LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

3M C-KIVIEN KÄYTTÖ HIOMAKONEELLA 6

Hepo-oja Vesa

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Konetekniikan koulutus
Insinööri (AMK)

2019

LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tekniikka ja liikenne
Konetekniikan koulutus
Insinööri (AMK)

Tekijä	Vesa Hepo-oja	Vuosi	2019
Ohjaaja	Ins. (YAMK) Marko Koskimäki		
Toimeksiantaja	Outokumpu Oyj DI. Emilia Junttari		
Työn nimi	3M C-kivien käyttö hiomakoneella 6		
Sivu- ja liitesivumäärä	64 + 6		

Opinnäytetyö tehtiin Outokumpu Oyj:n Tornion jaloterässulaton aihiohiomoon. Aihiohionnan tarkoitus on poistaa pintavirheitä aihioista ennen kuumavalssausta. Työn tavoitteena oli tutkia korkeamman poistotehokkuuden omaavan C-hiomakiven käyttöä hiomakoneessa 6. Työn keskeisimpinä osa-alueina oli selvittää koneeseen kohdistuvia rasituksia verraten perinteiseen D-kiven käyttöön. Työssä tutkittiin myös C-kiven käytöstä aiheutuvia muutoksia prosessin oheislaitteille.

Käytännön osuudessa hiottiin 8 kappaletta C-tyypin hiomakiviä. Hiontatesteistä tallennettiin prosessidataa ja näistä mittauksista tehtiin prosessivertailua C- ja D-kivien välillä. Testien aikana saatiin selville muutostarve hiomakoneen tehosäätöön. Toimenpiteellä saadaan tällöin vakioitua hionnan poisto, joka vaihteli suuresti hiomakiven halkaisijan mukaan.

C-hiomakivellä päästiin testeissä 20 - 30 prosentin tehostettuun hiontapoistoon. Tällä saadaan lisättyä aihiohionnan pitkien hiontojen kapasiteettia oleellisesti. Tutkimusten perusteella C-kiven käytöstä ei aiheudu lisärasituksia hiomakoneelle, mikä voi laskea käytettävyyttä tai lisätä kunnossapidon taajuutta.

Avainsanat hionta, aihio, hiomakone

LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

Abstract of Thesis

Technology, Communication and Transport
Mechanical and Production Engineering
Bachelor of engineering

Author	Vesa Hepo-oja	Year	2019
Supervisor	Marko Koskimäki, MEng		
Commissioned by	Outokumpu Oyj Emilia Junttari, M.Sc		
Subject of thesis	Use of 3M grinding wheels in the Grinding Machine 6		
Number of pages	64 + 6		

The thesis was made for Outokumpu Oyj's Tornio Stainless Steel Melting Shop. The purpose of preform grinding is to remove surface defects from the preforms before hot rolling. The aim of this work was to study the use of a C grinding wheel with higher removal efficiency on a grinding machine 6. The main components of this work were to examine the machine loads compared a conventional D wheel. The changes in C wheel use for process peripherals were also studied.

In practice, 8 C-type grinding wheels were ground. The process data was recorded from the grinding tests and a process comparison was made between these and C and D wheels. During the tests, the need for a change in the grinding performance was determined. The operation then provides a standard abrasion removal, which varied greatly according to the diameter of the grinding wheel.

C abrasive wheel was tested for 20-30% enhanced abrasive removal. This will substantially increase the long grinding capacity of the preform. The research shows that the use of C grinding wheel does not cause additional strain on the grinding machine, which can reduce usability or increase maintenance frequency.

Key words grinding, slab, grinding machine

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 8

2 OUTOKUMPU OYJ 9

2.1 Jaloterässulatto 10

2.2 Aihiohiomo 12

3 TYÖTURVALLISUUS 14

3.1 Posessiturvallisuus 14

3.2 Kaasujen käyttöturvallisuus 15

4 HIONTA 16

4.1 Tasohionta 18

4.2 Prosessoitava kappale 19

5 HIOMAKONE 6 20

5.1 Hiomakoneen pääkokoonpanot 20

6 PROSESSITESTIT C-KIVELLÄ 25

6.1 Värähtelymittaukset 25

6.2 Lämpötilamittaukset 27

6.3 Tehorajan määrittäminen 29

6.4 Suodinlaitoksen pölymittaukset 29

7 HIOMAKIVITYYPIT C JA D 31

7.1 Karkeus 31

7.2 Kovuus 32

7.3 Rakenne 32

7.4 Sideaine 33

7.5 Hiomakiven merkinnät 34

7.6 Hiomakivityyppi D 35

7.7 Hiomakivityyppi C 36

7.8 Hiomakivien vertailu 37

8 HIOMAKONEEN TOIMINTA C-KIVELLÄ 39

8.1 Hiontavaihteen lämpötila 39

8.2 Hiontavaihteen värähtely 41
8.3 Hiontamoottorin värähtely 44
8.4 Värinään vaikuttavat tekijät 45
8.5 Suodinlaitoksen toiminta 48
8.6 Lastunpoiston toiminta 50

9 OPTIMOITU AJOTAPA 52

9.1 Hiomakiven kuluminen 52
9.2 Hiontaohjelmien rakenne 53
9.3 Hiontapöydän nopeus 54

10 LAITTEISTOMUUTOKSET C-KIVEN KÄYTÖSSÄ 55

10.1 Hiontapainevaihtelu 57
10.2 Ratkaisuesitys 1 58
10.3 Ratkaisuesitys 2 58
10.4 Reuna-aluehionta 59
10.5 Reuna-aluehionnan ratkaisu 60

11 POHDINTA 61

LÄHTEET 62

LIITTEET 64

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty Outokummun Tornion tehtailla 1.1.2019 – 31.3.2019 välisenä aikana. Tarkoituksena oli tutkia 3M:n C-tyypin hiomakivien käytön soveltuvuutta hiomakoneella 6. Haluan kiittää Outokumpu Stainless Oyj:tä mahdollisuudesta tehdä tämä opinnäytetyö työni ohessa aihiohiomossa.

Haluan kiittää opinnäytetyön valvojaani Marko Koskimäkeä kaikesta avusta ja rakentavasta palautteesta työni aikana. Outokumpu Oyj:n puolelta ohjajanani toiminutta DI Emilia Junttaria haluan kiittää aiheen annosta ja mahdollisuudesta saada tehdä opinnäytetyö vakituisen työni ohessa aihiohiomossa sekä kaikesta muusta saamastani tuesta.

Kiitän suuresti myös terässulaton aihiohiomon kollegoitani, jotka ovat tukeneet korkeakouluopintojani suorittaessani opintoja vuorotöiden ohella, sekä insinöörityön prosessitesteihin ja muuhun operatiiviseen toimintaan osallistuneita henkilöitä. Erityismainintana kiitokset joustavuudesta hiomon D-vuorolle, jossa olen itsekin työskennellyt lähes kokoaikaisesti toimiessani Outokummulla prosessinhoitajan vakanssilla.

Lopuksi haluan mainita erityiskiitokseni isälleni (konetekn.) Veijo Hepo-ojalle kaikesta saamastani avusta ja tuesta insinööriopintojeni aikana.

Tornio 26.03.2019

Vesa Hepo-oja

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Kami	sintraantunut hiontalastu (aihiohiomo, työkieli)
RAP 5	Tornion kylmävalssaamo 2
Q-mato	prosessinohjausohjelmisto Outokummulla
HK 4 / 5	hiomakone 4 ja 5, Tornion terässulatolla
HK6	hiomakone 6, Tornion terässulatolla

1 JOHDANTO

Outokumpu Oyj:n Tornion terässulatolla valettavien aihioiden metallurginen- sekä pinnanlaatu on erittäin tärkeä tavoite saavuttaa tuotantotehokkuuden kannalta. Näin saadaan kerralla valmista tuotetta asiakkaalle ilman turhia reklamaatioita. Metallurgisesta laadusta vastaa sulatto ja jatkuvavalussa muodostuneista laatua heikentävistä pintavikojen poistosta vastaa aihiohiomo. Aihiohiomon käyttöinsinöörin Emilia Junttarin aloitteesta tein opinnäytetyöni aihiohiomoon hiomakone 6 tuotantokapasiteetin kasvattamisesta korkeamman poiston C-hiomakivellä. Nykyisin hiottavien aihioiden tuotantomäärä on oleellisesti kasvanut ferriittisten laatujen myötä ja siksi aihiohiomossa on tarve käsitellä nykyisillä laitteistoilla yhä suurempia aihiomääriä vastaavassa ajassa kuin aikaisemmin.

Työn tavoitteena on selvittää hiomakoneeseen kohdistuvien prosessirasitteiden tasoa verrattuna nykyiseen prosessiin. Työssä selvitettiin hiomakoneeseen tehtävien muutosten tarpeellisuutta käytettäessä korkeamman poiston C-tyypin hiomakiveä jatkuvassa tuotantokäytössä. Työssä on käyty lävitse myös oheislaitteiden kykyä suoriutua prosessimuutoksesta.

2 OUTOKUMPU OYJ

Outokumpu Oyj on ruostumattoman metalliteollisuuden globaali pörssiyhtiö, joka toimii nykyisin 30 maassa erinäisillä toimintahaaroilla. Outokummun fokuksena on päästä vuoteen 2020 maailman parhaaksi toimijaksi ruostumattoman teräksen valmistajana. Outokumpu Oyj listautui Helsingin pörssiin vuonna 1988 ja vuonna 2017 yrityksen liikevaihto oli 6,36 miljardia euroa ja sen omistusarvoksi on määritelty 1,93 miljardia euroa. (Kauppalehti 2019) Outokummun palveluksessa toimii nykyään liiketoimintamuutosten jälkeen kokonaisuudessaan noin 10 500 ammattilaista. Outokummun valmistamaa ruostumatonta terästä kutsutaan niin sanotuksi nousukauden teräkseksi ja sitä käytetään monenlaisiin sovelluksiin kuten keittiövälineisiin, energialaitteisiin, lääkinnällisiin instrumentteihin, siltoihin ja julkisivurakenteisiin. Ruostumaton teräs tukee hyvin nykyajan maailmankuvaa kierrätystaloudesta sen ominaisuuksiensa puolesta lähes 100 prosenttisesti kierrätettävänä materiaalina. Ruostumaton teräs on kestävä, korroosio- ja huoltovapaa hygieeninen materiaali. (Outokumpu Oyj 2019a.)

