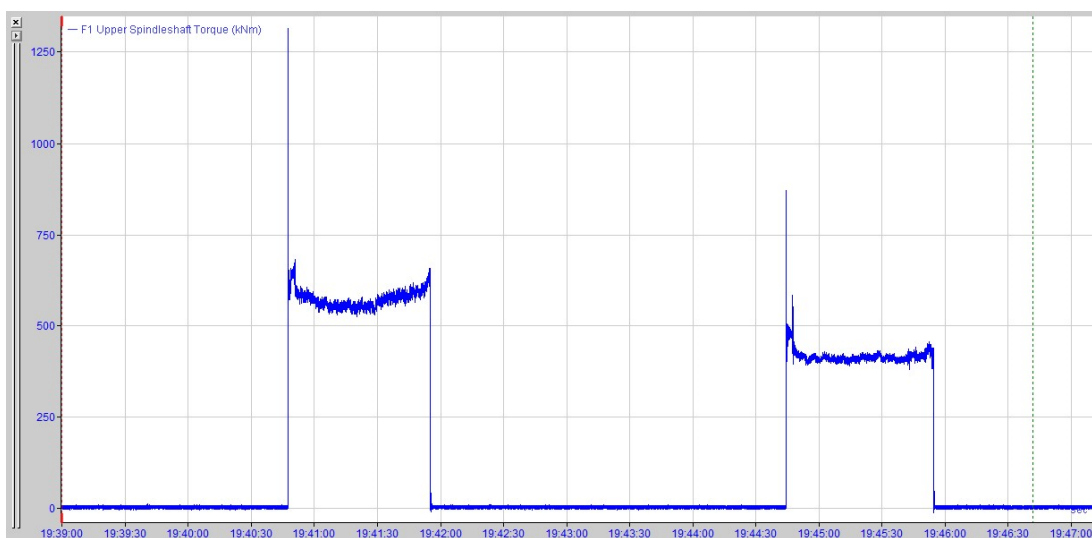


KUVIO 13.



KUVIO 14.

Kuvion 14 momenttikäyrästä havaitaan erityisen suuri TAF – arvo kovalla tuotteella, 2,8. Kuviossa 15 vertailun vuoksi näkyy alussa paksumpi tuote ja seuraavana ohut. Momenttien vaihtelu voidaan havaita selvästi paksuuden mukaan.



KUVIO 15.

3 SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

3.1 Anturivalmistajan valinta

Mahdollisia anturi- ja telemetrialaittevalmistajia tämän opinnäytetyön kohteen kaltaisiin sovelluksiin olivat ACIDA, Stork Elektronik Telemetrie- Messtechnik, Kraus Messtechnik (KMT), Astech Electronics, Manner Sensortelemetrie GmbH, sekä Kyowa Electronic Instruments. (Valtokari, J. 2013.)

Näistä suomen kielistä edustusta ei ollut kuin KMT:llä, Mannerilla, Astechilla ja Kyowalla. Tästä johtuen ACIDA, sekä Stork jäivät pois vertailusta, sillä tarjousten saaminen olisi kestänyt liian kauan tämän opinnäytetyön kannalta. Kuitenkin esimerkiksi ACIDA:n laitteistoja on käytössä mm. Outokummulla tämän opinnäytetyön kohdetta vastaavanlaisessa valssikäytössä ja erilaisissa sovelluksissa myös Rautaruukilla. Näitä kautta saatiin tietoja heidän laitteistojensa hintaluokasta ja heidän laitteistojensa hinnat tämän opinnäytetyön kokoluokan kohteisiin olisivat olleet vähintään samaa luokkaa, kuin kallein suomalaisedustuksessa oleva. Tästä syystä ne olisi täytynyt jättää opinnäytetyön ulkopuolelle suomenkielisestä edustuksesta huolimatta. Teknisesti ACIDA:n laitteistot eivät juuri poikkea muista. Heillä tosin löytyi kiinnostava, muista valmistajista poikkeava ratkaisu liikkuville akseleille. ACIDA:lla oli suuremman pick-upin sijaan suurennettu akselille asennettavaa pantaa, sekä antennia levitetty suuremmalle alueelle virransyötön ja signaalinsiirron varmistamiseksi. Toisaalta, tämä ratkaisu vie akselilta paljon tilaa, jota tässä opinnäytetyön kohteessa ei ole.

Jäljelle jäivät siis KMT, Manner, Astech ja Kyowa. KMT:llä ja Mannerilla oli molemmilla erillinen edustaja Suomessa. Astechin ja Kyowan laitteistoilla oli yhteinen edustaja. KMT:n edustaja on UG Electronics, Astechin edustaja on Straintech Finland ja Mannerin Kistler Nordic. Näiden edustajien kanssa vaihdoin puheluita, sekä sähköposteja useita viikkoja, kun etsimme soveltuvia ratkaisuja nivelakseleille, sekä etsin heille tarvittavia tietoja ympäristöolo suhteista ja akseleista heidän tarjoustensa perustaksi. Heidän laitteistojensa teknisiä tietoja on esitelty taulukossa 1.

	Astech	KMT	Manner
Lähetin			
resoluutio	12 bit (16 bit)	12 bit	16 bit
yläraajataajuus	1000 Hz (100 Hz)	1200 Hz	1000 Hz
tiedonsiirto	induktiivinen	induktiivinen	induktiivinen
tehonsyöttö	induktiivinen	induktiivinen	induktiivinen
Auto Zero etäasetus	X	X	X
Gain etäasetus	X	X	X
Shuntti etäasetus	X		valinnainen
Mitat ja massa	53x28x11mm, 24 g	35x18x12mm, 13 g	34x34x9mm, 11 g
käyttölämpötila	-10...+80 C	-10...+80 C	-25...+85 C
suojausluokka	IP65	IP65	IP65
Maks. aks.halkaisija	250 (1000+ mm)	500 (1000 mm)	1000 mm+
Sillan syöttöjännite	4 VDC	4 VDC	3,3 VDC (5V)
Antennin pituus	ei rajoitettu	ei rajoitettu	ei rajoitettu
mittausalue	0,2 -500 mV/V		0,02 -20 mV/V
Vastaanotin			
mitat	40x35x40 mm	53x66x30	60x50x40 mm
suojausluokka		IP65	IP66
kaapelin pituus	5 m (50m)	5 m (10m)	4 m (ei raj.)
Vahvistin			
Ulostulo	0... +/-10V, valinnainen mA	0... +/-10V, valinnainen mA	0... +/-10V, valinnainen mA
Er. ulostuloliitin	BNC, USB	BNC	D-SUB, USB

Käyttöjännite	230VAC	10-30VDC, 230VAC	24VDC, 230VAC
käyttölämpötila	-10...+55 C	-10...+70 C	-10...+70 C
tarkkuus	0,01 % (16bit)	+/- 0,02 %	+/- 0,01 %
Näyttö	X		

TAULUKKO 1. (Manner 2014) (Astech 2014.) (KMT 2014.)

