

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikka

Toni Toikka

Oikaisukoneen rullien kulumisnopeuden kasvun syiden kartoitus

Opinnäytetyö 2011

Tiivistelmä

Toni Toikka

Oikaisukoneen rullien kulumisnopeuden kasvun syiden kartoitus, 34 sivua, 7 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka, Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tuotantotekniikan ja kunnossapidon suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2011

Ohjaajat: Lehtori Veli-Pekka Jurvanen, Saimaan ammattikorkeakoulu, Kehitys-insinööri Esa Heiskala, Ovako Bar Imatra Oy Ab.

Opinnäytetyön kohteena olivat pyöröterästankojen oikaisussa käytettävien oikaisurullien kulumisnopeuden kasvun syiden selvittäminen. Pyörtöoikaisu on pyörötankojen valmistukseen liittyvä prosessi, jossa niihin edellisissä valmistusprosessien vaiheissa, muun muassa lämpökäsittelyssä, syntyneiden jännitysten johdosta vääntyneet tangot oikaistaan. Oikaisuprosessi tehdään huoneenlämmössä, joten oikaisuun tarvittavat voimat ja rulliin kohdistuvat kuormitukset ovat suuria. Työ rajattiin kahteen oikaisukoneeseen Bronx-6 ja Bronx-7.

Oikaisu rullien kulutus on viime vuosina selvästi kasvanut. Työn tavoitteena oli selvittää, mistä kulumisnopeuden kasvaminen johtuu ja ratkaisuja tai parannuksia näihin ongelmiin.

Apuna käytettiin mm. vika-vaikutusanalyysia ja erilaisia mittauksia. Näistä saatujen tulosten pohjalta on annettu ehdotuksia oikaisun kehittämiseen ja parantamiseen.

Asiasanat: Ovako Bar Oy AB, terästanko, RCM, oikaisukone.

Abstract

Toni Toikka

Report on wear of the rollers of two roll-straightening machines, 34 pages and 7 appendices

Saimaa university of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Lappeenranta

Mechanical Engineering and Production Technology

Final year thesis 2012

Instructors: Mr. Veli-Pekka Jurvanen, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences, Mr. Esa Heiskala, Development Engineer, Ovako Bar Imatra Oy Ab.

The subject of this thesis was to find out about the reasons for increasing wear of the rolls of two-roll straighteners. Two roll straightening is a process where the curved round steel bars are straightened. Straightening is performed at room temperature, so large forces are needed. Therefore the rolls are also exposed to high loads. This thesis was limited to two machines, Bronx-6 and Bronx-7.

The wear of the straightening rolls has increased in the recent years. The aim of this thesis was to find the cause of wear and, if possible, to eliminate these problems.

The method used was RCM and other measurements. The suggestions for corrective measures are based on this method and measurements.

Keywords: Ovako Bar Oy Ab, bar, RCM, Two-roll straightening.

Sisältö

1 Johdanto.....	6
1.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus.....	7
1.2 Ovako Bar Oy Ab Imatra ...	8
1.3 Pyörtöoikaisu	10
2 Rullien kulutuksen kehitys.....	13
3 Ongelmien kartoitus	15
3.1 RCM.....	15
3.2 Vika- ja vaikutusanalyysi, VVA.....	15
3.2.1 VVA- toteutus	16
3.2.2 VVA- tulos	16
4 Tankojen päät	17
4.1 Bronx-7 AISA Profisyportal	18
5 Virheiden simulointiajot	19
5.1 Simuloinnin toteutus.....	19
5.1.1 Simuloinnin lähtötilanne	20
5.1.2 Simuloinnin kulku	20
5.2 Simuloinnin yhteenveto.....	21
5.3 Simuloinnin tulosten tarkastelu.....	22
5.4 Kuormitukset oikaisussa.....	23
5.5 Bronx-6 voimien mittauslaitteisto	24
6 Oikaisurulla materiaalit.....	25
7 Kovuusmittaus	26
7.1 Työn kuvaus.....	26
7.2 Mittavälineet.....	26
7.3 Työn kulku.....	28
7.4 Kovuusmittauksen tulokset.....	29
7.5 Kovuusmittauksen yhteenveto.....	30
8 Oikaistavat materiaalit.....	31
9 Havainnot ja ehdotukset	33
Kuvat.....	34
Taulukot.....	34
Lähteet.....	34

Liitteet

- Liite 1 Vika- vaikutusanalyysi
- Liite 2 Asiakasvaatimus ohje
- Liite 3 Soikeus ohje
- Liite 4 Työmääräin
- Liite 5 Tankojen keskimääräinen soikeus
- Liite 6 Simuloinnin yhteenveto
- Liite 7 Kovuusmittaus pöytäkirja

Termit ja yksiköt

v	nopeus
HL	kovuus
TR	työstöryhmä
mm	millimetri
µm	mikrometri
t	tonni
A	ampeeri
HV	vickers-kovuus
HB	brinell-kovuus
HRC	rockwell-kovuus
JJ	Jatkojalostusosasto

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty Ovako Bar Oy Ab Imatran jatkojalostusosastolle. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää syyt pyörtöoikaisukoneiden oikaisurullien kulumisnopeuden kasvuun. Kasvaneiden rullakustannusten takia on tärkeää selvittää, mistä nämä asiat johtuvat ja mahdollisuuksien mukaan etsiä niihin ratkaisuja. Työ on haastava, oikaisuprosessin monimutkaisuuden vuoksi.

Pyörtöoikaisu on pyörötankojen valmistukseen liittyvä prosessi, jossa niihin edellisissä valmistusprosessien vaiheissa, muun muassa lämpökäsittelyssä, syntyneiden jännitysten johdosta vääntyneet tangot oikaistaan. Lisäksi oikaisussa pyritään poistamaan tankojen pinnoille syntynyt oksidikerros.

Pyörtöoikaisukoneessa on kaksi rullaa, yläpuolella kovera ja alapuolella kupera. Oikaisussa tanko kulkee rullien välistä, mikä aikaansaa tankoon taivutusjännityksen. Rullat on asetettu toisiinsa nähden hieman ristikkäin, jolloin tanko pyörii myös oman pituusakselinsa ympäri.

Oikaisuprosessi tapahtuu huoneen lämmössä, joten oikaisussa rulliin kohdistuvat kuormitukset voivat olla hyvin suuria.

1.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaus

Työn päätavoitteena on selvittää syyt oikaisurullien lohkeiluun ja mahdollisuuksien mukaan etsiä ongelmiin ratkaisuja. Jatkojalostuksella on pyörtöoikaisukoneita viisi kappaletta, joten heti ensimmäiseksi työ rajataan kahteen oikaisukoneeseen. Valitsimme kohteiksi Bronx-6 ja 7-oikaisukoneet, koska näillä koneilla on esiintynyt eniten ongelmia. Näille koneille tutkittavaa materiaalia on myös valmiiksi tarjolla, varastohallissa romutettuna kaksi Bronx 6-oikaisurullaa ja yksi Bronx 7-oikaisurulla (kuva 1).



Kuva 1. Bronx 7:n särkynyt rulla.

Apuna ongelmien kartoittamisessa käytetään toimintavarmuuskeskeisestä kunnossapidosta (RCM) tuttua Vika-, Vaikutus- ja Kriittisyysanalyysia (VVKA), jossa kaikki mahdolliset ongelmien aiheuttajat kerätään taulukkoon ja arvioidaan niiden vaikutukset. Näin saadaan selville, mitä asioita on syytä tarkastella tarkemmin.



Kuva 2. Imatran terästehdas. (1.)

1.2 Ovako Bar Oy Ab Imatra

Imatran terästehdas (kuva 2) sijaitsee Vuoksen varrella lähellä Venäjän rajaa. Nykyisellä paikalla on tehdas toiminut vuodesta 1937. Toiminta alkoi nimellä Oy Vuoksenniska Ab, vuonna 1969 perustettiin Ovako-ryhmä ja yrityskauppojen seurauksena 1986 toiminta jatkui nimellä Ovako Steel Ab. Imatra Steel perustettiin vuonna 1991, kun Metra ja SKF jakoivat Ovako-konsernin. Tämän nimenalla jatkettiin teräksen valmistamista aina vuoteen 2005, jolloin otettiin taas käyttöön Ovako nimi. (1.)