Tornion terästeollisuuden peruskivi muurattiin syyskuussa vuonna 1974. Käytännössä teräksen valmistus alkoi kuitenkin rakennustöiden jälkeen vasta toukokuussa vuonna 1976 (Särkikoski 2005). Tornion tehtaat koostuivat tuolloin jaloteräs- ja ferrokromisulatoista sekä kylmävalssaamosta. Vuonna 2018 tehdasta on suuressa mittakaavassa laajennettu valtavaksi ruostumattoman teräksen integrantiksi, jossa samalta alueelta löytyy koko tuotantoketju alusta loppuun saakka. Tehdasalueelta (Kuva 1) löytyy nykyisin pääprosesseina kolme ferrokromisulattoa, kaksi jaloterässulattolinjaa, modernisoitu kuumavalssaamo sekä kaksi kylmävalssaamoa, joista toinen on maailmassa ensimmäisenä rakennettu jatkuvatoiminen valssaus-, hehkutus- ja peittauslinja RAP 5. Yksi Tornion tehtaiden peruskivistä on tietysti myös Kemissä sijaitseva oma kromikaivos, josta saadaan louhittua ruostumattoman teräksen perusraaka-ainetta kromia (Cr). (Outokumpu Oyj 2019a.)

Tornion maapinta-ala on noin 600 hehtaaria. Tehdasinfrastruktuuriin kuuluu nykyisellään tietä noin 50 kilometriä, joista kevyenliikenteenväyliä on noin 10 kilometriä. Tehdas työllistää Torniossa arviolta 2150 omaa vakituista henkilöä ja kesäisin näiden lisäksi noin 300- 500 pääsääntöisesti korkeakouluopiskelijaa kesätöiden puitteissa tukien samalla teknologista koulutusta Suomessa. Näiden lisäksi Tornion tehtaiden alueella toimii päivittäin noin 300 henkilöä eri alihankkijoilla erilaisissa tukitoiminnoissa. (Outokumpu Oyj 2019a.)

Kuva 1. Tornion teräsintegrantti (Outokumpu Oyj 2019a.)

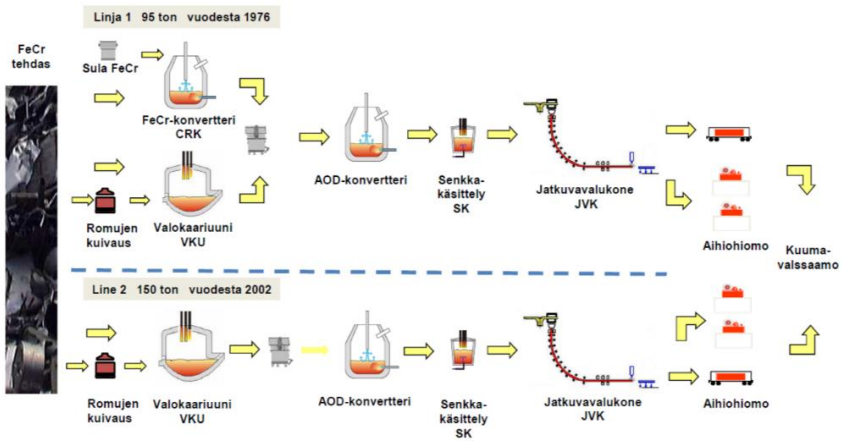
2.1 Jaloterässulatto

Tornion tehtaiden jaloterässulatto on nykyaikainen prosessitekniikalla ohjattu tehokas laitos, joka koostuu sulattolinjoista 1 ja 2. Linjoja ohjataan pääsääntöisesti valvomoista. Työskentely on turvallista ja mahdollisimman informatiivista tuotannonohjauksen kannalta. Terässulattoa pyöritetään keskeytymättömästi viidessä työvuorossa ympäri vuoden.

Terässulattolinjat jaoteltiin vuonna 2012 valmistamaan eri laatuisia ruostumattomia teräksiä tehokkuuden optimoimiseksi, niiden erityyppisten toimintaperiaatteiden ja rakenteidensa vuoksi. Linjalle yksi tähdättiin kaikki ferriittiset ruostumattomat teräkset ja linjalla 2 suunnattiin valmistamaan massatuotantona perinteiset austeniittiset ruostumattomat teräslaadut. Näin sulaton teoreettiseksi kokonaiskapasiteetiksi saatiin 1,65 miljoona tonnia/ vuosi. (Outokumpu Oyj 2019a.)

Terässulatolla jatkojalostetaan ferrokromitehtaalta saapuvaa kromisulaa siten, että se kaadetaan ensimmäiseksi ferrokromikonvertteriin, jossa sulasta poistetaan pii ja osa hiilestä. Valokaariuunilla sulatetaan kierrätysromua ja muita tarpeellisia raaka-aineita. Nämä kaksi eri sulaa sekoitetaan keskenään ja kaadetaan AOD-konvertteriin. AOD-käsittelyssä sulasta poltetaan pois rikkiä ja hiiltä, mikä on perusedellytys ruostumattoman teräksen valmistuksessa. Tämän lisäksi konvertteriin lisätään erinäisiä seosaineita riippuen siitä, mikä on kulloinkin tilattu teräslaatu. Tämän jälkeen sula siirretään siirtosenkoissa edelleen senkka-asemalle, jossa sula viimeistellään jatkuvavalua varten. Senkka-asemalle tehdään tavallisesti kaksi tai kolme valmista sulaa valusekvenssiä varten, jonka jälkeen ensimmäinen sula nostetaan jatkuvavalukoneelle valettavaksi. (Outokumpu Oyj 2019a.)

Jatkuvavalukone valaa sulanauhaa, joka katkaistaan 5 - 14 metrin mittaisiksi aihioiksi valunauhan leveydestä riippuen, jotta paino ei ylitä sallittua 26 tonnin rajaa. Tämän jälkeen osa aihioista menee edelleen suorapanostuksella kuumavalssaamolle ja osa aihioista varastoidaan kuumanapitokuoppiin tai jäähdytyshalliin aihiohiomon etuvarastoksi hiontaprosessia varten. Terässulaton prosessikuvaus on nähtävissä kuviosta 1. (Outokumpu Oyj 2019a.)

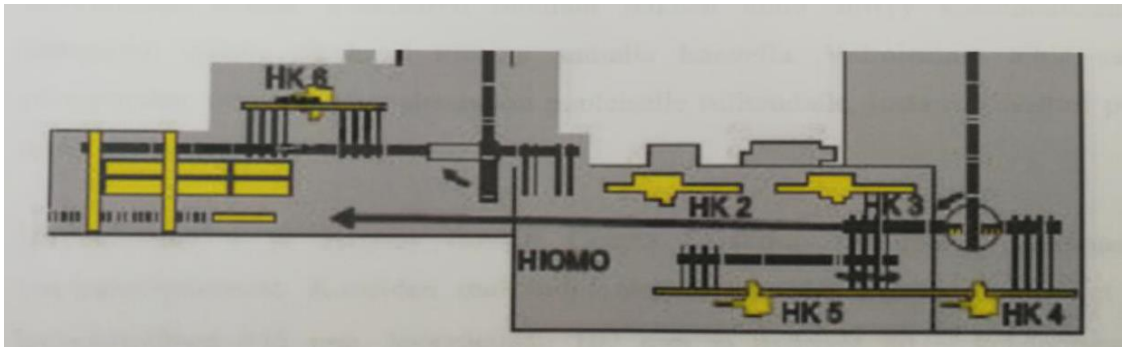


Kuvio 1. Terässulaton prosessikaavio (Outokumpu Oyj 2019a.)

2.2 Aihiohiomo

Tornion terässulaton aihiohiomo koostuu neljästä eri prosessihiomakoneesta, joilla työstetään valettujen aihioiden pintavikoja ennen kuumavalssausta. Hiomakoneita aihiohiomossa on usealta eri vuosikymmeneltä, vanhin käytössä oleva hiomakone 3 on rakennettu 1978. Hiomakoneet 1 ja 2 on poistettu käytöstä ja purettu vuosina 2002 ja 2018. (Outokumpu Oyj 2019a.)

Hiomakoneet 4 ja 5 on rakennettu sulaton tuplausprojektin (linja-2) yhteydessä vuonna 2002. Hiomakonetoimittajana oli italialainen Danieli Centro Maskin. Hiomakoneiden yhteyteen kuuluvat myös aihion siirtolaitteistot, rullaradat sekä nosturit aihioiden siirtämistä sekä pinoamista varten. Hiomakoneet ovat suuria koneyksiköitä, jotka vaativat paljon lattiapinta-alaa oheislaitteineen. Koneet on rakennettu hiomon rullavaraston laajennusosaan. Hiomakoneet 4 ja 5 ovat automaattisesti toimivia hiomakoneita, joita operoidaan erillisestä kuumahiomon valvomosta kahden operaattorin voimin (Kuva 2).



Kuva 2. Aihiohiomon pohjapiirros (Outokumpu Oyj 2019a.)

Hiomakoneilla voidaan hioa teräsaihio joko yksittäin tai sarjana. Toinen kone työstää aihiosta sisäkaaren- ja toinen ulkokaarenpuolen. Väliaikojen lyhentämisen seurauksena nykyisin käytetään kuitenkin pääsääntöisesti erillishiontaa, jolloin kumpikin kone työstää aihion valmiiksi itsenäisesti.

Hionnan jälkeen aihiot toimitetaan pääsääntöisesti kuumavalssaamolle jatkoprosessoitavaksi Jeppe-junalla. Vaihtoehtoisesti häiriötilanteessa aihion toimitus voidaan järjestää myös manuaalinosturin avulla sivusiirtolaitteistolla linja 1 rullaratoja pitkin.