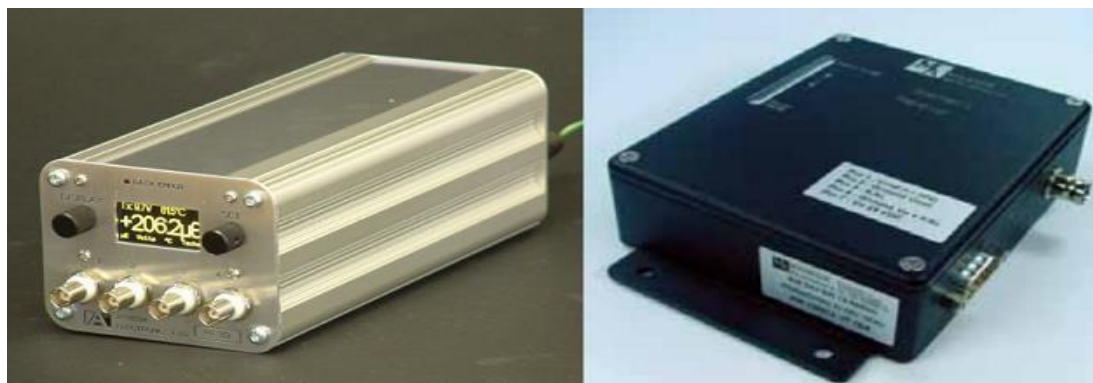
Vaikka taulukko ja valmistajien esitteet kertovat laitteistojen ominaisuuksista kattavasti, ovat ne vain puoli totuutta. Taulukkotietojen valossa kaikki valmistajat ovat lähes samalla viivalla ja erot ovat vain marginaalisia. Tässä opinnäytetyössä laitteistojen muokattavuus ainutlaatuiseen kohteeseen muodostui tärkeimmäksi ominaisuudeksi.

Esimerkiksi KMT, jonka laitteisto oli halvin, ei pystynyt toimittamaan kuin ainoastaan pääakseleille ja valssituolin F1 kardaaneille soveltuvat ratkaisut. Nivelakseleille heillä ei ollut erikseen toimittaa liikkuville akseleille soveltuvia pick-up -päitä. Liikkuvat akselit nimittäin tarvitsivat viereensä pitkän aksiaalisuntaan asennettavan pick-upin, jotta akselilla oleva kuparikäämi olisi koko ajan virtaa syöttävän pick-upin alueella. Lisäksi KMT:n laitteistot olisivat olleet vain lasikuituteipillä kiinnitettäviä myös pysyvässä asennuksessa. Tämä ei pitkällä aikavälillä olisi tullut kestäväksi ja tämä asennus ei ole vesitiivis. Lisäksi teipillä kiinnitettyä asennusta on työläämpi siirtää akselilta toiselle, kun taas pantakiinnitteisellä se onnistuu kohtuullisen helposti. Nivelakselit nimittäin vaihdetaan 2-3 vuoden välein ja silloin laitteisto on tarpeen siirtää akselilta toiselle.

Valmistajista Astech, joka oli selkeästi kallein yli kolminkertaisella hinnalla KMT:hen verrattuna, pystyi räätälöimään pick-up- vastaanottimiaan juuri tätä kohdetta varten. Lisäksi akseleille asennettavat anturilaitteistot olivat suojattu kuvion 9 mukaisilla pannoilla, jotka ovat lähes välttämättömiä

metalliteollisuudessa. Kuitenkin laitteistojen korkea yhteishinta, joka olisi kaikille akseleille asennettuna ylittänyt 240 tuhatta euroa, vaikutti valintaan huomattavasti. Ja tähän ei ole otettu mukaan mitään muita kuluja, joita tulee suunnittelusta ja muista tietojärjestelmiin liittyvästä kehitystyöstä. Astechin hyvänä puolena oli suomenkielisen edustajan vahva tekninen osaaminen, jolta tukea olisi saatu laitteistojen käytössä helposti. Mannerilla paras tekninen tuki oli saatavilla vain Saksasta.

Kistlerin edustama Manner pystyi toimittamaan soveltuvat laitteistot hieman Astechia halvemmalla akselia kohti huolimatta siitä, että myös heidän laitteistoihinsa sisältyivät asennuspannat. Tämä kuitenkin laski kokonaishintaa ja johtikin lopulta siihen, että valitsin heidän laitteistonsa. Lisäksi kaikki Mannerin laitteet oli paremmin asennettavissa kytkentäkaappien asennuslevyyn, kun taas Astechilla laitteet oli suunniteltu enimmäkseen PC -kaappeihin. Tämän voi nähdä kuviosta 16, jossa on esitetty Astechin ja Mannerin vahvistimet. Vasemmalla Astechin 1-4 kanavainen ja oikealla Mannerin 1-kanavainen. PC -kaapit eivät tulleet tässä ympäristössä kysymykseen niiden huomattavasti huonomman suojausluokan takia. Hyvänä lisänä Mannerin laitteissa tuli se, että he tarjoavat koulutusta omien laitteidensa käyttöön ja kunnossapitoon muutaman tuhannen euron lisähinnasta. Lisäksi Mannerin laitteistoja on käytössä mm. tunnetulla valssilaitosvalmistaja SMS Siemagilla, sekä useilla suurilla teollisuuslaitoksilla ja autovalmistajilla.



KUVIO 16. (Astech. 2014.) (Manner. 2014.)

Laitteistot haluttiin tilata aluksi vain valssituolin F3 akseleille ja asentaa niille. Myöhemmin kun sieltä saatavia tuloksia on tutkittu ja tulkittu, päätetään millä aikataululla laitteistoja laajennetaan muille valssituoleille. Ruukilla on kuitenkin käytettävissään jo aiemmin mainittu siirrettävä laitteisto, jolla saadaan tarvittaessa mitattua momenteja myös muiden valssituolien pääakseleilta, sekä F1 kardaaneilta. Taulukkoon 2 on laskettu laitteistojen hintoja eri valmistajien komponenteilla yhtä valssituolia kohti.

Komponentti/ Valmistaja	KMT	Astech	Manner
Pick-up norm. 1kpl	800€/kpl	980€/kpl	1370€/kpl
Pick-up iso 2kpl	-	4170€/kpl	3505€/kpl
Lähetin 3kpl	810€/kpl	1570€/kpl	1520€/kpl
Vahvistin 3 kpl	2000€/kpl	4730€/kpl	2940€/kpl
Roottoripanta 3 kpl	-	4825€/kpl	2600- 5700€/kpl
Optiot, ohjelmistot	-	-	6500€
Yhteensä/valssituoli.	10830€	42695€	39260€

TAULUKKO 2. (KMT 2014) (Astech. 2014.) (Manner. 2014.)

Laitteistot saatiin tilaukseen vasta noin seitsemän viikon selvitystöiden jälkeen ja Ruukin byrokratian takia ja toimitusaikojen ollessa seitsemästä kymmeneen viikkoa, uusista laitteistoista ei saatu käytännön kokemuksia ja mittaustuloksia opinnäytetyön aikana. Sen takia kaikki mittaustulokset ovat väliaikaiselta testilaitteistolta.

3.2 Testilaitteisto

Opinnäytetyössä aiemmin mainittu väliaikainen testilaitteisto on KMT:n toimittama, jänniteviestiä käyttävä 12-bittinen sovellus. Käytännössä näillä spekseillä toteutettu laitteisto antaa noin 95 % tarkkuuden, kun 16-bittisellä järjestelmällä ja virtaviestillä päästään noin 98 % tarkkuuteen. Tämä kolmen prosentin ero ei vaikuta suurelta, mutta kaikki häviöt käytännössä muodostuvat häiriintyneestä signaalista, sekä havaitsematta jääneistä momenttipiikeistä ja juuri ne ovat tärkeimpiä havaintokohteita. Lisäksi laitteistoon ei kuulu asennuspantaa, vaan kaikki akselille asennettava kiinnitetään paikalleen epoksiliimalla ja lasikuituteipillä ja sen jälkeen päällystetään ilmastointiteipillä jonkinlaisen vesitiivyyden aikaansaamiseksi. Kuviossa 17 on esitettyä väliaikainen testilaitteistoasennus F1 kardaaneilla. Anturit ja niiden signaalivahvistimet ovat ilmastointiteipin alla ja antennivirtakäämi lasikuituteipin alla. Vieressä pick-upit. Kuviossa 18 on KMT:n vahvistin.