Ovako Bar Oy Ab Imatra on osa Ovako konsernia, jonka muut tuotantopaikkakunnat ovat Hofors, Hällefors, Smedjebacken ja Boxholm. Divisioonan tuotannosta terästä on 1,3 milj. tonnia ja tankoja 1,15 milj. tonnia. Henkilöstöä kaikilla paikkakunnilla on yhteensä 2000. Imatralla heistä työskentelee n. 600 henkilöä. Vuotuiset toimitusmäärät ovat n. 200 tuhatta tonnia. (1.)

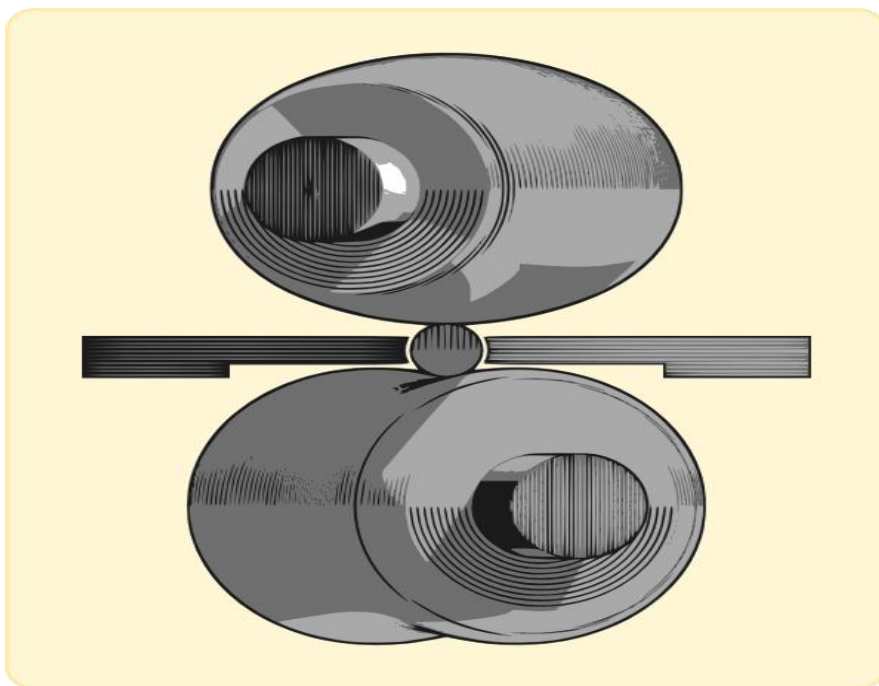
Suurin osa n. 50 % Imatran tuotannosta menee takomoille, loput konepajateollisuuteen ja teräspalvelukeskuksille. Viennin osuus on 80 %. Imatran valmistusohjelmaan kuuluu 25 - 200 mm:n pyörötangot, joissa noin 200 eri

vakiomittaa ja 30 – 150 mm:n neliötangot, joissa noin 80 eri vakiomittaa. Eri teräslajeja ohjelmaan kuuluu noin 250. (1.)

Jatkojalostus osasto on konepaja-tyyppinen osasto, jossa on paljon erilaisia laitteita. Osastolla työskennellään pääasiallisesti kolmessa vuorossa, viitenä päivänä viikossa. Lämpökäsittely toimii keskeytymättömänä läpi viikon. Työntekijöitä osastolla on n. 100. Osaston tilat käsittävät viisi eri hallia, joista suurin on 325 metriä pitkä ja 40 metriä leveä. Erilaisia tuotteita ja jatkojalostusasteita on lukematon määrä. Tärkeimpinä voidaan pitää lämpökäsiteltyjä tuotteita, joiden lisäksi osastolla suoritetaan mm. oikaisua, sinkopuhdistusta, kylmävetoa, sahausta, sorvausta ja tarkastusta. (1.)

1.3 Pyörtöoikaisu

Pyörtöoikaisukoneita Imatran tehtailla on kuusi kappaletta, joista viisi sijaitsee jatkojalostusosastolla. Mitta-alueet vaihtelevat koneen mukaan ja osastolla pystytään oikaisemaan pyörötankoja 20 mm:stä aina 200 mm:iin asti. Oikaisun päätavoitteena on oikaista aikaisempien prosessien aiheuttamien jännitysten johdosta vääntyneet tangot. Suoruusvaatimus oikaistuille tuotteille on 1 mm/m (3.). Lisäksi oikaisussa pyritään poistamaan tankojen pintaan syntynyt oksidi kerros.

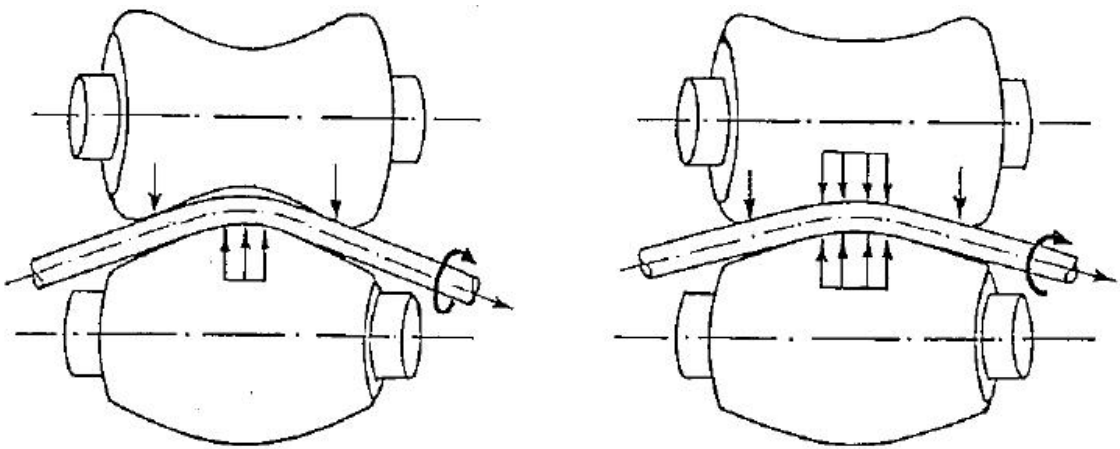


Kuva 3. Oikaisurullat ja tukikiskot. (1.)

Pyörtöoikaisukoneessa on kaksi ristikkäin asetettua rullaa, alapuolella kupera ja yläpuolella koverarulla. Rullien muoto aiheuttaa tankoon taivutusjännityksen. Jännitysten suuruuteen voidaan vaikuttaa rullien asemoinnilla, rullan muodolla ja rullien kulmalla. Rullien etäisyyttä toisiinsa ja kulmaa pystytään säätämään hydraulisesti. Rullat saavat voimansa murrosakseleiden välityksellä sähkömoottoreilta. (2.)

Kun tanko menee pyörivien rullien väliin alkaa se rullien asemoinnin ja kulman vaikutuksesta pyöriä oman pituusakselinsa ympäri. Tukikiskot pitävät tangon halutulla linjalla oikaisun ajan.(kuva 3.) (2.)

Pyörtöoikaisu perustuu tankoon muodostuviin, myötölujuutta suurempiin taivutusjännityksiin, jotka aiheuttavat tankoon plastista muodonmuutosta. Oikaisua voidaan tehdä kahdella eri menetelmällä, vapaantaivutuksen menetelmällä ja taivutus-puristusmenetelmällä. Taivutusmenetelmässä oikaistava tanko koskettaa rullia vain kolmesta kohdasta, alarullan keskeltä ja ylärullan reunoilta. Taivutus-puristusmenetelmässä tanko koskettaa ylärullaa koko sen koveran muodon matkalta ja alarullaa sen keskiosalta, näistä on esimerkki kuvassa 4. (2.)



Kuva 4. Oikaisumenetelmät. Vasemmalla vapaan taivutuksenmenetelmä ja oikealla taivutus- puristusmenetelmä. (2.)