Uusin kuumahiomakone 6 on rakennettu ferriittisten tuotannon kasvamisen yhteydessä vuonna 2010 linja 1:n loppupään modernisoinnin yhteydessä. Hiomakone rakennettiin valukone 1:n ja kuumavalssaamon väliin prosessoimaan pääsääntöisesti linja 1:n hiottavia aihioita. Suunnittelussa päämääränä oli rakentaa tehokas kuumien ferriittisten aihioiden työstöön tarkoitettu laitteistokokonaisuus. Valukone 1:n alakertaan rakennettiin uusi polttoleikkausohjaamo (alaohjaamo), jonka yhteydessä sijaitsee myös aihiovaraston käsittely automaattinosturilla. Alaohjaamon yhteyteen rakennettiin myös kuumahionnan kannalta erityisen tärkeä aihioiden kuumakuoppalaitteisto. Näillä kokoonpanoilla aihiot saadaan yksi kerrallaan kuumana hiottavaksi hiomakoneelle 6. Hionnan jälkeen kuumana hiottavat aihiot voidaan jatkovarastoida edelleen Kuumavalssaamon kuumanapitokuoppiin ennen valssausta. (Outokumpu Oyj 2019a.)

3 TYÖTURVALLISUUS

Outokummun työn tekemisen perusajatuksena on turvallisuus ennen tonneja. Turvallisuus on keskeinen seikka kaikessa toiminnassa Tornion tehtailla. Lähtökohtana on, että kaikki tapaturmat ja onnettomuudet ovat estettävissä.

Linjaorganisaatioiden tukena Torniossa on turvallisuusorganisaatiot, joihin kuuluu erityisasiantuntijoita eri tekniikan alueilta, kuten työturvallisuus, palo- ja pelastustoiminta, ympäristönsuojelu, säteilysuojelu, kemikaaliturvallisuus, työhygienia ja työterveyshuolto. (Outokumpu Oyj 2019b.)

3.1 Posessiturvallisuus

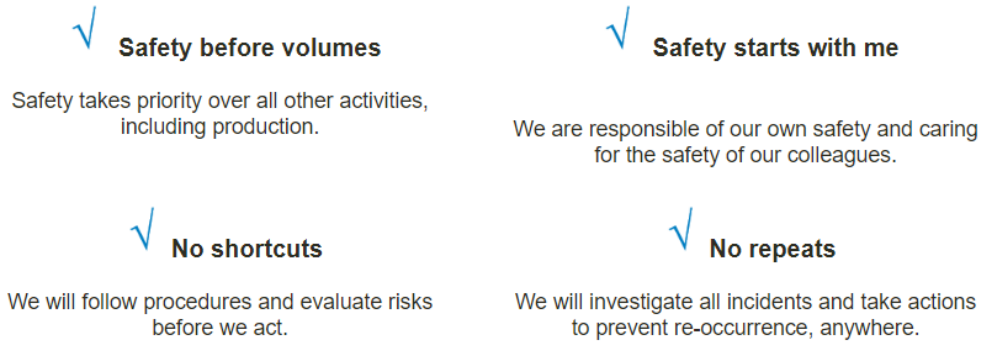
Outokummun prosessiturvallisuus on tärkeä osa turvallisuuden kokonaisajattelua (Kuva 3). Tavoitteena on varmistaa laitosten turvallinen ja häiriötön toiminta, estää henkilöstön loukkaantuminen tai vaaroille altistuminen työaikana, suojella ympäristöä ja yhtiön omaisuutta sekä estää, tai vähintäänkin minimoida taloudelliset menetykset. (Outokumpu Oyj 2019b.)

Tornion tehtailla ylläpidetään prosessiturvallisuutta prosessien jatkuvalla valvonnalla, säännöllisillä tarkastus- ja valvontakierroksilla, ennakkohuollolla, analysoimalla vikaantumisia sekä raportoimalla vaara- ja häiriötilanteista koko henkilöstön voimin.

Tornion tehtailla käsitellään ja säilytetään päivittäin myös merkittäviä määriä vaarallisia kemikaaleja. Tätä toimintaa ohjaa vaarallisia aineita koskeva lainsäädäntö. Laitosten toiminta on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston valvonnan alaista, johon kuuluvat säännölliset määräaikaiset tarkastuskierrokset. Merkittävät muutokset kyseisissä prosesseissa vaativat ennen toteutusta muutosluvan turvallisuusviranomasilta ja tarvittaessa ennen käyttöönottoa myös käyttöönottotarkastuksen. (Outokumpu Oyj 2019b.)

3.2 Kaasujen käyttöturvallisuus

Kaasuvuotojen havaitsemiseksi prosessiyksiköissä on käytössään kattava kiinteä ja kannettava kaasuilmaisimien verkosto. Tämän lisäksi aluetta valvotaan kameravalvonnan ja valvontakierrosten avulla. Tuotantotiloissa on automaattiset paloilmoitin- ja sammutusjärjestelmät, joista hälytykset menevät ympärivuorokautisesti miehitettynä olevaan aluevalvontaan. (Outokumpu Oyj 2019b.)



Kuva 3. Outokummun turvallisuuden pääperiaatteet (Outokumpu Oyj 2019b.)

4 HIONTA

Hiominen on yksi lastuavista työstömenetelmistä, jossa työstettävän kappaleen pinnasta poistetaan materiaalia. Materiaalin poisto on hitaampaa ja irtoava materiaali huomattavasti pienempää muihin lastuaviin työstömenetelmiin verrattuna. Yleisimmin materiaalin poistajana hionnassa toimii pyörivä hiomalaikka, joka sisältää lukuisia monisärmäisiä hiomarakeita. Nämä hiomarakeet ovat sidottuina toisiinsa erinäisillä sidosaineella sekä kuiduilla. Hiomakiveä painettaessa hiottavaa kappaletta vasten, pienet hiontarakeet alkavat irrottaa lastuja työstettävästä kappaleesta.

Erona hionnassa muihin lastuamismenetelmiin on se, että materiaalia poistavassa työkalussa eli hiomalaikassa on lukuisia lastuavia teriä. Kuten taas esimerkiksi porauksessa tai jyrsinnässä näitä lastua irrottavia särmiä työkaluissa on ainoastaan kahdesta kymmeneen ja käytössä olevat teräpalat huomattavasti suurempia sallien korkeammat työstöarvot. Hiomajyvien leikkaussärmien muoto on määrittelemätön, joten jokainen hiomajyvä muodostaa työstökappaletta vasten useita erisuuruisia rinta- ja päästökulmia. Rintakulma hiomarakeilla on tavanomaisesti negatiivinen ja tällöin materiaalin poistotapaa kutsutaan kaapimiseksi. Hiomakiven materiaalin, eli hiontarakeiden tulee olla kuitenkin vähimmäisvaatimukseltaan huomattavasti kovempia kuin työstettävän kappaleen, jotta ne säilyttävät muotonsa ja pystyvät poistamaan materiaalia kappaleesta. Näin hiomarakeet säilyttävät myös leikkaussärmänsä mahdollisimman pitkään ennen kuin ne lentävät poistettavan materiaalin mukana lastujätteeksi. (Maaranen 2007, 66-73.)

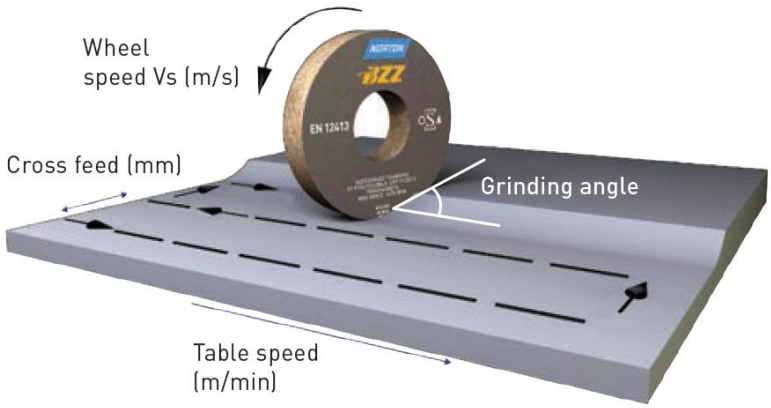
Hionnan käyttöalueet voidaan ryhmitellä seuraavasti, koneistettujen ja karkaistujen koneenosien mittatarkkuuden ja pinnanlaadun parantamishiontaan, purseidenpoistohiontaan sekä terävien särmienpoistohiontaan koneistetuista kappaleista, lastuavan työstön työkappaleiden teroitushiontaan sekä tässä insinöörityössä pääaiheena olevaan levy- ja teräsrakenteiden sekä valukappaleiden rouhinta-, sovitus- ja puhdistushiontaan, minkä kategorian alle sijoittuu myös prosessimainen aihiohionta. Kuvassa 4 on esitetty insinöörityön kohteena oleva prosessihiomakone HK6. (Maaranen 2007, 67.)

Kuva 4. Hiomakone 6

4.1 Tasohionta

Tasohiontaa suoritetaan nimensä mukaisesti yleensä isoilla vaakatasossa kiinteästi johteilla liikkuvilla hiomakoneilla. Hiontatapahtumassa työstettävä kappale kiinnitetään hiontapöytään tukevasti paikoilleen. Pienemmissä hiomakoneissa kappaleet kiinnitetään ruuvipuristimilla, T-urakiinnittimillä tai magneettien avulla. Suuremmissa prosessihiomakoneissa painavat kappaleet pysyvät hiontapöydällä paikoillaan myös itsestään työstettävän kappaleen kitkavoiman ansiosta. Kappaleen paikoillaan pysymistä voidaan myös varmistaa erinäisten mekaanisten tai hydraulisten vasteiden avulla.

Hiontapöytään kiinnitetty työstettävä kappale liikkuu pitkittäissuunnassa hiomakiven alla. Pyörivä hiomakivi pysyy tällöin paikoillaan poistaen materiaalia aina yhden pitkittäissyöttösyklin ajan, jonka jälkeen hiomakivi askeltaa ennalta halutun millimetrimäärän johteillaan eteenpäin siirtyen seuraavaan työstösykliin (Kuva 5). Kappaleen koosta ja työstöarvoista riippuen näitä hiontasyklejä voi olla kymmenistä jopa satoihin yhden hionnan aikana. (Outokumpu Oyj 2019.)



Kuva 5. Tasohionnan periaate (Norton 2019.)

4.2 Prosessoitava kappale

Aihiohiomon hiomakoneilla työstettävät kappaleet ovat ruostumattomia teräsaihioita, jotka on pääsääntöisesti valmistettu Tornion omilla terässulattolinjoilla 1 ja 2. Aihio muodostuu teräksen jähmettyessä jatkuvavalukoneella määräleveyteen sekä -paksuuteen. Jähmettynyt teräsnauha katkotaan haluttuun määrämittaan valukoneen lopussa sijaitsevalla jauhekaaripolttoleikkauskoneella.