KUVIO 17.



KUVIO 18. KMT:n vahvistimen etu- ja takapaneelit. (KMT 2014.)

Tällä laitteistolla on omat rajoitteensa akselin halkaisijalle, joka on 1000mm. Käytännössä siis tällä laitteella voi perussovelluksena mitata momenttia vain F1 kardaaneilta, sekä F4-F6 pääakseleilta. Lisäksi ulkoisella, oikein mitoitettulla kondensaattorilla, sillä on periaatteessa mahdollista mitata momenttia myös F1-F3 pääakseleilta. Kondensaattorilla kompensoidaan käämiantennin tuottama induktanssi, joka kasvaa akselin halkaisijan mukana antennin pituuden kasvaessa. Myöskään tältä laitteistolta saatava jänniteviesti ei sovellu hyvin teollisuusympäristöön sen häiriöherkkyyden vuoksi ja vahvistimelta koaksiaaliliittimeltä lähtevä viesti vaatii ylimääräisen riviliittimen, jossa signaalikaapeliksi vaihdetaan JAMAK. Myös tämä aiheuttaa signaalissa jonkinasteista vaimenemista ja lisää virhekerrointa.

Testilaitteistolla ei ollut erikseen muuta käyttöliittymää tai ohjelmistoa tietokoneelle, kuten asia on Mannerilla, vaan ainoa säädettävä ominaisuus löytyy testilaitteen Gain -ruuvista, josta säädetään vahvistusta. Muita toimintoja ovat ylijännitteen kuittaus OVR -napista, sekä nollatason säätö Autozero napista.

Jänniteviestit tuotiin samalla tavalla lbaan kuin uusienkin laitteistojen signaalit on tarkoitus tuoda kappaleen 3.4 mukaisesti. Ainoana poikkeuksena on vain signaalin tyyppi, joka vaati jännitesignaaleille tarkoitetun signaalinkeräysmoduulin. Tätä liittymisprosessia on kuvailtu hieman kappaleessa 3.4.

Testilaitteen mittaussignaalin koaksiaalilostulo aiheutti ongelmia käyttöönoton aikana ja siksi sitä ei haluttu uuteen laitteistoon. Kuten aiemmin todettiin, signaalilähtö on koaksiaalityyppinen ja automaation päässä

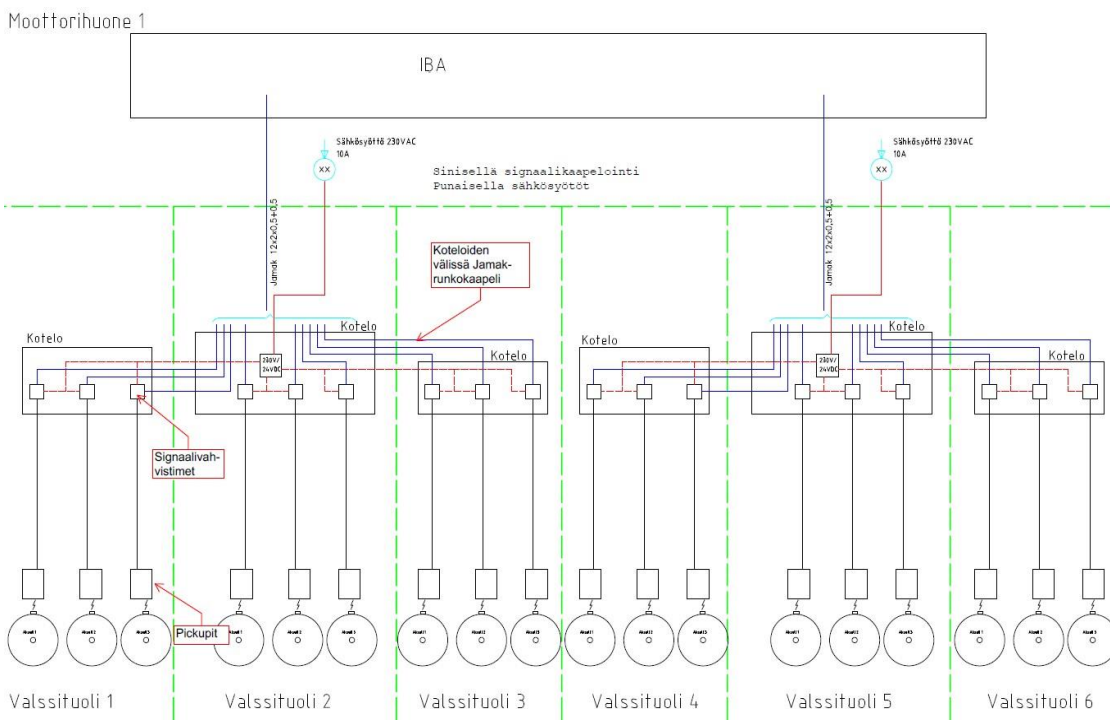
vastaanotto on normaalilla signaalikaapelilla. Tämä muuttaminen kaapelityypistä toiseen vaatii väliin erilliset riviliittimet. Tämä aiheuttaa varsinkin jännitesignaalilla häviöitä ja lisäksi aluksi käytössämme oli itse tehty BNC -liittimillä varustettu koaksiaalikaapeli. Kun kaikki muu oli vihdoinkin saatu toimimaan ja signaali ei ollut odotetunlaista, havaitsimme mittaamalla että tämä noin 30 metrin mittainen omatekoinen kaapeli vaimensi mittasignaalin murto-osaan siirtomatallaan. Tämän takia päädyimme vaihtamaan tälle välille valmiskaapelin. Tältä vaimenemisongelmalta olisi vältytty, jos signaalilähtönä vahvistimelta olisi suoraan JAMAK.

3.3 Perusarkkitehtuurin suunnittelu

Perusarkkitehtuurin suunnitteluun kuului kaikkien tarvittavien komponenttien sijoittelu kentälle. Jokaisesta komponentista tai komponenttiryhmästä on kerrottu myöhemmin erikseen. Valitsemamme valmistajan laitekokoonpanoon kuuluivat anturien, signaalivahvistimien ja pick-upien lisäksi 1-kanavaiset demodulaattorivahvistimet. Vahvistimet ja niiden kotelot päätin sijoittaa aina jakovaihteistojen väliin. Tämä oli paras ratkaisu, sillä kaapelointimatkat olivat likimain samat jokaiselta anturilta ja layoutista tuli mahdollisimman yksinkertainen. Kuva layoutista löytyy alla. Kuvassa näkyy myös toistaiseksi toteutumatta jääneet anturoinnit.