Nykyään on jouduttu siirtymään yhä enemmän käyttämään taivutus-puristusmenetelmää, koska lujien teräslajien osuus on kasvanut. Tämä tarkoittaa sitä, että rulliin kohdistuvat jännitykset ovat myös kasvaneet. Oikaisutapa valitaan rullien etäisyyttä säätämällä. Mikäli rullien etäisyys on vähintään 0,5 mm suurempi kuin oikaistavan tangon halkaisija, on kyseessä taivutusoikaisu. Jos taas rullien etäisyys on tangon halkaisijan suuruinen tai tätä pienempi, on kyseessä taivutus-puristusoikaisu. (2.)

Oikaisuprosessin kuvaus

Oikaisija nostaa oikaisuun tulevat taakat syöttöpöydälle, kuvassa 5 taka-alalla. Taakka avataan ja tangot levitetään matoksi sivusiirtoketjujen päälle. Tästä annostelija automaattisesti annostelee yksi kerrallaan tankoja syöttörullaradalle, joka kuljettaa tangot oikaisukoneen pyörivien rullien väliin. Heti kun tangonpää menee rullien väliin, alkavat oikaisurullat vetää tankoa, ja samalla tanko rupeaa pyörimään myös oman akselinsa ympäri. Rullien välissä tangot suoristuvat taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutuksesta. Oikaisun jälkeen oikaistut tangot putoavat poistorullaradalle, joka kuljettaa tangot valmispussiin. Oikaisija nostaa valmiit taakat nosturilla varastoon, odottamaan seuraavaa työvaihetta.



Kuva 5. Bronx 7-oikaisulinja

Oikaisuprosessin aikana tangon ja rullien väliin tuodaan paineella oikaisunestettä, jonka päätehtävinä on voitelu, jäähdytys ja epäpuhtauksien, pääasiassa hilseen pois kuljettaminen. Oikaisunesteenä käytetään mineraaliöljy pohjaisia emulsioita.

2 Rullien kulutuksen kehitys

Rullien vuosittainen kulutus kappalemäärinä ei ole noussut vuoden 2007 tasosta. Mutta kun tarkastellaan sekä rullien kulutusta ja ajettuja valmistuneita tonneja, huomataan, että rullien kulutus suhteessa oikaistaviin määriin on noussut.

Varastosta kuitattujen rullien kulutus

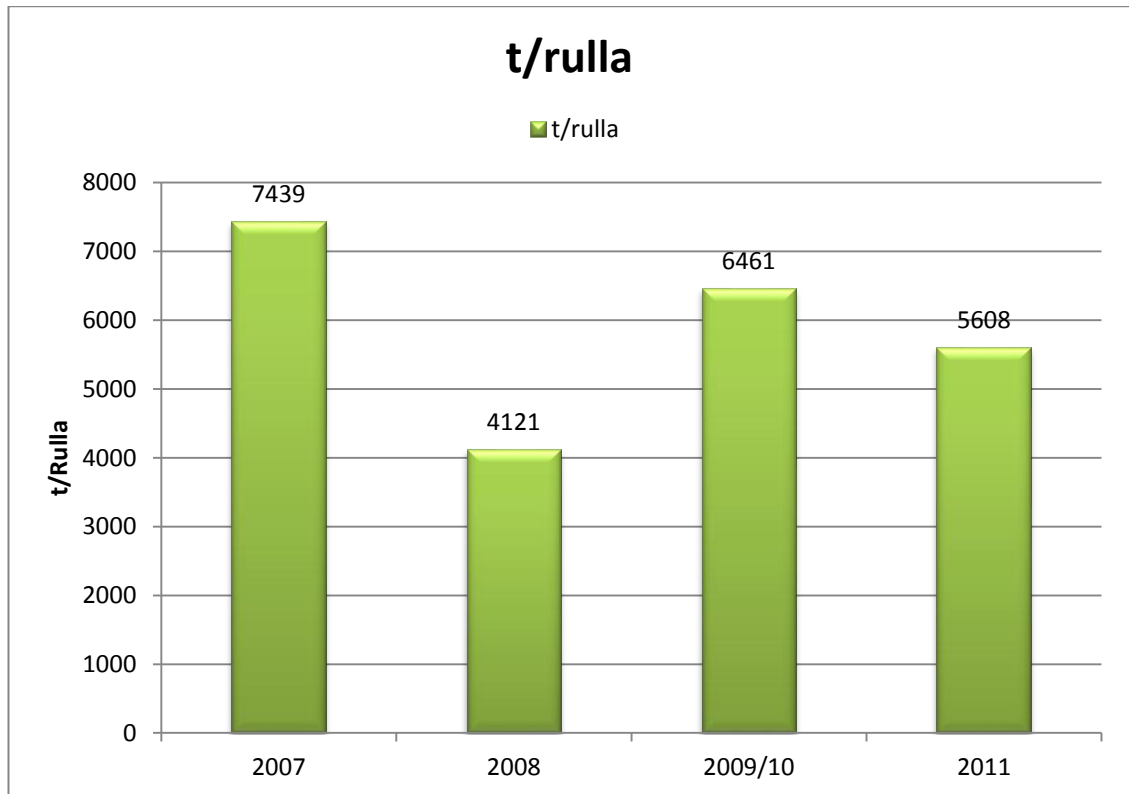
Oikaisurullat ovat nimikkeellisiä varaosia, jotka korjausmiehet kuittaavat pois varastosta uusien rullien laakeroinnin yhteydessä. Samalla he merkitsevät rullat JJ:n omaan seurantaan.

Bronx 7 Rullien kulutus					
Vuosi	kovera	Suora	Tot Tonnit	t/rulla	ka. V.09-10
2007	2	2	29755	7439	
2008	3	3	24725	4121	
2009	2	2	9606	2402	6461
2010	2	0	21042	10521	
2011	2	2	22431	5608	
Ka.				6018	

Taulukko 1. Rullien kulutus suhteutettuna oikaistuihin tonneihin. (5.)

Taulukkoon 1 on koottu vuosittain varastosta otetut rullat, toteutuneet valmiit tonnit ja laskettu näistä valmistuneet tonnit/rulla. Tuloksia vertaamalla havaitaan, että valmiit tonnit/rulla ovat tasaisesti laskeneet vuoden 2007 tasosta. Vuosi 2009 ei ole vertailukelpoinen muiden vuosien kanssa silloisen huonon tilauskannan vuoksi. Tämä huono vuosi näkyy myös seuraavassa vuodessa, jolloin on ajettu vuonna 2009 varastosta kuitatuilla rullilla. Tämän takia vuoden 2010 rullakulutus on tilastojen mukaan huomattavasti alle normaalin. Taulukkoon onkin laskettu vuosiksi 2009 ja 2010 keskiarvo, joka vastanee paremmin todellista tilannetta. Vuonna 2007 oikaisumäärät olivat noin 7400 tonnia/rulla. Tällä hetkellä oikaistavat määrät ovat alle 6000

tonnia/rulla. Tämä vuosi on kuitenkin vielä kesken, joten tarkasti ei vielä pystytä kulutusta määrittämään. Näyttää kuitenkin siltä, että oikaisumäärät ovat pudonneet n. 20 % /rulla. Laskennoissa on otettu huomioon kaikki varastosta kuitatut rullat, ylä- ja alarullien osuuksia ei ole eroteltu toisistaan.



Taulukko 2. Oikaistut tonnit/rulla. (5.)

Taulukossa 2 on kuvattu pylväskaaviona ajetut tonnit/rulla vuosittain. Pysty-akselilla on ajetut tonnit/rulla ja vaaka-akselilla vuodet. Alkuvuonna 2008 on ollut jotain ongelmia ylärullien kanssa. Niitä oli särkynyt kaksi kappaletta parin viikon välein, se selittää vuoden 2008 matalan tason. Taulukko kertoo kuitenkin selvästi sen, että valmistuneet tonnit rullaa kohti ovat laskeneet tasaisesti. Pudotus vuoden 2007 tasosta tämän päivään tasoon on merkittävä, eli lähes 2000 tonnia/rulla.

3 Ongelmien kartoitus

Ongelmien kartoituksen tavoitteena oli selvittää, mitkä asiat ovat merkityksellisiä rullien kulumisnopeuden kasvun kannalta ja mihin on syytä syventyä tarkemmin.

Selvityksessä apuna käytettiin RCM-menetelmän vika- ja vaikutusanalyysiä.