Jatkuvavalussa teräsaihioihin voi syntyä erinäisiä pintavikoja, jotka poistetaan aihiohionnalla. Tällaisia vikoja ovat halkeamat, sulkeumat, murtumat, tarttumat sekä muut vastaavat mahdolliset pintaviat.

Työstettävän aihion mitat:

Pituus	5000 – 14000mm
Leveys	1000 – 1600mm
Paksuus	175 – 200mm
Paino	max. 26000kg

Aihiot ovat todella suuria ja painavia teräslaattoja, joiden siirtäminen vaatii erityisen vahvat laitteistot sekä siltanosturit. Hionnan jälkeen aihion hiottu pinta on yllättävän herkkä naarmuuntumiselle, mikä myös aiheuttaa haasteita aihiologistiikalle.

Hionnan päämäärä on tuottaa mahdollisimman hyvälaatuisia teräsaihioita kuumavalssaukseen, jotta lopulliseen teräsnauhaan ei jäisi laatua heikentäviä pintavirheitä. Suuren tuotantokapasiteetin vuoksi kaikkia aihioita ei pystytä hiomaan. Hiontaa on pyritty kohdentamaan teräslaaduille, jotka vaativat sen koostumuksensa sekä vikaherkistymisensä vuoksi.

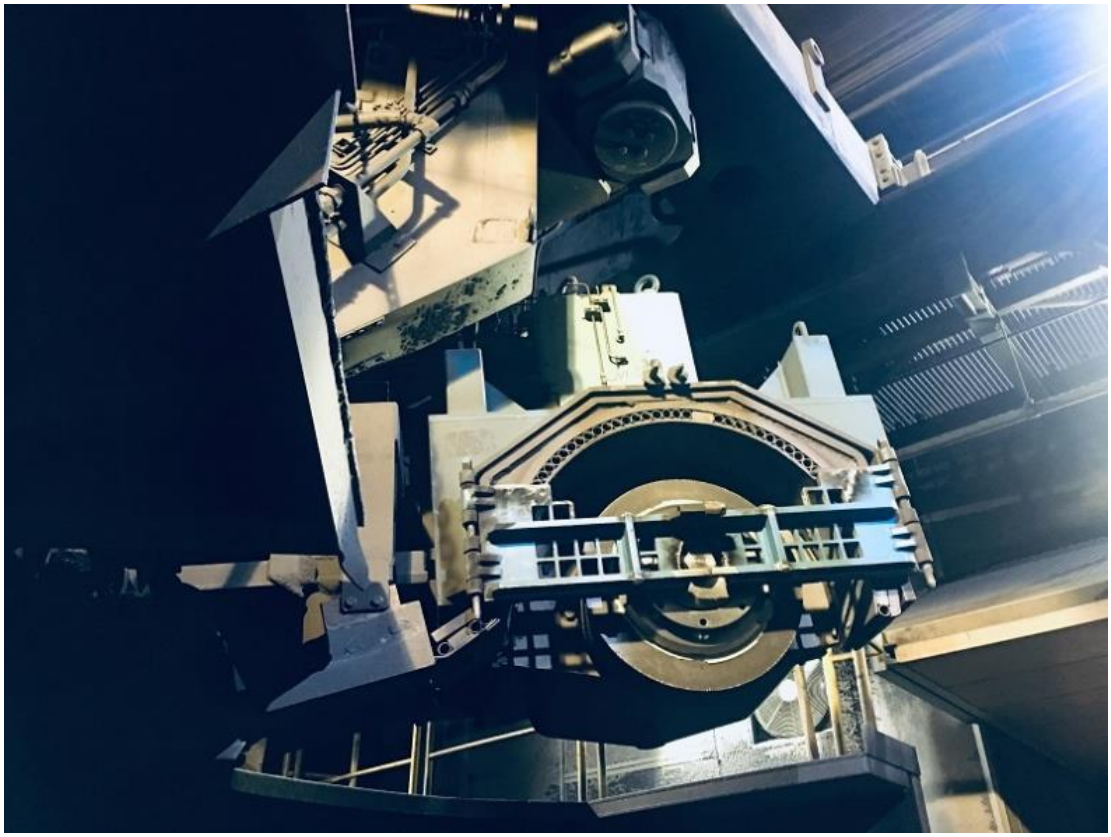
5 HIOMAKONE 6

Hiomakone 6 valmistui vuonna 2010 lisäinvestointina aihiohiomon yhteyteen. Koneelle ilmeni tarvetta maailmanmarkkinoiden muutoksen vuoksi. Maailmanlaajuisen laman seurauksena alettiin suosia edullisempia teräslaatuja myös elintasoteräksissä. Outokumpu myös reagoi tähän muutokseen, jolloin Tornion tehtailla alettiin valmistamaan suuremmassa mittakaavassa ferriittisiä teräslaatuja. Hionnan lisäinvestoinnille syntyi tarvetta, koska ferriittinen teräs vaatii enemmän hiontaa titaanistabiloinnin ja vaaditun korkean pinnanlaadun vuoksi.

Hiomakone 6 on kuudes Tornion terässulatolle rakennettu hiomakone, mistä myös sen nimi juontuu. Samassa yhteydessä terässulaton linjalle 1 rakennettiin kuumanapitokuopat tuotantoteknisistä syistä ferriittisten hiontaa varten. Ferriittiset teräslaadut tulee hioa kuumana yli 150 asteen lämpötilassa, jotta kuumahalkeilulta vältytään. Hionnan jälkeen kuumahiottavat ferriittiset teräkset nostetaan edelleen valssaimen etuvarastoon kuumanapitokuoppiin tai suoraan kuumavalssaamon askelpalkkiuuniin kuumavalssausprosessia varten, jotta aihion lämpötila pysyy riittävän korkeana ennen valssausta. (Outokumpu Oyj 2019a.)

5.1 Hiomakoneen pääkokoonpanot

Hiomakoneeseen kuuluu pääkokoonpanoina itse hiontayksikkö (Kuva 6), johon kuuluu olennaisina osina hiontapäänrunko, hydrauliset liikesylinterit, hiontavaihde sekä hiontamoottori. Hiontapää kulkee kiinteään runkorakenteeseen sijoitettujen johdekiskojen varassa edestakaisin alla kulkevan aihion yläpuolella. Työssä kriittisimmiksi tarkastelun kohteiksi valikoitui korkeamman poiston kivien käytölle kulmavaihde, sen laakerointi sekä hammasvälitykset. Näille osille kohdistuu suurimmat rasitukset momentinnousun seurauksena. Muita tarvittavia lisälaitteistoja prosessihiomakoneessa ovat hydraulikkahuone sekä sähkö- ja automaatiotilat.



Kuva 6. HK6 hiontapää

Hiomakoneeseen kuuluu myös lisälaitteistoina prosessiteknisesti tärkeitä laitteistoja, joita ovat panostus- ja purkupöydät (Kuva 7). Nämä lisälaitteet kuljettavat aihiot hiomakoneen hiontapöydälle ja sieltä pois. Purkupöydän yhteydessä sijaitsee myös aihionkääntölaitteisto. Yläpuolelta hiottu aihio käännetään kääntölaitteella ympäri, jonka jälkeen se ajetaan takaisin hiomakoneen hiontapöydälle. Tämän jälkeen päästään myös työstämään aihion alapuoli. Hiomakoneen hiottua aihion molemmat leveät sivut, aihio ajetaan pois koneelta ja uusi työstösykli voidaan aloittaa panostuspuolelta seuraavan aihion lastauksella.

Kuva 7. HK6 panostus-siirtopöytä

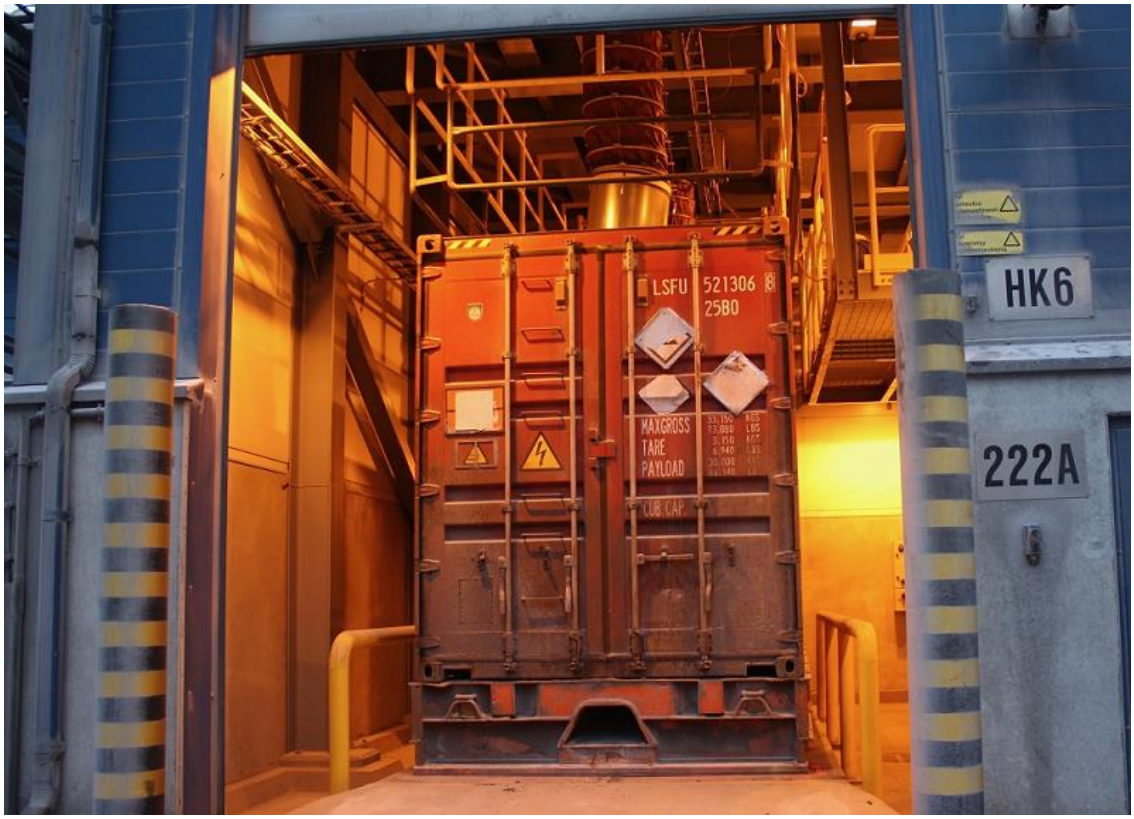
Hiontapöytä (Kuva 8) on rautapyörien varassa kiskoilla liikkuva vaunu, jonka päälle hiottava aihio lastataan. Vaunu liikuttaa aihiota pitkittäin hiontapään ja siinä pyörivän hiontakiven alla, jonka seurauksena aihiosta saadaan irrotettua materiaalia.