Itse anturien sijoittelu oli helppo suunnitella, koska varsinkaan nivelakseleilla ei momenttia pystynyt mittaamaan kuin yhdestä tai kahdesta paikasta, jotka olivat noin 25cm leveät alueet akselissa. Pääakseleilla varaa oli enemmän, mutta antureita ei turhaan kannattanut sijoittaa kovin kauas vahvistimista, joten valitsin vain vahvistimia lähimmät mittaamiseen soveltuvat paikat, joissa

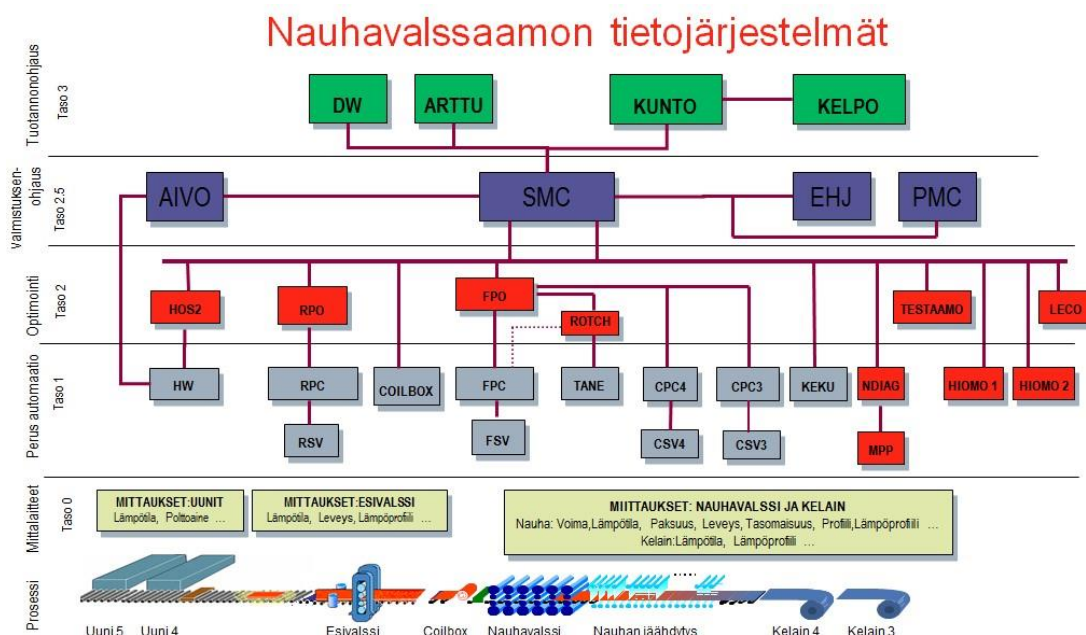
vapaata lattiapinta-alaa oli tarpeeksi kannakkeiden laittamiseen. Pääakseleiden alla nimittäin kulkee paikoitellen useita putkia, jotka estävät asentamisen.



KUVIO 19. Anturointien pelkistetty layout kentällä.

3.4 Yhteys tietojärjestelmään

Nauhavalssaamon tietojärjestelmä on monitasoinen. Siinä alimmalle tasolle kuuluvat mittalaitteet, esimerkiksi tämän työn momenttianturit. Toisella tasolla on perusautomaatio, joka on jokaisella kokonaisuudella omansa, esim. Coilboxilla ja nauhavalssaimella. Tästä seuraava taso on optimointi, joka on osittain yhteydessä valmistuksenohjauksen kanssa, joka on sitä ylemmällä tasolla. Ylimpinä tietojärjestelmässä ovat valmistuksenohjaus ja tuotannonohjaus. Tietojärjestelmät on esitetty kuviossa 20. (Salonpää 2009.)



KUVIO 20. Nauhalavssaamon tietojärjestelmät. (Salonpää 2009.)

Koska nauhalinjalla ei aikaisemmin ole ollut jatkuvaa momenttimittausta, uusia laitteistoja ei yhdistetty suoraan yhtenä muuttujana säätökäyttöön perusautomaatiotasolle. Sen sijaan anturien data yhdistettiin pelkästään diagnostiseen käyttöön. Tämä jäi käytännössä ainoaksi vaihtoehdoksi, koska momenttipiikeistä ja momenteista ei ole ollut olemassa tarkkaa tietoa, joten tiedon yhdistäminen automaatioon ensin analysoimatta sitä ei ole kannattavaa vai edes mahdollista. Siksi momenttianturien mittaama tieto yhdistetään Rautaruukilla käytössä olevaan Iba -järjestelmänhallintaohjelmaan.

Iba AG ja sen valmistamat ohjelmistot ovat käytössä lähes kaikessa suurteollisuudessa, jossa on monimutkaiset prosessit, joita täytyy ohjata ja joista täytyy kerätä runsaasti dataa. Erityisesti metalli- ja terästeollisuudessa Iba on markkinoiden johtava toimittaja tiedonkeruu- ja järjestelmänhallintaohjelmistoille, sekä niihin kuuluville komponenteille. (Iba AG 2013.)

Iban tuotteisiin kuuluu suuri valikoima erilaisia PC -pohjaisia järjestelmiä tiedonkeruuseen, signaalinkäsittelyyn ja automaatioon. Nämä tuotteet yhdessä soveltuvat mm. kunnossapitoon, prosessin optimointiin, laadunvalvontaan, etädiagnosointiin ja niin edelleen. Iba on yhteensopiva monien muiden automaatioissa käytettävien valmistajien järjestelmien ja komponenttien kanssa ja esimerkiksi Siemens S7- logiikat ovat suoraan yhteensopivia Iban kanssa. (Iba AG 2013.)

Tieto antureilta Ibaan päätettiin tuoda IbaPadu-8-I- tyyppisten signaalinkeräysmoduuleiden kautta. Nimi on lyhennys sanoista Parallel analog digital unit. Padu -moduulien käyttö oli kaapeloinneiltaan yksinkertaisin tapa ja yleisesti käytössä tehtaalla. Moduulilta Iballe tieto tulee valokuitua pitkin, jotka ovat täysin immuuneja sähköisille häiriöille. Tällaiseen moduuliin pystyy yhdistämään yhteensä kahdeksan digitaalista tuloa, sekä kahdeksan analogista tuloa. Tämä siis tarkoittaa sitä, että yhteen Padu -moduuliin pystyy tuomaan tiedot yhteensä kahdeksalta anturilta. Signaalien määrän takia oli tarpeellista käyttää useampaa moduulia ja ketjuttaa ne keskenään. Myös ketjutus tapahtui valokuidulla. Myös testilaitteiston tiedot tuotiin Ibaan vastaavalla moduulilla, ainoastaan sillä erolla että käytössä on häiriöherkempi jännitesignaali ja sille tarkoitettu moduuli. Moduulit kuitenkin pystyttiin ketjuttamaan valokuidulla ja kytkemään samaan järjestelmään. Padu –moduuli on kuvattu kuviossa 21.



KUVIO 21. IbaPadu – moduuli. (Iba AG 2013.)

Kaikki analogiset tulot antureilta Paduille tulevat virtaviestinä välillä 0- 20mA ja digitaaliset muodossa <8V = looginen 0 ja 8-24V = looginen 1. Anturien viestit ovat analogisia ja ne pystyttiin valitsemaan joko jännite- tai virtaviestinä. Tähän sovellukseen valittiin virtaviesti, kuten yleensä teollisuudessa on tapana, sen jänniteviestiä paremman häiriönkeston takia. Tämä kuitenkin oli lähes poikkeuksetta lisähintaan anturilaitteistojen toimittajilta ostettava lisäoptio vakiona tulevan jänniteviestin tilalle.