3.1 RCM

Toimintavarmuuskeskeinen kunnossapito (Reliability Centered Maintenance) kehitettiin 1960-luvun loppupuolella siviili-ilmailun käyttöön. Nykypäivänä RCM-metodologiaa käytetään hyödyksi monella eri teollisuuden alalla.

Toimintavarmuuskeskeinen kunnossapito on menetelmä, jolla luodaan sellainen kunnossapito-ohjelma, joka mahdollistaa koneiden ja rakenteiden tehokkaan, turvallisen ja taloudellisen käytön.

RCM-menetelmä jakautuu kahteen pääosioon: vika-analyysiin ja edellisen tulosten perusteella tehtävään kunnossapitostrategian valintaan.

3.2 Vika- ja vaikutusanalyysi, VVA

Vika-analyysin tekemisessä käytettiin menetelmänä vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysia (lyh. VVKA, engl. FMECA, Failure Mode, Effect and Criticality Analysis). VVKA:n ja myös RCM:n keskeinen osio on kriittisyysanalyysi, jonka avulla tunnistetut vikamahdollisuudet asetetaan keskinäiseen tärkeysjärjestykseen. (3.)

Työssä käytetty malli oli ns. virtaviivaistettumalli, joka oli muokattu sopivaan muotoon. Tässä vaiheessa ei keskitytty kustannuksiin, vaan yritettiin selvittää syyt rullien ennenaikaiseen vaurioitumiseen, lähinnä palojen lohkeiluun. Tästä on kuvassa 1. hyvä esimerkki. Kuvan rulla olisi muiden mittojen osalta vielä täysin käyttökelpoinen, mutta lohjonneen palan vuoksi siitä ei saa edes sorvaamalla käyttökelpoista, vaan se on romutettava.

3.2.1 VVA- toteutus

Kokoonnuimme pienellä joukolla miettimään syitä ongelmiin. Mukana oli henkilöitä sekä kunnossapidosta että tuotannosta, jotta saatiin mahdollisimman monenlaisia näkökulmia oikaisuprosessista.

Liitteen 1. mukaiseen vika- ja vaikutusanalyysiin koottiin Bronx 6-oikaisukoneen mahdollisia ongelmien aiheuttajia ja syitä. Aluksi taulukkoon merkittiin kaikki asiat, jotka vain vähänkin saattoivat liittyä oikaisurulla ongelmaan, joko suoraan tai välillisesti.

Seuraavaksi jokainen kohta käytiin huolellisesti läpi ja pisteytettiin ne sen mukaan, millaista särkymistä ne aiheuttavat ja kuinka todennäköinen tapahtuma on. Näistä laskettiin ns. kriittisyysindeksi. Mitä suurempi indeksin arvo on, sitä todennäköisempää särkyminen on. Pisteytyksessä äkilliseen särkymiseen liittyville tekijöille annettiin suurempi painoarvo. Asteikko näillä on 0 - 1000. Seuraavaksi suurin painoarvo annettiin hitaaseen särkymiseen johtaville tekijöille, asteikko 0 - 100. Lisäksi huomioitiin vielä asiat joilla ei ollut suoraa vaikutusta, mutta saattaisi olla jokin yhteys, näillä asteikko on 0 - 10. Tapahtuman todennäköisyydelle asteikko on 1 - 5. Mitä suurempi luku on, sen todennäköisempi on sen esiintyminen.

3.2.2 VVA- tulos

Selvästi suurimmaksi ongelmien aiheuttajaryhmäksi nousivat oikaistavat materiaalit ja niiden ominaisuudet. Erityisesti huonojen tangon päiden vaikutus näyttäisi olevan erittäin merkittävä. Toisena selvänä aiheuttajana tässä ryhmässä erottuu soikeus.

Toiseksi suureksi ryhmäksi nousivat rullien materiaalit ja niiden ominaisuudet. Erityisesti kovuudella näyttäisi olevan suuri merkitys rullien äkillisiin vaurioitumisiin.

Yksittäisenä kohteena erottui myös oikaisukoneen ominaisuuksista ylärullan joustaminen raskaasti kuormitettuna, tai lähinnä jouston puuttuminen. Tällä voitaisiin leikata mahdollisia kuormituspiikkejä ja näin välttää ainakin osa särkymiseen johtavista kuormituksista.



Kuva 6. Litistyneitä tankojen päitä

VVA:n tulosten perusteella lähdettiin tarkemmin tutkimaan rullien kovuuden muutosten, huonojen tangonpäiden sekä muiden oikaisumateriaalien ominaisuuksien vaikutuksia äkillisiin särkymisiin.

4 Tankojen päät

Huonot tankojen päät ja niiden vaikutukset äkillisiin särkymisiin nousivat VVA:n perusteella selvästi suurimmaksi yksittäiseksi mahdolliseksi aiheuttajaksi. Suurin ongelma on päiden litistyminen. Päät saattavat, joissakin tapauksissa litistyä jopa useita millimetrejä. Kun litistynyt pää menee rullien väliin, oikaisukone muovaa pään pyöreäksi. Usein seurauksena on palanut tangonpää, mikä todennäköisesti aiheuttaa myös suuren kuormituspiikin. Asian selvittämiseksi päätettiin järjestää ns. simulointiajo.

Litistyminen syntyy hienovalssaamon leikkurilla, jossa tangot katkotaan määrämittäisiksi. Katkaisussa litistymiseen vaikuttavia tekijöitä voivat olla esimerkiksi tangon korkea lämpötila, leikkurin katkaisu-ura ja laji.

Päiden litistymiselle ei asiakasvaatimusohjeistossa eikä soikeusohjeessa (liitteet 2 ja 3) ole annettu toleransseja. Poikkeuksena ovat tilaukset joissa asiakas tilaa tangot esimerkiksi päät tasattuna ja viistettynä. Silloin ohjeistosta on mainittu asetetut vaatimukset. Olisikin syytä miettiä, onko tarpeellista asettaa huonoille päille jokin toleranssi oman jatkokäsittelyn helpottamiseksi ja tarvittaessa ohjata huono erä esimerkiksi sahaukseen ennen oikaisua. Kuvassa 6 olevissa 45 mm:n tangoissa litistymistä on tapahtunut yli 2 mm, mikä on aika normaali tilanne. Usein päät litistyvät vieläkin enemmän.

4.1 Bronx-7 Aisa profisyportal

Bronx 7-oikaisukone on liitetty osaksi AISA profisyportal tietojen keruujärjestelmää (kuva 7.), joka kattaa lähes koko Imatran tehtaan. Tutkittaessa ohjelmiston tallentamaa dataa huomattiin, että oikaisukoneen rullien virtaa kuvaavissa käyrissä on kuormituspiikkejä. Kuormituspiikit eivät ole aina samanlaisia, vaan niitä on erityyppisiä. Eniten korkeita virtapiikkejä esiintyy, kun tanko menee koneeseen. Joskus piikkejä esiintyy kun tanko on koneessa noin puolessa välissä. Käyrän muodosta pystytään todennäköisesti päättämään, onko kyseessä virheellinen materiaali vai onko kone virheellisesti säädetty.



Kuva 7. AISA:n Aloituspäyttö

Edellä tehtyjen havaintojen perusteella, päätettiin kuormitusmittaukset suorittaa Bronx 7-oikaisukoneella simuloiden erilaisia virhetilanteita.

5 Virheiden simulointiajot

Koeajoilla pyrittiin selvittämään, millaisia kuormituksia eri virheet oikaisussa aiheuttavat rulliin AISA profisyportaliin tallentuneen datan avulla. Näitä tietoja apuna käyttäen pyrittiin selvittämään, onko näillä virheillä yhteys rullien äkillisiin särkymisiin. Lisäksi näistä tiedoista voi olettaa olevan hyötyä muussakin oikaisun kehittämisessä, esimerkiksi oikaisukoulutuksissa.

5.1 Simuloinnin toteutus

Simulointia varten oli varattu liitteen 4 mukainen tilaus (TR 9-10). Vastaavissa aikaisemmissa tilauksissa oli ollut jonkin verran litistyneitä päitä. Yksi tilauksen taakoista oli reititetty sahan kautta, jossa sen huonot päät oli sahattu. Näin pystyttiin vertailemaan, miten tämän taakan oikaisussa syntynyt data poikkesi muista taakoista. Kovuusvaatimus tilaukselle on 325- 345 HB.