Kuva 8. HK6 hiontapöytä

Hiomakoneen alla sijaitsee lastunpoistolaitteisto (Kuva 9), johon aihiosta irronnut hiontajäte lentää. Lastunpoistolaitteisto koostuu kahdesta siirtovaunusta, joiden päällä on kuorma-autolla tyhjennettävät vaihtolavat. Näitä lavoja voidaan siirtää hiontojen väliaikoina, jotta hiontaprosessi ei pysähdy lastulavan täytyttyä. Lavat voidaan myös tyhjentää prosessin ollessa käynnissä, jolloin kuorma-auto käy noutamassa lastukuilusta sivussa olevan vaihtolavan.

Kuva 9. Lastunkäsittelylaitteisto

Suodinlaitos on toinen tärkeä osa irtoavan hiontajätteen poiston kannalta. Hiontaprosessin yhteydessä aihiosta irtoaa suuri määrä hienopölyä sekä kaasuja. Nämä pienhiukkaset imetään suurella keskipakopuhaltimella suodinsukkiin, josta ne painepuhdistustekniikan avulla tippuvat pölykonttiin (Kuva 10). Hienopölykontit lähetetään uudelleenkäsittelyyn pölysulatoille, näin saadaan optimoidusti kaikki hyödynnettävä materiaali kierrätykseen.



Kuva 10. Suodinlaitos

6 PROSESSITESTIT C-KIVELLÄ

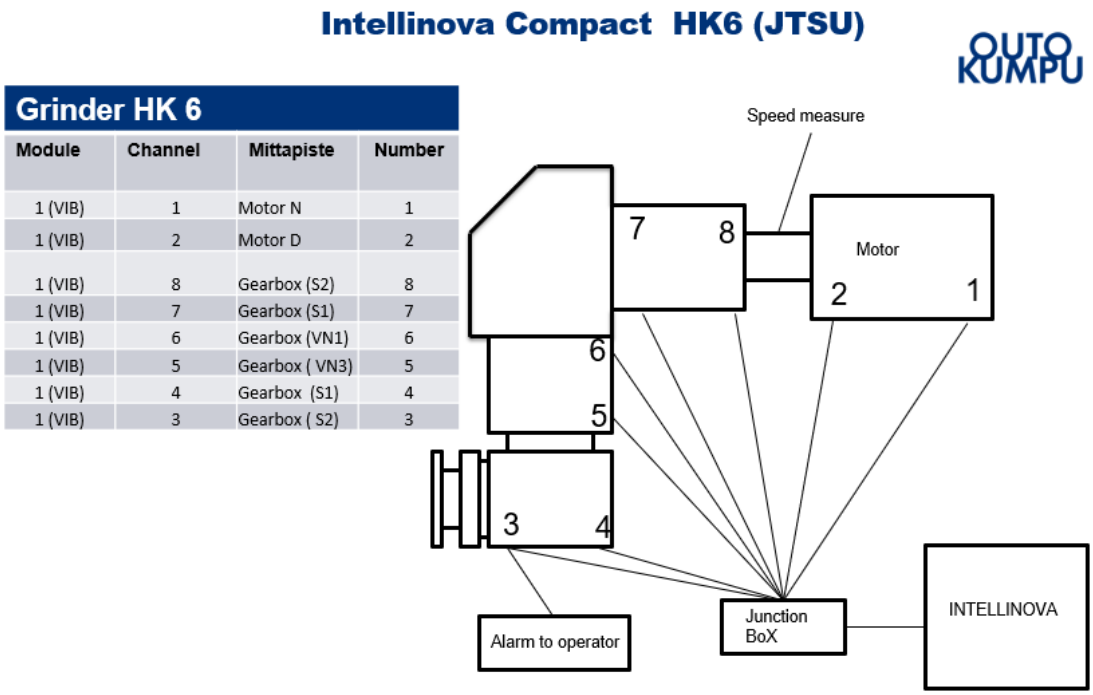
Opinnäytetyötäni varten aihiohiomoon tilattiin 20 kappaletta 3M:n korkeamman poiston omaavia C-tyypin hiomakiviä. Hiontatestit suoritettiin 11.1.2019-17.1.2019 välisenä aikana. Testien ensimmäisessä vaiheessa hiottiin kahdeksan kappaletta hiomakiviä. Testihiontojen ajaksi ennakkohuolto asetti SPM värähtelymittausjärjestelmän viiden minuutin mittausvälille. Näistä mittauksista voitiin tarkkailla prosessivärinöiden tasoa sekä niiden muutosta. Muita tutkittavia kohteita olivat lastunpoiston- ja suodinlaitoksen toimivuus sekä hiontavaihteen sekä hiontamoottorin käyntilämpötilat. Suurin osa datasta oli jatkuvan mittauksen toimintaperiaatteella, joka on perusedellytys prosessin tarkalle analysoinnille.

Haasteeksi testihionnoissa ilmeni poiston riittämättömyys sekä poistojen suuri vaihtelu. Näihin haasteisiin on esitetty ratkaisut opinnäytetyön myöhemmässä vaiheessa.

6.1 Värähtelymittaukset

Hiomakoneesta mitattiin testien aikana ennakkohuollon toimesta prosessivärähtelyitä. Päätarkoituksena mittauksissa oli selvittää keskivärähtelytaso (Vel, RMS). Tämän perusteella voidaan osoittaa C-kiven käytöstä vaihteistolle aiheutuvien värinöiden taso verrattuna D-kiven käyttöön.

Värähtelymittaukset suoritettiin SPM Instrumentin Intellinova compact On-line mittausjärjestelmällä (SPM Instrument 2019b). Järjestelmä on asennettu kiinteästi hiomakoneelle 6 ja sillä valvotaan ennakkohuollollisesti laitteiston toimintakuntoa jatkuvan mittauksen periaatteella. Värähtelyantureiden sijainnit on esitetty kuvassa 11. Hiontatestien aikana samaa laitteistoa käytettiin prosessivärinöiden tason tutkimiseen. Tulokset mittauksista on esitetty luvussa 8.



Module	Channel	Mittapiste	Number
1 (VIB)	1	Motor N	1
1 (VIB)	2	Motor D	2
1 (VIB)	8	Gearbox (S2)	8
1 (VIB)	7	Gearbox (S1)	7
1 (VIB)	6	Gearbox (VN1)	6
1 (VIB)	5	Gearbox (VN3)	5
1 (VIB)	4	Gearbox (S1)	4
1 (VIB)	3	Gearbox (S2)	3

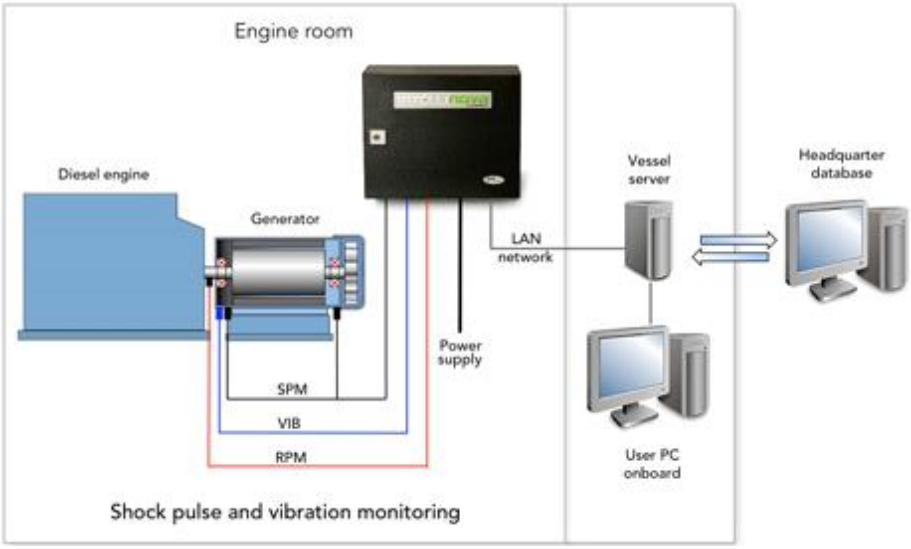
Kuva 11. HK6 Värähtelyantureiden mittapisteet (Outokumpu Oyj 2019a.)

Mittausmenetelmänä Intellinova Compact tarjoaa parhaan käytettävissä olevan mittaustekniikan yhdistelmän, jossa yhdistyvät SPM HD- ja FFT-tekniikka.

SPM HD, teräväpiirtopulssitekniikka on tarkoitettu mittaamaan erityyppisiä laitteistoja laajalla kierrosalueella 0,1 - 20 000 kierrosta minuutissa. Intellinova sisältää myös HD ENV, teräväpiirtovärähtelytekniikka-analyysin, jossa havaitaan varhaisen vaiheen vaihteistomuutoksia sekä alkavia laakerivikoja. Laajakaistainen tärinämittaus suoritetaan ISO 2372:n tai ISO 10816:n mukaisesti.

Intellinova sisältää myös FFT-spektrin, jolla koneen vian oireiden arvioinnilla havaitaan helposti epätasapaino, linjausvirheet sekä laitteiston rakenteelliset heikkoudet. Järjestelmä on suunniteltu analysoimaan vaikeita ympäristöjä ja monimutkaisia käyttöolosuhteita eri teollisuuden toimialoilla. Käyttökohteita ovat tuuliturbiinit, pumppaamot, puhaltimet, vaihteistot, murskaimet, kuljettimet, sekä muut vastaavat pyörivät laitteistot. (SPM Instrument 2019a.)

Spm:n Condmaster ohjelmistolla pystytään tehokkaasti analysoimaan Intellinovan tallentamaa tietoa. Tyypillinen Intellinovan kiinteäasenteinen mittausjärjestelmä on esitetty kuvassa 12. (SPM Instrument 2019c.)