Mittaustietojen tarkastelu pystytään hoitamaan IbaAnalyzer- nimisellä ohjelmistolla. Analyzer- ohjelmisto on tarkoitettu kaikkien Iban muiden eri järjestelmien keräämän datan tarkasteluun. Analyzerin maksimi näytteenottotaajuus on 1kHz, joten sen pitäisi pystyä keräämään ja näyttämään mittaustuloksia kohtuullisen häviöttömästi. Tällä ohjelmistolla voidaan tarkastella useita mittaustietoja näytöllä yhtä aikaa ja vertailla niitä. Iba tallentaa jokaisesta nauhasta omat tietonsa järjestelmään kolmeksi viikoksi.

Ibaan tuotiin myös hälytystiedot anturien virransyötön sulakkeilta ja asema-antureilta. Nämä tiedot kaapeloitiin Padujen digitaalituloihin ja sitä kautta Iballe.

Anturisignaalien yhdistäminen Iba -järjestelmään ei sujunut ongelmitta. Alkuserelvityksissä suunniteltu liityntäpaikka valokuidulle Iba PC:llä osoittautuikin myöhemmin vääranäntyyppiseksi. Valmiina paikallaan ollut liityntäkortti oli 1-IO- tyyppiä, eli siinä oli yksi sisääntulo ja yksi ulostulo. Näistä ainoa sisääntulo oli jo varattuna. Jouduimme lisäämään liittymistä varten uuden 4-I- tyyppisen kortin, jossa on nimensä mukaan neljä sisääntuloa. Kuitenkaan tämän kortin asennus ei sujunut ongelmitta, sillä vuonna 2008 asennettu Iba järjestelmä oli liian vanha uudelle kortille ja koko ohjelmisto täytyi päivittää uudempaan, jotta kortti toimisi. Ohjelmiston päivitys kesti pitkään Iban monimutkaisen lisenssijärjestelmän vuoksi. Jokaisessa Iban järjestelmäkoneessa on lisenssilukituskortti USB -asemassa. Aina kun järjestelmään halutaan tehdä muutoksia ja Ibalta tilataan lisäosia, täytyy kortin tunnus ilmoittaa, jotta Iba voi tehdä lisenssiin muutokset ja näin pitää kirjaa kaikkien asiakkaitensa järjestelmien kokoonpanoista ja laajuuksista. Näin tehtiin sekä liityntäkortin, että uusien Padu -moduulien tilauksen yhteydessä.

Iba -ohjelmiston päivitys uudempaan versioon vaati lisäksi koneella olevan käyttöjärjestelmän päivityksen. Tämäkään ei onnistunut suoraan, vaan tiukkojen turvaprotokollien vuoksi täytyi ottaa etäyhteys Ruukin IT-palveluun ja suorittaa päivitys sitä kautta. Häneltäkään päivitys ei onnistunut heti, sillä tietokoneelle oli asennettu jokin lisäosa, joka esti suoraan päivityksen. Näin sinänsä pienistä vastoinkäymisistä ketjuuntui runsaasti aikaa vievää ongelmien sumaa, jota ratkottiin hyvin laajalla kokoonpanolla. Olin sähköpostiyhteydessä myös Iban omaan tukeen, kun yhteyttä ei saatu muodostettua, vaikka kaikki

oli näennäisesti kunnossa. Tämä ongelma paikallistettiin lopuksi Padujen asetukseen, jolla säädellään Padun näytteenottotaajuutta ja resoluutiota. Olimme valmiiksi vaihtaneet asetuksen vakiosta 14 bitin asetuksesta 16 bittiin ja silloin yhteyden muodostaminen ei onnistunut. Kun kaikki muu oli jo kokeiltu, kokeiltiin yhdistää uutta koskematonta Padua järjestelmään. Tämä Padu yhdistyi ongelmitta ja ainoaksi eroksi tämän Padun ja omien Padujemme välillä oli tuo asetus. Kun yhteys oli muodostettu, asetuksen pystyi ongelmitta vaihtamaan 16 bittiin.

Opinnäytetyön mahdollisena laajenuksena selvitetty Sensodec-kunnonvalvontajärjestelmä on kaikista muista järjestelmistä täysin erillään. Sensodec on Metson integroitu ratkaisu koneiden kunnonvalvontaan ja käyttöanalyysiin. Järjestelmä pystyy analysoimaan satoja korkeataajuisia prosessin värähtelyitä tai mekaanisia tärinöitä. Sama järjestelmä on käytössä niin paperiteollisuudessa, kuin missä tahansa kunnossapitoherkässä prosessiteollisuudessa tai energiantuotantolaitoksissa. Järjestelmästä saatavalla tiedolla voidaan paremmin ennustaa ja suunnitella huollot oikeaan aikaan ja oikeista syistä. Myös koneiden käyttäjät voivat reagoida muuttuviin prosessin olosuhteisiin lisätäkseen tuotannon sujuvuutta ja nopeutta. (Metso 2014.)

Järjestelmä analysoi eri komponenttien mekaanista kuntoa. Näihin komponentteihin kuuluvat mm. laakerit, akselit, moottorit, sekä vaihteistojen osat.

Käyttämällä edistyneitä, mutta yksinkertaisia analyysityökaluja mekaaniset ongelmat voidaan huomata aiemmin jo niiden varhaisessa vaiheessa ja täten

on mahdollista estää tehokkaammin suunnittelemattomat huoltokatkokset ja tuotanto-ongelmat. (Metso 2014.)

Sensodecilla mitataan kunnonvalvonta- ja värähtelymittaukset valssauksen aikana, eli mittaus käynnistyy kun nauha on mennyt kaikkien valssiportaiden läpi ja sitten mitataan esimerkiksi 10 sekunnin pätkä. Järjestelmässä on työkaluja, joilla signaalia voidaan käsitellä ja laskea automaattisesti esimerkiksi FFT muunnokset. (Karsikas. 2014.)

Kuitenkin Sensodeciin liittyminen osoittautui ongelmaksi. Metson edustajan kanssa käymieni keskustelujen perusteella Sensodeciin liittyminen olisi vaatinut anturien virtaviestien tuomista joko automaatiojärjestelmän, tai OPC:n, eli eri järjestelmien välillä toimivan tiedonsiirtoprotokollan kautta Sensodecille. Koska liittyminen Ibaan oli tässä työssä prioriteettina, niin liittyminen sen lisäksi myös Sensodeciin olisi vaatinut anturien viestien haaroittamista kahteen kohteeseen ennen liittymistä Padu -moduuleihin. Tämä ei virtaviestien osalta ole mahdollista ja myöskään Ibasta tietoja ei onnistunut siirtää järkevällä tavalla eteenpäin, joten momenttitietojen liittäminen Sensodeciin jätettiin pois.

3.5 Kotelointi, kannakointi ja muut suojaustoimenpiteet

Koteloitavia kohteita työssä olivat IbaPadu -moduulit ja niiden virtalähteet, sekä anturien vahvistimet ja mahdollisuuksien mukaan itse akselit antureiden kohdalta. Kannakointia vaativat kaikki anturien pick-up- päät ja muuta suojauksen tarvetta kartoitin opinnäytetyön aikana. Tämä muu suojaus olisi sisältänyt mm. paineilman puhallusta signaalivahvistimien koteloihin, sekä pickupeihin estämään metallipölyn pääsyn herkkiin kohteisiin. Tälle

puhallukselle ei kuitenkaan loppujen lopuksi nähty tarvetta, sillä kaikki hankitut kotelot olivat pölytiivistä IP66 ja 67 -luokkaa ja mittapäiden likaantuminen edes metallipölystä ei valmistajien mukaan haitannut tiedon tai virran siirtoa.