Lisäksi pyrittiin säätämään kone tietoisesti joillakin virheellisillä tavoilla ja katsottiin, miten eri virhetilanteet näkyvät kuormituskäyrillä.

Avainasemassa kokeen onnistumiselle oli, että koneen säädöt teki kokenut oikaisija. Testissä oikaisijana toimi henkilö, joka nykyään suurimmaksi osaksi vastaa uusien oikaisijoiden käytännön tason koulutuksesta.

5.1.1 Simuloinnin lähtötilanne

Koeajoa varten oikaisukoneeseen asennettiin uudet oikaisukiskot, jottei niistä synny ylimääräistä kuormitusta kokeen aikana ja raoksi säädettiin 50 mm. Suoritushetkellä koneessa oli erittäin kuluneet oikaisurullat, joista oli lohkeillut jo pieniä paloja. Lisäksi etuportinlukituksessa oli jonkin verran väljää. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut kokeen läpi viemiseen.

5.1.2 Simuloinnin kulku

Aluksi syöttöpöydälle levitettiin taakka, jossa tangon päät olivat hienovalssaamon leikkurin jäljiltä. Ensimmäisistä 30 tangosta mitattiin soikeus noin viiden millimetrin etäisyydeltä siitä päästä, joka meni ensin koneeseen. Siitä mitattiin maksimimitta ja minimimitta, joista laskettiin soikeus. Kaikkien mitattujen tankojen soikeuden keskiarvoksi saatiin 3,5 mm (liite 5).

Seuraavaksi oikaisija säätö koneen parhaalla mahdollisella tavalla. Tämän jälkeen ajettiin ensimmäinen taakka, jossa oli 80 tankoa. Ainoat muutokset, joita tämän taakan ajon aikana kokeiltiin, oli nopeuden muuttaminen, sillä ei näyttänyt olevan vaikutusta sen enempää kuormituksiin kuin tankojen suoruuteen tai pinnan laatuun.

Tämän jälkeen ajettiin samoilla säädöillä taakka, jonka tankojen päät oli sahattu. Tässä taakassa tankoja oli 24 kappaletta.

Viimeisellä taakalla, joka oli valssaamonleikkurin jäljiltä, muutettiin koneen säätöjä. Ensimmäiseksi säädettiin takimmaista tukikiskoa 5 mm taaksepäin, jolloin raoksi saatiin 55 mm. Näillä säädöillä ajettiin 10 tankoa, jonka jälkeen säätöjä muutettiin. Seuraavaksi säädettiin myös etukiskoa 5 mm taaksepäin, rako oli 50 mm. Näillä säädöillä ajettiin vain kaksi tankoa, koska tangot olivat niin vääriä. Sitten etukiskoa säädettiin 10 mm eteenpäin, rako oli nyt 60. Tällä

säädöllä ajettiin kolme tankoa. Seuraavaksi säädettiin etukiskoa 10 mm eteenpäin, rako oli nyt 70 mm ja ajettiin tällä säädöllä 10 tankoa. Etukiskoa säädettiin taas 10 mm eteenpäin, rako 80 mm. Tällä säädöllä ajettiin kahdeksan tankoa, joista kahdelle viimeiselle puristusta hieman lisätään. Seuraavaksi kone säädettiin alkuarvoihin ja koe oli päättynyt.

5.2 Simuloinnin yhteenveto

Simuloinnissa syntynyt data on koottu liitteeseen 6 selityksineen. Oikaisijan säätämällä alkuarvoilla, ensimmäisen taakan peruskuormitustaso oli noin 120 A. Kuormituspiikkejä esiintyi 77 %:lla tangoista niiden mennessä koneeseen. Kuormituspiikkien keskiarvo oli 150 A:n luokkaa. Noin 17 % piikeistä ylitti 160 A:n tason ja huippuarvo oli 177 A. Nopeuden nostolla ei ollut vaikutusta kuormitustasoon. Kaikki oikaistut tangot olivat hyväpintaisia ja suoria.

Samoilla asetuksilla ajatussa sahatussa taakassa peruskuormitustaso oli samaa luokkaa kuin ensimmäisessä taakassa. Kuormituspiikit olivat samantyyppisiä, mutta niitä oli hieman vähemmän, piikkejä oli 63 %:lla tangoista. Kuormituksen suuruuden keskiarvo oli hieman korkeampi, sillä 33 %:lla 160 A:n taso ylittyi. Huippuarvo oli 189 A. Kaikki oikaistut tangot olivat hyväpintaisia ja suoria.

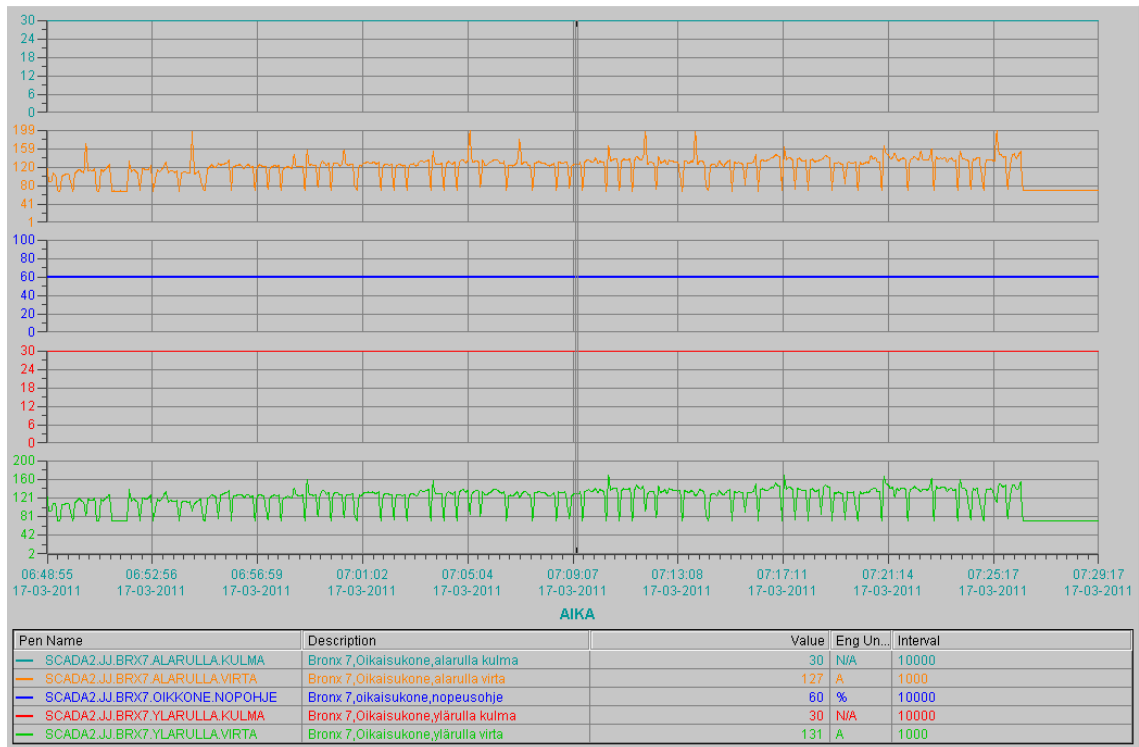
Viimeisellä taakalla tehtyjen säätömuutosten perusteella huomattiin, että kun etukiskoa siirrettiin eteenpäin ja rako kasvoi, myös kuormitus pieneni. Kuormitustason pudotessa myös kuormituspiikit pienenivät tai niitä ei esiintynyt lainkaan. Säätömuutoksista huolimatta aina raon suurentamiseen 70 mm:iin asti tangot olivat erittäin suoria ja hyväpintaisia. Vasta kun rako oli 80 mm, muutama tangoista jäi hieman vääräksi.

Kuvan 9 kaltaisia kuormituspiikkejä ei saatu kovasta yrityksestä huolimatta syntymään. Yksi syy voisi olla väärin asemoitu tukikisko, joka jossain oikaisun vaiheessa ottaa kiinni oikaisurullaan. Tätä tilannetta ei kuitenkaan kokeessa ehditty simuloimaan, ja se voisi olla käytännössä aika vaikea toteuttaa.