Kuva 12. Intellinova Compact Online mittausjärjestelmä esimerkki (SPM Instrument Oy 2019c.)

Ennakkohuollollisesti värähtelymittaustekniikka perustuu siihen, että pyritään havaitsemaan alkavan vikaantumisen aiheuttama muutos värähtelysuureessa. Kunnonvalvonnassa olennaista on havaita normaalista poikkeava tilanne ja puuttua siihen tarvittavan nopeasti, ennen kuin laite vikaantuu. Tällöin kunnossapidolle jää riittävästi aikaa selvittää mikä on vian vakavuusaste, sekä millaisiin korjauksiin on tarpeellista varautua. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 23, 4. sivu 4.)

Värähtelymittauksiin perustuvaa menetelmää pidetään yleisesti tehokkaimpana koneiden sekä laitteistojen kunnonvalvonnassa silloin, kun arvioidaan dynaamisia ilmiöitä kuten tasapainoa, laakeroinnin kuntoa ja yleensä voimia, jotka kohdistuvat suoraan laitteiston eri komponentteihin. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 23, 4.2. sivu 5.)

6.2 Lämpötilamittaukset

Yhtenä merkittävimmistä prosessisuureiden kasvun kannalta tutkittavista kohteista oli hiontavaihteiston sekä hiontamoottorin käyntilämpötilat. Hiontavaihteesta tulee kuusi mittausta. Mittaukset ovat sijoitettuina vaihteiston laakereiden yhteyteen, joista pystytään valvomaan niiden käyntilämpötilaa sekä jossain määrin myös kuntoa.

Hiontamoottorissa mittapisteet ovat sijoitettuina N- ja D-pään laakereiden kohdalle sekä käämeille U, V, W. Mittaukset tallentuvat hiomakoneelta jatkuvan mittauksen periaatteella IBA-data tietokantaan. Näitä tietoja pystytään tarvittaessa analysoimaan IBA-Analyzer ohjelman avulla trendipiirtoina. (Outokumpu Oyj 2019a.)

Mittalaitteena kohteissa on käytetty yleisesti prosessitekniikassa käytettäviä Pt100-platinavastusantureita (Kuva 13). Vastusanturit (Pt100) ovat pitkäikäisiä, kestäviä sekä tarkkoja antureita lämpötilan mittaukseen. Mitta-antureille on määritelty tarkkuusluokat Standardissa IEC 60751. Vastusarvo Pt100-anturilla on 100 ohmia 0-asteessa lämpötilassa. Pt100-anturin perustarkkuus on B-luokka, poikkeama ±0,3°C 0-asteen lämpötilassa. Vastusanturin maksimi jatkuva käyttölämpötila on 700°C. (Nokeval Oy 2019.)

Kuva 13. Pt100 prosessianturi (Nokeval Oy 2019.)

Lämpötilan muutoksilla voidaan havainnoida rasitusten kasvua prosessilaitteessa sekä laakerointien voitelun toimivuutta sekä riittävyyttä. Tarkoituksena C-tyypin hiomakivillä hiottaessa on pitää tehoarvot niissä rajoissa, jotta koneella voidaan ajaa luotettavasti sen suunnitellun elinkaaren ajan aiheuttamatta ennenaikaista vikaantumista.

Lämpötilan kohoaminen pyörivissä laitteissa käynnin aikana on yleensä merkkinä kasvaneesta kitkasta, tämä johtuu laakerivauriosta tai voiteluhäiriöstä. Lämpötilan mittaus on joissain tapauksissa myös käyttökelpoinen kunnonvalvonnan menetelmä. Kuitenkin usein lämpötila kohoaa vasta siinä vaiheessa, kun vaurio on jo niin vakavalla asteella, että korjausten valmisteluun jäävä aika on riittämätön. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, Luku 23, 4.4)

6.3 Tehorajan määrittäminen

Hiomakoneella 6 on myös vuonna 2017 Eeva Koiviston toimesta ajettu testiluontoisesti pehmeämpiä C-tyypin hiomakiviä. Hiomakiville löytyi valmiit hiontaohjelmat, joilla aloitettiin testihionnat tämänkin työn osalta. Testeissä oli tarkoitus nostaa koneen hiontateho maksimiarvoon, jotta hiomakivien suurin poistoteho pystyttiin määrittämään. Tehorajan selvittäminen oli välttämätön toimenpide hiontojen optimoinnin sekä maksimaalisten työstöarvojen selvittämiseksi.

6.4 Suodinlaitoksen pölymittaukset

Hiontatestien aikana suodinlaitoksen tarkastelun päämääränä oli selvittää, pystyykö se toimimaan luotettavasti C-kiven tuotantokäytössä. Epäilynä oli mahdollisuus suodinsukkien tukkeutumiseen mahdollisen hienomman prosessipölyn seurauksena.

Suodinlaitoksesta seurattiin kiinteäasenteisten prosessiantureiden mittatietoja. Seurattavia kohteita olivat käyttölämpötilat, imupaineet sekä ilma- ja pölyvirtaukset. Suodinlaitoksen poistopiipun yläosaan on asennettu jatkuvatoiminen pölypäästömittauslaitteisto Sick Dusthunter SP100 (Kuva 14). Mittausjärjestelmä toimii valon sironnan mittausperiaatteella. Laserdiodi säteilee kaasuvirrassa oleviin pölyhiukkasiin näkyvää moduloitua valoa (aallonpituus n. 650 nanometriä). Herkkä tunnistin havaitsee hiukkasten sirottaman valon, vahvistaa sitä sähköisesti ja toimittaa sen mittaus-, ohjaus ja analysointielektroniikan keskeisenä osana toimivan mikroprosessorin mittauskanavaan. Kaasukanavan mittauskohta määritellään lähetettävän säteen ja vastaanottavan apertuurin päällekkäisenä alueena. (Sick AG 2019a.)

Dusthunterilta saatujen tulosten perusteella voitiin määrittää suodinlaitteiston kriittisin tarkastelun kohde, eli ympäristöpäästöarvo. Tulokset tästä on käsitelty luvussa 8.5.

Kuva 14. Sick DustHunter pölynmittausanturi (Sick AG 2019b.)

7 HIOMAKIVITYYPIT C JA D

Hionnan lastuava ”terä” on hiomakivi, joka koostuu tuhansista hioma-ainejyvistä, sideaineesta sekä jyvien väliin jäävistä välitiloista. Välitilojen määrä vaikuttaa hiomakiven avoimuuteen, eli lastutilaan johon irtoava materiaali sijoittuu hiontatapahtuman aikana. Jokainen hiontatyö vaatii hiomalaikalta omat vaatimuksensa hiottavan materiaalin sekä käytetyn hiontamenetelmän mukaan. (Maaranen 2012, 94.)

7.1 Karkeus

Hiomajyvien kokoa eli hiomakiven karkeutta ilmaistaan numerolla hiomakiven tiedoissa. Numerot kertovat hiomakiven valmistuksessa käytetyn jyväseulan aukkojen lukumäärää neliötuumaa kohti. Mitä pienempi luku on, sitä karheammasta kivestä on kyse.

Hiomakivien karkeudet jaotellaan seuraavasti:

- karkea 10 – 24
- keskikarhea 30 – 60
- hieno 70 – 120
- erittäin hieno 150 – 600

Karhea laikka valitaan silloin, kun työstettävä aine on pehmeää tai sitkeää. Pinnan jälki saa olla karheaa tai halutaan käyttää suurta hiomatehoa. Pehmeä hiomakivi valitaan puolestaan, kun halutaan hyvä pinnanlaatu, hiotaan kovia aineita, ei tarvita suurta hiomatehoa tai kyseessä on viimeistelyhionta. (Maaranen 2012, 97.)

7.2 Kovuus

Hiomakiven hiomajyviä yhdistävä sideaine määrää hiomakiven kovuuden. Hiomakiveä kutsutaan kovaksi, mikäli sideainetta on niin paljon, että hiomajyvät pysyvät kiinni kovankin paineen vaikutuksessa. Mikäli hiomajyvät irtoavat puolestaan helposti tylsyttyään, kiveä kutsutaan tällöin pehmeäksi. Sideaineen määrää hiomakivissä luokitellaan standardimerkinnässä aakkosilla A-Z.

- pehmeä hiomakivi A-H
- keskikova hiomakivi I-P
- kova hiomakivi Q-Z

Kovuus hiomakivellä on silloin sopiva, kun hiomajyvät irtoavat itsestään niiden tylsyttyä ja tällöin hiomakivi pysyy jatkuvasti terävänä. (Maaranen 2012, 98.)

7.3 Rakenne

Hiomakiven rakenteella tarkoitetaan huokoisuutta. Huokoisuudet muodostuvat hiomajyvien sekä sideaineen välitiloihin. Välitilojen ollessa suuria hiomakiveä kutsutaan avoimeksi. Välitilojen huokosten ollessa pieniä kiveä sanotaan tiheäksi. Välitilat toimivat hiomalastun poistajan hiontatapahtuman aikana. Hiomakivien rakennetta ilmaistaan standardimerkinnässä lukuarvoilla 0-12.

- 0-3 tiheä hiomakivi
- 4-6 keskitiheä hiomakivi
- 7-12 avoin hiomakivi

Tiheä hiomakivi valitaan, kun halutaan hyvä pinnanlaatu, hiottava aine on kovaa ja haurasta tai kosketuspinta laikan ja kappaleen välillä on pieni.

Avoin laikka valitaan, kun halutaan suurta hiomatehoa, hiottava aine on pehmeää ja sitkeää tai kosketuspinta hiomakiven ja materiaalin välillä on suuri. (Maaranen 2012, 98.)

7.4 Sideaine

Hiomakiven sideainetta osoittaa kirjain, tavallisimmin V, B, R tai M. Sideainemerkinnän yhteydessä voi olla myös muita valmistajan merkitsemiä kirjaimia. Ne ilmaisevat käytettyjä sideainemuutoksia. Tavallisimmin käytettyjä sideaineita ovat seuraavat:

- Keraaminen sideaine. Yleisimmin käytetty sideainetyyppi, jota käytetään myös pienillä pyörintänopeuksilla sekä tarkkuushionnassa.
- Bakeliittisideaine. Ominaisinta suuri lujuus sekä joustavuus, tämän vuoksi yleisesti rouhintahionnassa käytetty sideaine.
- Kumisideaine. Käytetään kun päämääränä on saavuttaa hyvä pinnanlaatu.
- Metallisideaine. Käytetään timantti- ja boorinitridihiomakivissä.