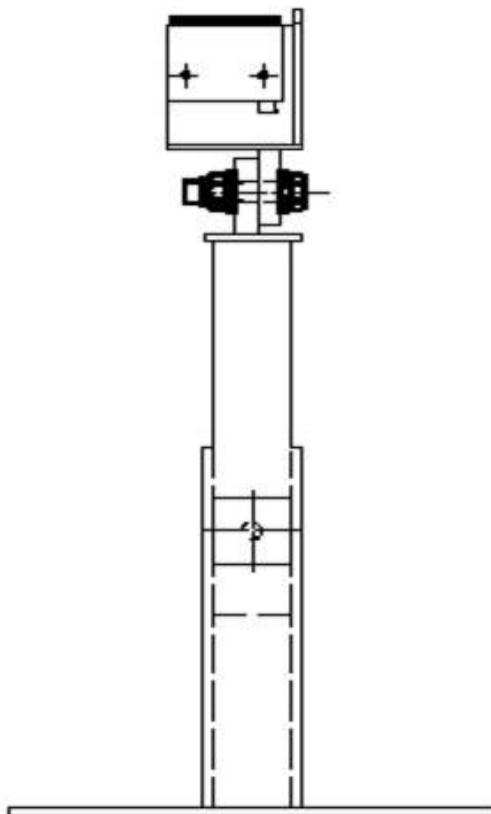
Padu –moduulit aioin aluksi sijoittaa omaan koteloonsa moottorihuoneen ulkopuolelle, mutta sainkin kunnonvalvontainsinööriltä luvan käyttää hyväksi heidän Sensodec- järjestelmänsä ilmastoitua koteloa, joka sijaitsi valmiiksi automaatiotilassa. Kotelosta löytyi tilaa kolmelle Padu -yksikölle ja virtalähde oli jo valmiina.

Jakovaihteistojen väliin sijoitettavat anturivahvistimien kotelot päädyin valitsemaan niiden sisältämään komponenttimäärään nähden varsin suuriksi. Suurimman käytetyn kotelotyypin leveys ja korkeus ovat jopa metrin, vaikka tilan löytäminen kookkaille koteloille oli hieman hankalaa, niin parempaakaan vaihtoehtoa ei ollut. Suurella kotelotilavuudella pyrittiin siihen, että myöhemmin ei kärsittäisi jäähditysongelmista, sillä ilmanvaihtoa ei paikalle tuleviin koteloihin voinut toteuttaa, kuten esimerkiksi sähkötiloihin sijoitetuille koteloille on tehty. Kuten layout-kuvasta voi päätellä, nämä suuremmat kotelot sisältävät anturivahvistimien lisäksi 24VDC-virtalähteet, sekä JAMAK –runkokaapelien riviliittimet. Pienempiin koteloihin ei asenneta kuin vahvistimet, sekä riviliittimet virransyöttöön, sekä signaalinsiirtoon.

Kardaaniakseleille tulevia antureita pyrin aluksi sijoittamaan mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi kuviossa 3 näkyviin häkkeihin, jotka suojaisivat antureita, sekä pick-upia mekaanisilta vaurioilta. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista, sillä häkkien sisällä sijaitsevat kardaaniakseliin kytkimet, joille antureita ei voinut asentaa. Kun tämä vaihtoehto jäi pois, katsoin parhaaksi jättää laittamatta anturien ympärille kotelointia, sillä alue olisi muuttunut todella

ahtaaksi. Sen sijaan itse antureihin valittiin valmistajilta teräsbornasta valmistetut ratkaisut, joka suojaavat akselilla olevaa anturia ja lähetintä. Tässä ratkaisussa pick-upit tosin jäivät ilman ylimääräistä suojaa, mutta mikään ei ole täydellistä. Kaikki pick-upien kannakkeet sekä pää- että kardaniakseleille suunnittelin myös itse juuri tähän tarkoitukseen, sillä niitä ei tullut anturipakettien mukana ja sopivia ei löytynyt valmiina muualtakaan.

Kaikki kannakkeet valmistettiin järeästä 4mm paksusta neliöputkesta ja saman vahvuisesta teräslevystä. Pääakselien yhteydessä kannakkeisiin täytyi saada korkeussäätö, jotta välttyttäisiin useammanlaisten kannakkeiden tekemiseltä. Korkeussäätö tehtäisiin jokaisen akselin kohdalla erikseen. Nämä lattiaan kulumistaan pultattavat kannakkeet (KUVIO 22.) suunnittelin siten, että neliön mallisen teräslevyn keskelle hitsattiin pystyyn 60cm mittainen neliöputki. Tämän putken sisälle laitetaan toinen pienempi putki, joka juuri mahtuu sen sisälle. Ulompaan putkeen porataan reikä, johon tehdään kierteet. Korkeussäätö tapahtuu nostamalla sisempi putki vaadittuun korkoon ja kiristämällä reikään pultti, joka sitten lukitsee sisemmän putken paikoilleen. Pysyvässä asennuksessa voidaan myös tehdä hitsaukset putkien saumaan.



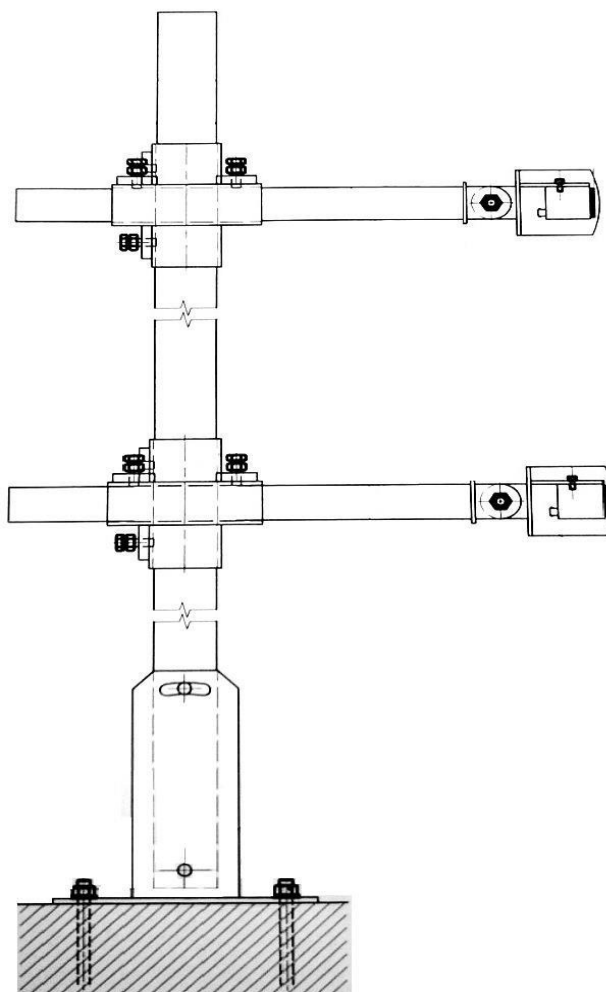
KUVIO 22. Pääakseliä pick-up ja kannake.