5.3 Simuloinnin tulosten tarkastelu

Saatujen tulosten perusteella näyttää siltä, että huonoilla päillä ei ole niin suurta merkitystä kuormituspiikkeihin, kuin oletettiin. Tankojen päiden sahaaminen ei tuonut siltä odotettua hyötyä. Päinvastoin näyttää siltä, että kuormituksen huiput olivat suurempia sahatuilla tangoilla. Huomion arvoista on se, ettei kokeessa ajettu kuin yhtä tilausta, joten jollakin muulla lajilla ja mitalla lopputulos saattaisi olla erilainen. Olisikin hyvä, jos vastaava koe voitaisiin tulevaisuudessa tehdä myös jollain muilla mitoilla ja lajeilla.

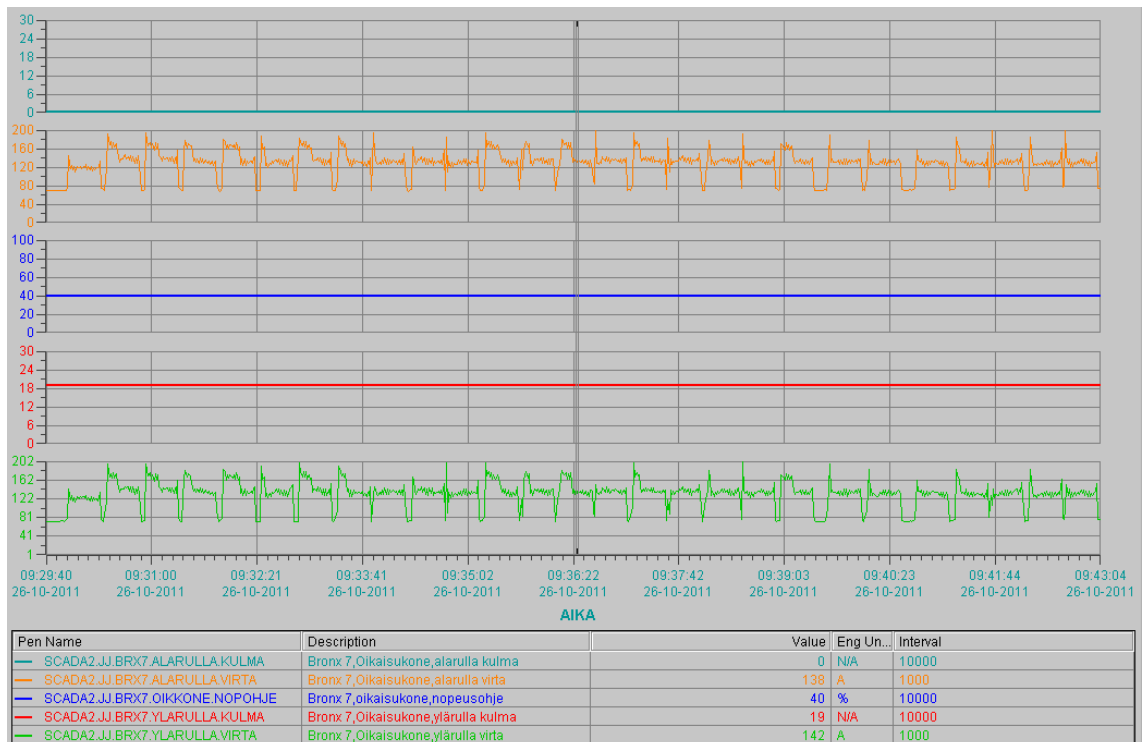
Koneen säätäminen oli avainasemassa kuormitusten syntymiseen. Raon kasvattamisen myötä kuormitukset putosivat oleellisesti. Tähän voivat osa tekijänä vaikuttaa kuluneet rullat, jolloin kiskolinjan säädön seurauksena tanko siirtyi rullan vähemmän kuluneelle osalle ja lopputulos oli parempi. Kannattaa myöhemmin selvittää, yritetäänkö tankoja oikaista liikaa puristamalla taivutuksen sijaan. Liiallinen puristaminen saattaa vaurioittaa materiaalia sekä lisätä jäännösjännityksiä.



Kuva 8. Oikaisussa syntyvät kuormituspiikit keskellä tankoa.

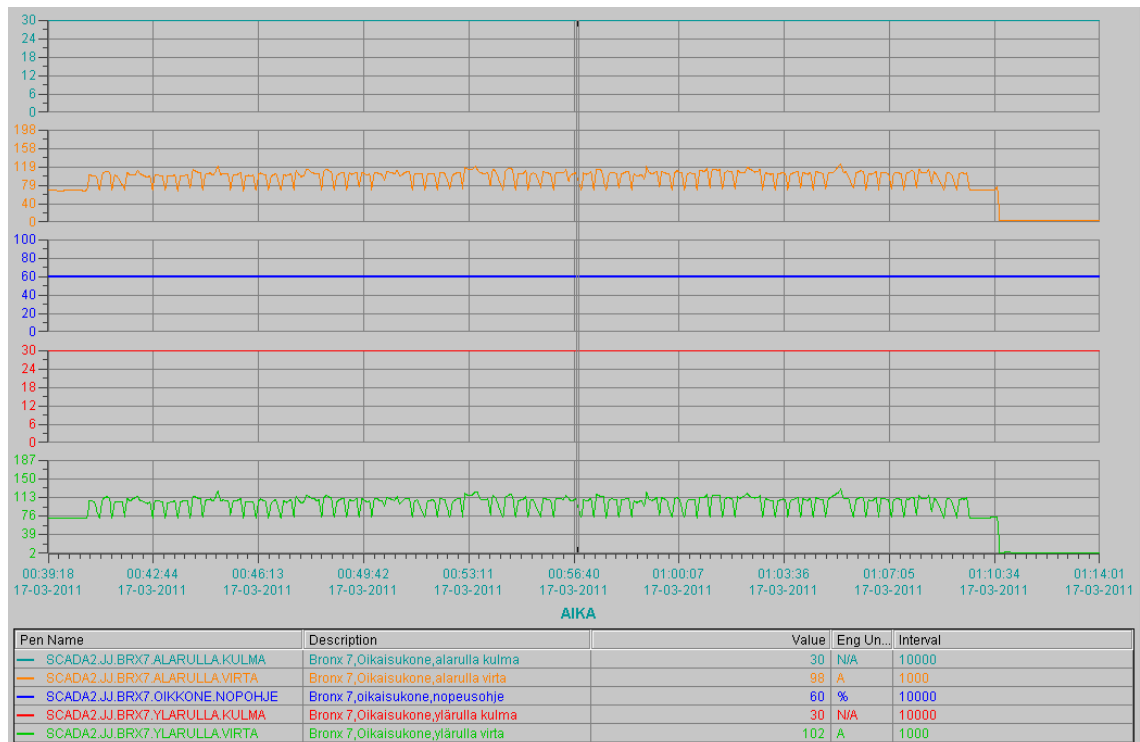
5.4 Kuormitukset oikaisussa

Tutkittaessa kuormitus dataa edelliseltä vuorokaudelta (17.3.2011) ennen rullan särkymistä oli havaittavissa, että koneella oli esiintynyt suuria kuormituspiikkejä, näitä oli esiintynyt useammalla eri tilauksella. Kuvan 8 mukaisia kuormituspiikkejä, jotka esiintyvät tangon puolessa välissä, ei simuloinneissa saatu syntymään. Kyseisen kuormituspiikin syiden selvittäminen vaatisi pitemmän jatkuvan seurannanjakso.



Kuva 9. Kuormituspiikit tankojen alussa.

Suuret kuvassa 9 esiintyvät kuormituspiikit tangon alussa johtuvat simuloinnin perusteella liian suurista puristuksista. Huonot tankojen päät saattavat hieman lisätä niiden esiintymistiheyttä.



Kuva 10. Optimaaliset säädöt ja materiaali.

Kuvassa 10 on esimerkki lähes optimaalisesta oikaisutilanteesta. Kuormitus on tasaista, eikä ylimääräisiä kuormituspiikkejä esiinny. Esimerkkitalanteen peruskuormitustaso on kuitenkin hieman korkea. Ihanteellinen kuormitustaso olisi alle 100 A. Vaativilla lajeilla tasoa joudutaan kuitenkin joskus nostamaan hyvinkin korkeaksi, jotta suoruuksvaatimukset täytetään.