  (Maaranen 2012, 98.)

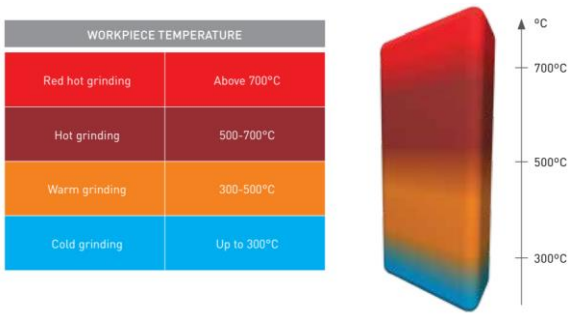
7.5 Hiomakiven merkinnät

Hiomakivivalmistajat ilmoittavat tuotteidensa yhteydessä hiomalaikan valmistustiedot. Tuoteselosteen on sisällettävä vähintään seuraavat tiedot:

- valmistajan nimi
- laikan suurin sallittu kehänopeus ja uuden laikan pyörimisnopeus
- laikan halkaisija, laikan paksuus sekä reiän halkaisija
- hioma-aine, karkeus, kovuus, rakenne ja sideaine
- muut mahdolliset valmistajan merkinnät.

  (Maaranen 2012, 95.)

Hiomalaikkaa valittaessa on tiedettävä käyttötarkoitus, hiomakoneen rakenne sekä käyttöolosuhteet, jossa laikkaa tullaan käyttämään. Ruostumattoman teräksen prosessituotannossa hionnan tarkoitus on poistaa pintavikoja aihioista. Prosessituotannon vuoksi poisto pitää suorittaa myös mahdollisimman tehokkaasti, mikä tuo omat vaatimuksensa hiomalaikan valintaan. Hiottava aihio voi olla myös todella kuuma, jopa 700-asteinen. Tällöin on valittava korkeapainehiontaan tarkoitettu kuumahiontalaikka, jotta se kestää työstössä. Hiomakivivalmistaja Norton jaottelee hiontatapahtuman ja laikan valinnan kuvan 15 mukaan. (Norton Abrasives 2019)



Kuva 15. Hiontatapahtuman lämpötilajakauma (Norton Abrasives 2019.)

Hiomalaikan kokotiedot esitetään hiomalaikan tiedoissa seuraavasti. Esimerkkinä koodi ”915 x 150 x 305”. Ensimmäinen numero kertoo laikan ulkohalkaisijan, toinen laikan paksuuden ja kolmas numero hiomalaikan asennusreiän tiedot. Taulukossa 1 on esitetty tyypillisiä hiomakivien kokovaihtoehtoja.

Taulukko 1. Hiomakivien kokotaulukko (Norton Abrasives 2019.)

DIAMETER (mm)	THICKNESS (mm)	BORE (mm)
406	38-51-63	152.4
508	51-65	152.4-203.2
610	51-65-76-102-127	203.2-304.8-305
760	76-102-125	203.2-304.8-305
915	102-125-150	304.8-305-400

Kokonaisuudessaan hiomalaikan valmistustiedot rakentuvat taulukon 2 mukaan. Tiedoissa ilmenee hionnan tyyppi, hiomarakeen koko, yhteisvaikutus, luokka sekä hionta-aineen sidostapa. Esimerkissä on esitetty ruostumattomalle teräkselle soveltuva Nortonin ”700A144XBZZ” korkeapaineinen kylmähiontalaikka.

Taulukko 2. Norton hiomakiven merkintätapa (Norton Abrasives 2019.)

	ABRASIVE TYPE	GRIT SIZE	COMBINATION	GRADE	BOND
Manufacturing	700A	14	4	X	BZZ
Commercial	A	14	-	X	BZZ

7.6 Hiomakivityyppi D

Aihiohiomossa käytetyn D-tyypin hiomalaikanvalmistaja merkintä on 915x149x304.8, A19XBZH, 80M/S 1670RPM. Hiomalaikan ulkohalkaisija on 915 millimetriä, paksuus 149 millimetriä ja reiän halkaisija 304, millimetriä. Käytetty hiontamateriaali on alumiinioksidi ja raekoko 19 JIS-standardin mukaan.

Merkintä ”X” ilmaisee kovuusluokan, joka on kyseisellä kivellä skaalan (A-Z) kolmanneksi kovin. Merkintä ”BZH” ilmaisee laikan olevan korkeapainehiontaan tarkoitettu kuumahiontakivi. Merkinnän loppuosa kertoo hiomalaikan maksimikehänopeuden ja sen vaatiman kierrosnopeuden uudella hiomalaikalla.

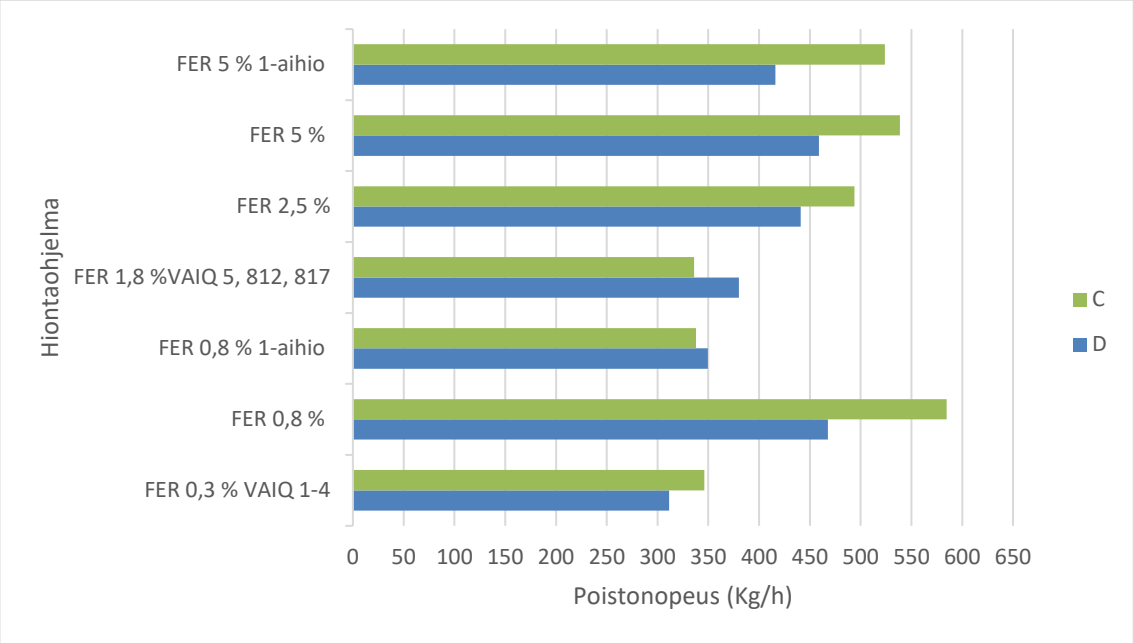
Kovan hiomalaikan rakenneominaisuuden vuoksi sen käyttöikä on pitkä verrattuna pehmeisiin laikkoihin. Haittapuolina kovalla laikalla on huonompi teroittumiskyky, koska sen hiontajyvät irtoavat hitaammin niiden tylsyttyä. Tästä johtuen osa hiontalastusta on koostumukseltaan pienempää käytettäessä D-kiveä. (Maaranen 2012, 98.)

7.7 Hiomakivityyppi C

C-tyypin hiomakivissä valmistajan typpimerkintä on 915x150x305 -80M/S. Hiomakivi on ulkomitoiltaan vastaava kuin D-hiomakivi. Kiven karheus on 20 grittiä, hioma-aineena Black Rod sekä sideaineena bakeliitti. Hiomakiven pyörimisnopeus, eli jatkuva kehänopeus on myös vastaava 80m/s.

7.8 Hiomakivien vertailu

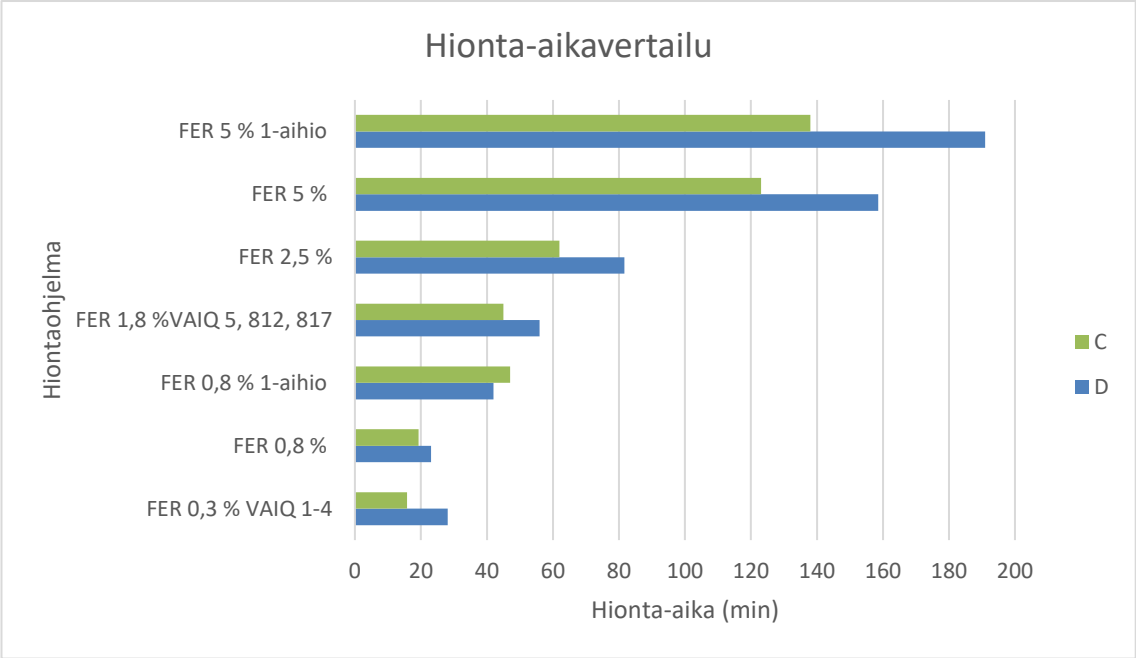
Testijaksolla oli nähtävissä selkeästi pehmeämmän C-tyypin hiomakiven kohonnut materiaalinpoistokyky verrattuna D-kiveen. Kuviossa 2 on nähtävissä materiaalin poistonopeuden erot hiontaohjelmilla 0,3 - 5 poistoprosenttia. Materiaalin poistokyky oli C-tyypin hiomalaikalla keskimäärin 15 prosenttia nopeampaa verrattuna D-kiveen. Hionta-aikana ero oli keskimäärin 20 prosenttia nopeampaa C-tyypin hiomakivellä.