Päällekkäisten kardaaniakseliä kannakointi olikin hieman monimutkaisempi suunniteltava. Ensinnäkin akseliä vieressä oleva betonilattia ei ole missään kohtaa täysin suora, vaan viettää loivasti valssien alla oleviin kaivoihin. Lattioita ei ollut mahdollista suoristaa, joten kannakkeet (KUVIO 23.) vaativat niiden alaosaan saranan, muuten kannakkeet olisi pitänyt tehdä joka akselille erikseen erittäin tarkasti, ettei pystyputki olisi mihinkään suuntaan vinossa. Toinen huomioon otettava seikka oli pick-upien korkeussäätö, sekä horisontaalinen säätö, joiden täytyi olla mahdollista. Näillä säädöillä mahdollistetaan pick-upin aseman säätö optimaaliseksi akseliin nähden. Näiden kannakkeiden jalusta valmistettiin kahdesta paksusta kulmaraudasta, jotka pultattiin kiinni lattiaan. Raudat ovat toisiinsa nähden selät vastakkain ja ovat yhteydessä toisiinsa kahdella pultilla. Selkien väliin asennettiin valssituolista riippuen joko 140cm tai 175cm korkea pystyputki. Kulmarautojen

alempi pultti toimii pystyputken saranan akselina ja toinen pultti lukitsee sen paikoilleen kulmarautoihin tehtävään uraan, joka mahdollistaa putken kääntelyn. Myös tämä voidaan säätämisen jälkeen hitsata paikoilleen.

Pick-upien säädöt toteutettiin pääakseleiden kannakkeita muistuttavalla tavalla. Pystyputken ympärille suunnittelin isommasta putkesta korkeat kaulukset, jotka kiristettiin ensin pultilla oikeaan korkeusasemaan, ja myöhemmin kiinnitettäisiin hitsaamalla. Kauluksiin hitsattiin 90 asteen kulmaan toinen samanlainen kaulus, johon horisontaalisäädön mahdollistava vaakaputki kiinnitettiin vastaavalla pultilla. Tätä putkea ei hitsata paikoilleen, jotta pickupin puhdistus tarvittaessa helpottuu. Lisäksi alueella on joskus tarve suorittaa huoltotöitä ja tällä säädöllä pick-upit on mahdollista siirtää pois tieltä. Tämän vaakaputken päähän asennettiin itse pick-up neljällä ruuvilla. Tätä ns. kahden oksan puun mallista kannaketta pystyi käyttämään kaikilla kardaaniakseleilla, vaikka siitä pitikin tehdä kahta erikorkuista mallia erilaisten asennuspaikkojen takia.

Kaikkiin liikkuvien akselien vierellä olevien pick-upien yhteyteen suunnittelin vaakaputkien päihin lisäksi käsikiristeisen saranan ja ylimääräiset peltikaaret, jotka estävät laiterikkoja. Tämän ominaisuuden toimintaperiaate on yksinkertainen. Jos pyörivä akseli jossain tilanteessa tärähtää liikaa sivusuunnassa, tai liikkuu säädön takia pick-upia kohti, vastaa akseliin ensimmäisenä teräskaari, joka taas aiheuttaa saranan kääntymisen ja pick-up siirtyy pois akselin tieltä. Näin vältetään halvalla useamman tuhannen euron laiterikolta, jos akseli pääsisi hajottamaan pick-upin. Toisena vaihtoehtona ajattelin aluksi vaakaputken päähän lyhyttä liukukiskoa ja joustaa, jonka mukana pick-up voisi liikkua pois akselin tieltä, mutta tämä idea oli suunnittelutoimiston mielestä saranaa huonompi vaihtoehto.



KUVIO 23. Päällekkäisten kardaanien pick-upien kannakkeet ja pick-upit.

Kaikista suunnitelmista tein mahdollisimman tarkat piirrokset mittoineen ja ne lähetettiin puhtaaksi piirrettäviksi Rautaruukin suunnittelutoimistoon. Samoin kuin tehtiin myös perusarkkitehtuurin ja kaapelointienkin kanssa. Kannakkeet valmistetaan Rautaruukin korjaamolla. Tarkat koteloiden koot mitoitettiin suunnittelutoimistolla. Lisäksi kaapelointeja varten mittasin kaapelointimatkoja, sekä selvitin kaikki käytettävät kaapelityypit anturivalmistajien omista valmiskaapeleista lähtien, jotta ne tulivat lopullisiin kuviin oikein mahdollisimman tarkasti. Lopullisiin kannakkeisiin tuli lisäksi paikat induktiivisille asemaantureille, jotka ilmoittavat jos pick-up on kääntynyt pois paikoiltaan. Tämä asematieto tuotiin myös samoille Padu –moduuleille

digitaalituloihin, jotta jo automaatiotilassa voitaisiin huomata tilanteet, joissa mittatietoa ei antureilta tule ja onko syynä pick-upin liikeyhdys vai jokin muu.

3.6 Kaapeloinnit

Kaapelointikohteita opinnäytetyössä olivat aiemmin kohdassa 3.2 mainitut välimatkat anturien vahvistimilta Padu -moduuleille ja moduuleilta automaatiotilaan IbaPDA -tietokoneille. Niiden lisäksi kuitenkin täytyi kaapeloida virransyöttö näille kyseisille vahvistimille. Matkat olivat pisimmillään noin 60m ja kaapelointireitit paikoitellen ahtaita ja haastavia kaapelihyllyjen sijaitessa kolmannen kerroksen korkeudella. Kaapeloinneissa käytettiin mahdollisimman paljon olemassa olevia hyllyjä, suoja ja putkireittejä. Loput kaapelista asennettiin alumiiniputken sisään suojaamaan kaapeleita mekaaniselta rasitukselta. Herkimät ja tärkeimmät anturikaapelit sijoituivat paikkoihin, jotka ovat eniten alttiina mekaaniselle rasitukselle ja kaapelirikoille.

Virransyöttöä varten kaapeliksi valikoitui Öflex- tyyppinen ohjauskaapeli. Öflex- kaapeli soveltuu erittäin hyvin ohjaus- ja liitäntäkaapeliksi teollisuuden asennuksiin, sekä kuivissa että kosteissa tiloissa. Käyttökohteena sille ovat normaalisti teollisuuden säätö- ja mittausjärjestelmät. Kaapeli kestää hyvin happoja, emäksiä ja öljyjä. Näistä syistä varsinkin Öflexin armeerattu, eli mekaaniselta rasitukselta metalliverkolla lisäsuojattu versio on tehtaalla varsin yleinen näky. Öflexillä kaapeloitiin 230 VAC virransyöttö virtalähteille, jotka puolestaan syöttävät 24 VDC virtaa demodulaattorivahvistimille, jotka toimivat signaalien välittäjinä ja vahvistajina anturien ja automaation välillä. Käytännössä virransyöttö tapahtui siten, että Öflex - runkokaapeli kaapeloitiin

moottorihuoneen sähkökeskuksesta vain kahteen koteloon, joka sijaitsevat F2 ja F3, sekä F5 ja F6 valssituolien välissä. Molemmissa runkokoteloissa sijaitsee 20A kokoinen 24 VDC virtalähde, joista sitten kaapeloitiin sähkönsyöttö kaikille muille koteloille, joissa sijaitsivat vain anturien vahvistimet ja riviliittimiä.