Kuva 11. Bronx-6 oikaisukoneen tolpassa olevat anturit.

5.5 Bronx-6 voimien mittauslaitteisto

Kuormituspiikkien suuruuden määrittelyssä oli tarkoituksena käyttää apuna Bronx 6-oikaisukoneeseen asennettua laitteistoa, jonka avulla pystytään seuraamaan, millaisia voimia koneessa esiintyy oikaisun aikana. Koneen jokaiseen pystyolppaan on asennettu venymäliuska-anturi, joka mittaa tolpassa tapahtuvia muutoksia. Laitteistolla on oma PC, josta tulokset pystytään lukemaan. Jostain syystä tämä laitteisto ei kuitenkaan ole käyttökunnossa, eikä sitä myöskään useista yrityksistä huolimatta saatu kuntoon. Laitteistosta saatavista tiedoista olisi varmasti ollut suuri apu tässä työssä, mutta suurin hyöty siitä olisi oikaisukoneen säätöjä tehtäessä. Sen avulla pystyttäisiin esimerkiksi havaitsemaan, millaiset kuormituserot ovat etu- ja takatolppien välillä. Tämä laitteisto kannattaa saattaa käyttökuntoon mahdollisimman pian.

6 Oikaisurulla materiaalit

Oikaisurullamateriaaleilla on suuri merkitys rullien kulumiskestävyyteen. Nykyään käytetyimmät rullamateriaalit oikaisukoneilla ovat Smobi DUX ASG 45c ja H-CR-R-75. Bronx-6:lla on käytössä molempia ja Bronx-7:lla vain jälkimmäistä. Kaikki lohjenneet rullat, joita tässä työssä on tutkittu, ovat olleet Åkers:n rullia eli materiaali on H-CR-R-75. Uuden rullan kovuus n. 350 HB.

7 Kovuusmittaus

Kovuusmittauksella pyrittiin selvittämään, kuinka paljon rullissa on tapahtunut muokkauslujittumista eli kuinka paljon kovuus on noussut suhteessa uuteen rullaan.

Mittaustulokset eivät ole mittaustavan takia vertailukelpoisia standardien mukaisilla mittaustavoilla mitattujen tulosten kanssa.

7.1 Työn kuvaus

Kolmesta särkyneestä oikaisurullasta mitataan kovuudet. Vertailun vuoksi mitataan myös kovuudet kahdesta uudesta rullasta ja yhdestä sorvatusta rullasta. Särkyneistä rullista kaksi on Bronx 6-rullia ja yksi Bronx 7- rulla (Liite 7). Näistä kovuusmittaus pyritään tekemään kolmesta eri syvyydestä, jotta saataisiin selville myös, mihin syvyyteen asti lujittumista esiintyy. Uusista ja sorvatusta rullasta mittaus tehdään vain pinnasta. Kaikki mitatut rullat ovat alarullia.

7.2 Mittavälineet

Kovuusmittauksessa mittalaitteena käytetään kuvan 12 mukaista Krautkrämer DynaPOCKET plus -kovuusmittaria. Sitä voidaan käyttää kaikissa suunnissa. Parhaiten mittari soveltuu seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen, voimakkaasti seostettujen terästen ja ei-ferromagneettisten metallien mittaukseen. (4.)



Kuva 12. Kovuusmittari.

Mittalaitteen mittaamenetelmä perustuu kimmahdusmenetelmään, jossa mitataan kuulun nopeuden muutosta sen osuessa mittauskohtaan. Mittalaitteessa on samaan runkoon koottu sekä iskukuula ja näyttö. Kuula on valmistettu volframikarbidista. Se on sijoitettu runkoon, jossa on myös magneetti jännitepulssin muodostamiseksi. Kela mittaa magneetin muodostamaa kenttää. Rungossa on jousi lataamista ja laukaisemista varten. (4.)

Mittauksen tekemiseksi jousi ladataan. Rungon sisään asennettu kuula liikkuu mittarin sisällä, ja se laukaistaan mittauskohdalle mittarin päässä olevan laukaisunapin avulla. Tässä vaiheessa magneetti aiheuttaa kelaan signaalin, jonka suurus on riippuvainen tulonopeudesta (V_1). Isku aiheuttaa plastisen muodonmuutoksen kappaleen pintaan. Tämä muodonmuutos käyttää osan liike-energiasta pienentäen kuulun kimmahdusnopeutta (V_2). (4.)

Kovuus lasketaan näiden kahden nopeuden suhteesta

kaavalla:

$$HL = 1000 * \frac{V_1}{V_2} \quad (1)$$

Nopeuksien suhde lasketaan välittömästi kimmahduksen tapahduttua, siten anturin suunnalla vaakatasoon nähden ei ole vaikutusta mittaustulokseen.

Mittalaitteesta pystytään valitsemaan kuuden eri mittayksikön välillä, esimerkiksi HV, HRC ja HB.

7.3 Työn kulku

Särkyneistä rullista mittaus tehtiin kolmesta eri syvyydestä: rullan pinnasta, lohkeaman pohjasta sekä pohjan ja pinnan puolesta välistä. Jokainen mittauskohta kiilloitettiin nauhahiomakoneella peilipinnalle, koska mitattavan pinnan on oltava puhdas ja rasvaton. Pinnan karheus saa maksimissaan olla 10 µm huipusta huippuun. Kiillotuksen jälkeen jokainen kohta numeroitiin ja syvyys mitattiin työntömitalla. Kovuus mitattiin jokaisesta mittauskohdasta kolmeen kertaan ja näistä laskettiin keskiarvo.

$$X = \frac{x_1+x_2+x_3+\dots+x_n}{n} \quad (2)$$

7.4 Kovuusmittauksen tulokset

Alla olevassa taulukossa rullat 143, 140 ja 152 ovat romutettuja käytöstä poistettuja rullia. Rulla 170 on sorvattu ja vielä käyttöön menevä rulla. Kaksi rullaa, joilla ei ole vielä tehtaan omaa numerointia, ovat uusia rullia.

Oikaisukone	Rullanumero	Mittaus syvyys mm	Mittaus K1	Mittaus K2	Mittaus K3	Kovuus HV
Bronx 7	143	0	770<	770<	770<	770<
		7	770<	700	770<	737
		13	770<	770<	680	730
Bronx 6	140	0	770<	770<	770<	770<
		4,5	770<	770<	770<	770<
		9	623	661	650	645
Bronx 6	152	0	770<	770<	770<	770<
		3,5	770<	770<	770<	770<
		7	770<	770<	770<	770<
Bronx 7		0	376	359	360	365
Bronx 7	170	0	472	485	464	474
Bronx 6		0	382	386	375	381

Taulukko 3. Kovuusmittaustulokset.

7.5 Kovuusmittauksen yhteenveto

Vertailtaessa kovuuksia (liite 7) uusien ja käytettyjen rullien välillä huomattiin, että särkyneiden rullien kovuudet olivat nousseet n. 400 HV:tä. Muokkauslujittumista oli siis tapahtunut. Tästä syystä on myös todennäköistä, että vastaavasti materiaalin sitkeysominaisuudet ja muovautumiskyvyt olivat heikentyneet.



Kuva 13. Bronx 7:n vaurioitunut rulla.

Lujittumista ei esiinny pelkästään vain aivan rullan pinnassa, koska esimerkiksi kuvan 13 Bronx 7-rullassa lohkeaman pohja ulottuu 13 mm:iin ja siinäkin kovuuden nousu on merkittävä. Myös sorvatun ja uuden rullan kovuus ero on yli 100 HV:tä. Siitä, kuinka paljon rullasta on jouduttu sorvaamaan, ei ole tietoa. Kovuusmittausten tuloksien perusteella olisikin järkevää tehdä särkyneille rullille tarkempia mittauksia ja miettiä niiden pohjalta yhdessä rullavalmistajien kanssa, onko kyseinen materiaali paras mahdollinen nykyisten tuotteiden oikaisuun.

8 Oikaistavat materiaalit

Oikaistavat materiaalit ovat ominaisuuksiltaan vaativampia kuin aikaisemmin. Materiaalit on jaettu työstön vaativuuden mukaan työstöryhmiin, joita on kymmenen. Työstöryhmä yksi on helpoin, ja vaatimukset kasvavat ryhmä ryhmältä. Työstöryhmiin 9 ja 10 kuuluvat ns. superkovat ja vaativat materiaalit.

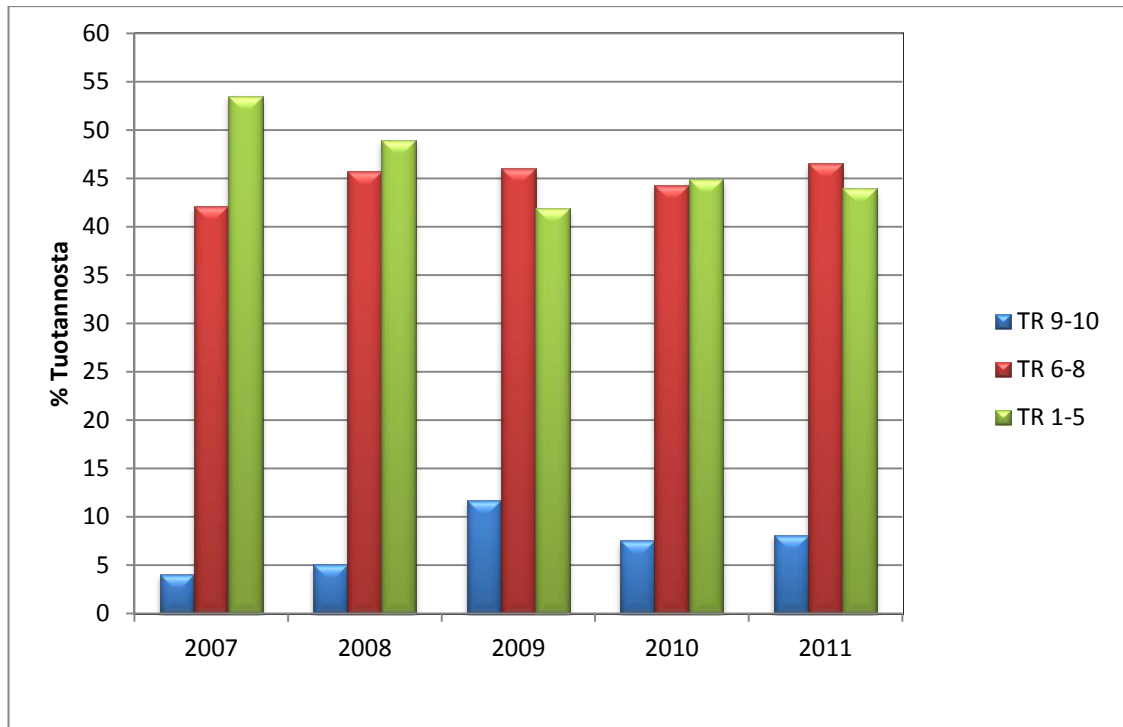
Työstöryhmien kehitys

Vertailtaessa työstöryhmien kehitystä vuodesta 2007 tähän päivään huomataan, että niissä on tapahtunut selvää muutosta.

Bronx-7 työstöryhmien jakautuminen (t)				
Vuosi	TR 9-10	TR 6-8	TR 1-5	Yht.
2007	1188	12480	15870	29645
2008	1258	11306	12118	24742
2009	1145	4519	4111	9808
2010	1570	9239	9376	20877
2011	1852	10632	10043	22837

Taulukko 4. Bronx 7 työstöryhmien jakautuminen vuosittain.

Taulukon 3 vasemmassa laidassa on vuosi ja oikeassa laidassa kaikki sinä vuonna oikaistut materiaalit tonneina. Keskimmäisiin sarakkeisiin on jaoteltu ne vielä työstöryhmien mukaan. Taulukosta havaitaan, että vuotuiset oikaisumäärät ovat pudonneet vuoden 2007 tasosta jonkin verran. Vaativien lajien kehitys on kuitenkin ollut päinvastainen. Niitä on tonnimääräisesti ollut jopa enemmän kuin oli vuonna 2007. Mielenkiintoista on huomata myös se, ettei näissä materiaaleissa ole juurikaan tapahtunut notkahdusta vuonna 2009, kuten kaikissa muissa ryhmissä.



Taulukko 5. Työstöryhmien jakautuminen vuosittain.

Yllä taulukossa 4 on jaoteltu työstöryhmät suhteessa kokonais-tuotantomääriin/vuosi. Sininen palkki kuvaa työstöryhmien 9 - 10 osuutta. Tämä osuus onkin kasvanut vuoden 2007 neljän prosenttiin tasosta, ja se on nyt noin kahdeksan prosenttia. Nämä vaativimmat työstöryhmät ovat todennäköisesti ratkaisevassa asemassa rullien kulumisessa, koska näiden materiaalien kovuus on lähes 400 HB:tä, joka on lähellä uusien oikaisurullien kovuutta. Uusilla oikaisurullilla olisikin tästä syystä järkevää oikaista aluksi hieman pehmeämpiä materiaaleja, jotta oikaisurullan pinta hieman muokkauslujittuisi ennen lujempien lajien oikaisua.

9 Havainnot ja ehdotukset

Vaativampien työstöryhmien osuus oikaisun kokonaistuotannosta on kasvanut kaksinkertaiseksi, mikä on mielestäni suurin syy rullien nopeutuneen kulumisen kannalta. Tämän vuoksi olisi hyvä selvittää, olisiko rullien valmistajilla tarjota jotakin rullamateriaalia, joka täyttäisi paremmin nykyisen tuotevalikoiman asettamat vaatimukset.

Rullien ensiasennuksen jälkeen olisi hyvä aluksi oikaista pehmeitä TR1-4-lajeja. Näin rullien pinta hieman muokkauslujittuisi ja kestäisi paremmin vaativampien lajien rasitukset.

Lisäksi erittäin tärkeää on panostaa oikaisukoulutuksiin. Koulutuksen yhtenä tavoitteena voisi olla pyrkimys taivuttavaan oikaisuun liian puristamisen sijaan, sekä koneen säätämisen tärkeyden korostaminen.

Huonojen päiden sahauksella ei kokeiden perusteella saavutettu oletettua hyötyä, joten sahaamista kannattaa harkita aina tapauskohtaisesti. Olisi myös hyvä selvittää, voitaisiinko oikaisukoneiden suurimpia kuormitushuippuja tasata esimerkiksi jollakin mekaanisella konstruktiolla.

Kuvat

- Kuva 1 Bronx-7 särkynyt rulla s. 7
- Kuva 2 Imatran Terästehdas (1) s. 8
- Kuva 3 Oikaisurullat ja tukikiskot (1) s.10
- Kuva 4 Oikaisumenetelmät (2) s.11
- Kuva 5 Bronx 7-oikaisulinja s. 12
- Kuva 6 Litistyneet tankojenpäät s. 17
- Kuva 7 Aisa aloitusnäyttö s. 19
- Kuva 8 Kuormituskäyrää s. 22
- Kuva 9 Kuormituskäyrää s. 23
- Kuva 10 Kuormituskäyrää s. 24
- Kuva 11 Bronx 6-oikaisukone s. 25
- Kuva 12 Kovuusmittari s. 27
- Kuva 13 Bronx 7-vaurioitunut rulla s. 30

Taulukot

- Taulukko 1 Bronx 7-rullien kulutus s. 13
- Taulukko 2 Oikaistut tonnit/rulla s. 14
- Taulukko 3 Kovuusmittaus tulokset s. 29
- Taulukko 4 Bronx 7-työstöryhmien jakautuminen vuosittain s. 31
- Taulukko 5 Bronx 7-työstöryhmien jakautuminen vuosittain s. 32

Lähteet

1. Ovako Bar Oy Ab. Intranet.
2. Viberg V. Oikaisukoneen tukikiskojen kulumisen hallinta. Tampere Dippa Systems Oy.
3. Järviö. J. P. 2000. RCM luotettavuuskeskeinen kunnossapito. Hamina KP-Tieto oy.
4. Krautkrämer DynaPOCKET kovuusmittarin käyttöohje
5. Ovako Bar Oy Ab, JATO