Signaalinsiirtoon valitsin parisuojatun JAMAK- instrumentointikaapelin. Se soveltuu automaatio-, instrumentointi- ja prosessinohjaussovelluksiin ja erityisesti digitaalisten ja pienitasoisten analogisten signaalien siirtoon. Kaapeli antaa erinomaisen suojan sähkömagneettisia häiriöitä vastaan. Tämän takia paikalle valittiin JAMAK samankaltaisen, mutta vähemmän suojatun NOMAK-kaapelin sijaan. Molemmat ovat hyvin tavallisia teollisuudessa. JAMAK-kaapelilla kaapeloitiin signaalinsiirto anturien vahvistimilta Padu -signaalinkerääjille. Myös moniparinen JAMAK- runkokaapeli kaapeloitiin automaatiotilasta aiemmin mainituille runkokoteloille ja haaroitettiin niissä pienemmille koteloille. Näin säästyttiin useilta pitkiltä kaapelinedoilta.

Signaalinsiirto Padu -moduuleilta Iba -koneille tapahtui yhdellä valokuidulla. Kaapelina käytettiin Helkaman FXMMS 2 GKT parikuitukaapelia. Myös moduulien ketjutus tapahtui samantyyppisellä valokuidulla. Siirtomatka valokuidulla muodostui todella lyhyeksi Padu- moduulien kotelon sijoituspaikan vuoksi.

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyönä tämä oli varsin monipuolinen, kiinnostava, sekä ainutkertainen. Opinnäytetyössä päästiin lähes odotusten mukaiseen tavoitteeseen ja rajaus oli ainakin minulle sopiva. Pääsin tekemään ja kokemaan uuden laitteiston hankintaprosessin alkuselvityksistä ja suunnittelusta tarjousvertailun kautta myös asennukseen, parametrisointiin ja tulosten tulkintaan asti. Lisäksi opin asioita valssaustekniikasta, mittaustekniikasta, automaatiosta, antureista, sekä telemetriasta. Opinnäytetyössä oli huomattavasti enemmän huomioon otettavia asioita, kuin alunperin uskoin eikä työ ollut helpoimmasta päästä, näistä syistä työ venyi huomattavasti pidemmälle kuin oli tarkoitus. Toisaalta työn monipuolisuus oli vain hyvä asia, koska itse opinnäytetyöaihetta hakiessani halusin monipuolisen ja haastavan työn, jonka tulokset pääsisin itse käytännössä näkemään.

Opinnäytetyölle jäi runsaasti kehitys- ja laajennusmahdollisuuksia. Tämän opinnäytetyön tuloksien perusteella Rautaruukki voi laajentaa momentinmittausta tekemieni suunnitelmien perusteella jokaiselle akselille haluamansa aikataulun mukaisesti, sekä liittää halutessaan mittauksista saatavan tiedon muihin käyttökohteisiin. Lisäksi tätä opinnäytetyötä varten tekemieni selvitysten perusteella momentinmittauslaitteisto voitaisiin toteuttaa suoraan myös esivalssille.

Ainoana harmittavana asiana täytyy mainita tilauksien venyminen byrokratian takia, sillä sen takia opinnäytetyössä jäi näkemättä ja käsittelemättä uuden laitteiston käyttöönotto ja mittaustulokset. Onneksi kuitenkin tehtaalla oli

käytössä testilaitteisto, että opinnäytetyö ei jäänyt täysin teoreettiseksi ja pääsin näkemään venymäliuskojen asennuksenkin.

LÄHTEET

Astech 2014. Hakupäivä 22.2.2014.

<http://www.astechelectronics.co.uk/pages/datasheets/Tx%2034D,%2035D%20&%20RE3D%20Driveline%20App%20Aug%2010.pdf>

Baumann, E. Elektrische Messtechnik, VEB Verlag Technik, Berlin 1976.

Frantz, J. 1981. Torque monitoring increases primary mill productivity. Iron and Steel Engineer, Vol. 58, No. 7: 33-36.

Hietala, H. Diplomityö. 2003. KUUMAVALSSAAMON PÄÄMOOTTORIKÄYTTÖJEN TOTEUTUSVAIHTOEHDOT JA KUORMITUSRAJAT:18-29.

Honjyo, H & Watanabe, H. 1975. Impact loading and vibration of the slabbing mill. Iron and Steel Engineer, Vol 52, No. 5: 31-38.

Karsikas, T. Sähköpostiviestit. Tammi- ja helmikuu 2014.

Koivuviita K. Ohjaustekniikka: Anturitekniikan perusteet. Suomen Eduserver Ky 1997.

http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka3_54_84.pdf. Hakupäivä 15.1.2014.

Korpinen, L. Sähkövoimatekniikkaopus, sähkökoneet. 1998.

Krumbach, R, Mackel, J, Farkas, T & Schaaf, C. 2004. Der Reportgenerator an der Grobblechstraße der Ilsenburger Grobblech GmpH. Teoksessa: Seeliger, A & Burgwinkel, P (toim.) 5. Achener Kolloquium für Instandhaltung, Diagnose und Anlagenüberwachung

(AKIDA) Aachen, Germany 9-10 November 2004. Verlag Mainz, Saksa.: 457464.

Mackel, J & Fieweger, M. 2010. Condition Monitoring in Steel Industry. Teoksessa: Lahdelma S & Palokangas K (toim.) Maintenance, Condition Monitoring and Diagnostics – Proceedings of the 3rd International Seminar. Oulu, POHTO publications: 26-47.

Manner 2014. Hakupäivä 22.2.2014.
http://www.sensortelemetrie.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Vertriebsunterlagen/SV_AW_Katalog.pdf

Manninen, M. Sähköpostiviestit. Joulukuu 2013.

Metso Oy. 2014.
http://www.metso.com/Automation/pp_prod.nsf/WebWID/WTB041202-2256F-F1D24?OpenDocument&mid=45B3D6CDF47E51A6C2257B39003463F7#.Ut5ZK9L8ldV. Hakupäivä 21.1.2014.

Monaco G. 1977. Dynamics of rolling mills – Mathematical models and experimental results. Iron and Steel Engineer, Vol. 54, No. 12: 35-46.

Niiranen, J. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. 2000. Otatieto Oy Yliopistokustannus University Press Finland.

Peterson, S. 1964. Impact Torsional Vibration of Direct-Current Hot Strip Mill Drive Motors. Iron and Steel Engineer Year Book 1964: 823828.

Rautaruukki Oyj. 2013. Hakupäivä 10.12.2013 <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta>.

Ruukki Metals Oyj. 2007. Word– esitys. Vaatii käyttäjätunnuksen ja salasanan. Saatavissa: I:\team\vatsto\esitteet\nauhan esittelymateriaali\invesite.doc. Hakupäivä 15.1.2014.

Schulze, S. Mittaustekniikan osaston johtaja SMS Siemagilla. Sähköpostiviestit. Helmi- ja maaliskuu 2014.

Salonpää, T. Nauhavalssaamon tietojärjestelmät. 2009. PPT– dokumentti. Vaatii käyttäjätunnuksen ja salasanan.

Snively, H & Black, K. 1964. Hot Strip Mill Impact Loading. 33 Magazine, Vol. 2, March: 27-33

Iba AG. 2014. <http://www.iba-ag.com/>. Hakupäivä 16.1.2014.

Valtokari, J. Sähköpostiviestit. Joulukuu 2013.

Wachel, J & Szenasi, F. 1993. Analysis of Torsional Vibrations in Rotating Machinery. 22nd Turbomachinery symposium, Texas A&M University, USA: 127-152.

Wright, J. 1976. Mill drive system to minimize torque amplification. Iron and Steel Engineer, Vol. 53, No. 7: 56-60.

Wright, J. 1981. Tuning mill drives to minimize dynamic torques. Iron and Steel Engineer, Vol. 58, No. 5: 35-37.