Kuvio 2. Hiomakivien C ja D poistonopeuden erot

Hiontaparametrien pidemmällä testaamisella ja optimoinnilla sekä hiomakone muutosten myötä C-tyypin hiomakivellä voidaan päästä jopa 30 prosentin aikaetuun verrattuna perinteisen D-tyypin hiomakiven käyttöön. Tämä muodostaa selvän hyödyn hiontanopeuteen. Muutosten jälkeen C-kivi voidaan ottaa tarvittaessa tuotantokäyttöön esimerkiksi kohonneen tuotantotarpeen seurauksena.

Kuviossa 3 on nähtävissä eri hiontaohjelmien hionta-aikavertailu. Suurin aikasäästö muodostui pitkillä yli 2,5 poistoprosentin hiontaohjelmilla. Lyhyillä alle yhden prosentin poistotavoitteen ohjelmilla ei käytännön hyötyä muodostunut pehmeämmän C-hiontakiven käytöstä.



Kuvio 3. Hiomakivien C ja D hionta-aikavertailu

Hiontapoiston aikasäästö muodostuu C-tyypin hiomakiven pysyessä terävänä läpi hionnan, koska pehmeämpänä kivenä se irrottaa tylsyneet hiomajyvät nopeammin. Tällöin hiomakiven irrottama lastu on suurempi ja sen myötä myös poistonopeus.

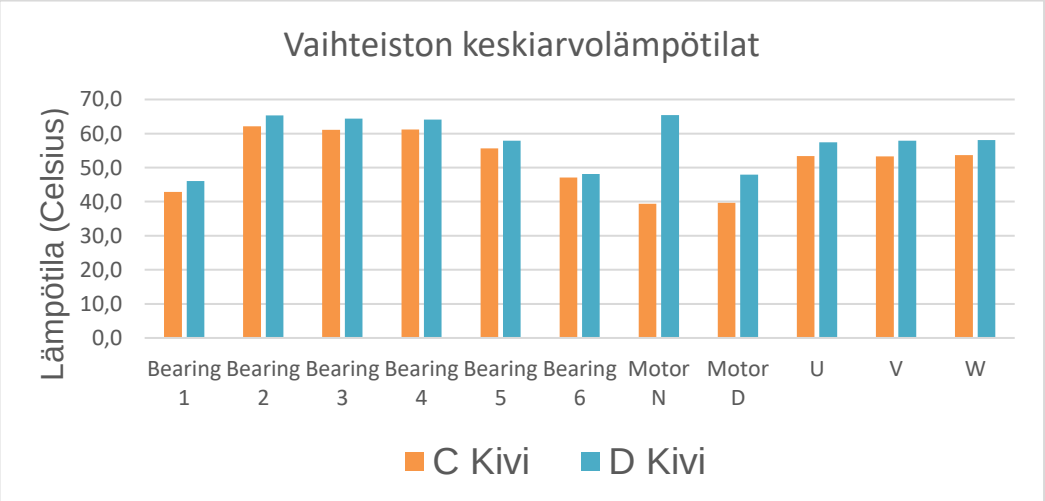
Korkeamman poistonopeuden vuoksi hiomakoneella voidaan käyttää suurempaa hiontapöydän nopeutta sekä poikittaissyöttöä. C-kivi on myös maltillisesti raskaampi pyörittää, joten hionnan aikana voidaan käyttää suurempaa hiontatehoa maksimihiontavoimaa ylittämättä.

8 HIOMAKONEEN TOIMINTA C-KIVELLÄ

Tässä luvussa käsitellään testihiontojen tuloksia, joissa verrataan C- ja D-tyypin hiomakivien eroavaisuuksia sekä prosessisuureiden tasomuutoksia. Tuloksissa käytetään vertailukohtina testijaksoa 11.1.2019 - 17.1.2019 sekä 17.1.2019 - 25.1.2019 testin jälkeistä aikaa, jolloin palattiin D-kiven käyttöön. Ajankohdaksi on valittu vuosihuoltoseisokin jälkeinen aika. Tällä varmistetaan, että tuloksista saadaan mahdollisimman luotettavia, hiomakoneen toiminnallisen kunnon olevan vertailukelpoinen testijaksojen aikana.

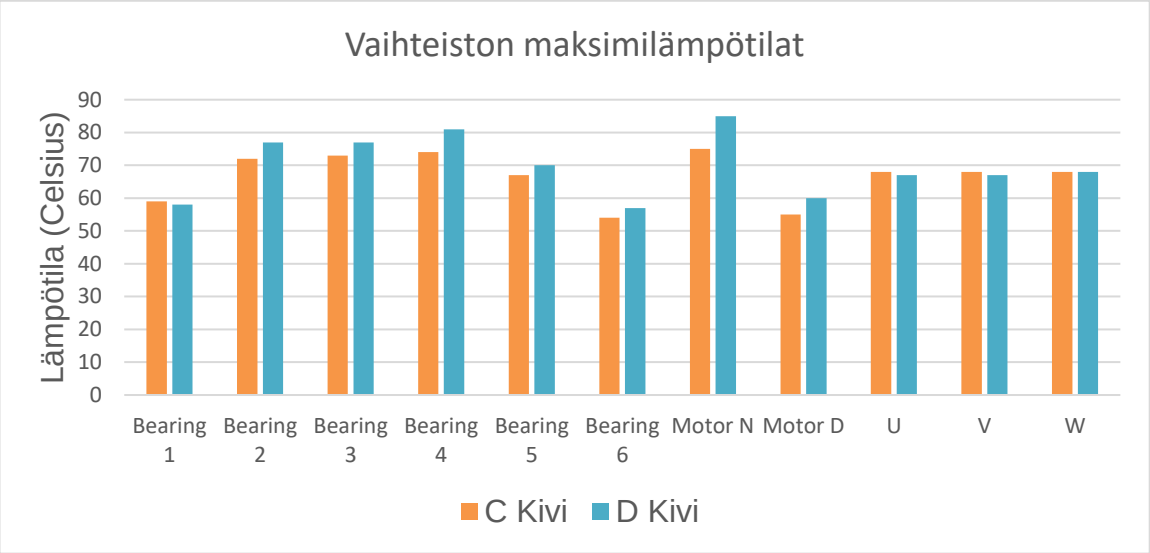
8.1 Hiontavaihteen lämpötila

Vaihteiston sekä hiontamoottorin lämpötilat on mitattu normaalin prosessihiontojen yhteydessä, hiottaessa pääsääntöisesti kuumana hiottavia ferriittisiä laatuja. Tuloksissa ei ilmennyt olennaista lämpötilamuutosta vaihteistossa eikä hiontamoottorissa hiottaessa C-kivellä. Lämpötilat jäivät keskiarvoisesti jopa pienemmäksi hiontatestien aikana. Käyntilämpötilojen erovaisuudet ovat nähtävissä kuviossa 4.



Kuvio 4. Vaihteiston keskiarvolämpötilat

Vaihteiston sekä hiontamoottorin korkeimmat lämpötila-arvot olivat käytännössä yhtäläiset. D-kivellä lämpöarvot kävivät hieman korkeammalla. Syynä tähän voidaan pitää hiomakiven vaihtojen eroavaisuutta. C-kivet vaihdettiin noin 50 - 100 millimetriä suurempina. Hiomakivessä vaadittu kehänopeus on 80m/s. Kierrosnopeutta kasvatetaan hiomakiven pienentyessä, jotta kehänopeus pysyy vakiona. Tällöin D-kivillä hiottaessa hiontamoottorin sekä vaihteiston pyörimisnopeus kasvoi suuremmaksi ja aiheutti lievää lämpötilan kohoamista laakereissa.

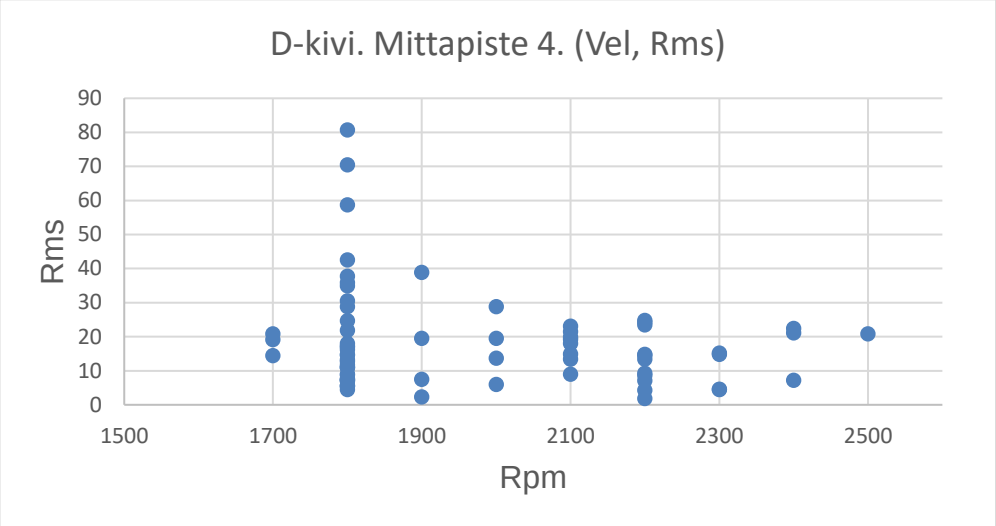


Kuvio 5. Hiontavaihteen maksimilämpötilat

Lämpötilojen osalta ei löytynyt merkittävää eroavaisuutta hiottaessa C- tai D- hiomakivellä. Vaihteiston sekä hiontamoottorin laakereiden maksimikäyttölämpötilat näkyvät kuviossa 5. Sallittuja käyttölämpötiloja ei ylitetty testeissä. Laitteiston käyntilämpötilojen osalta korkeamman poiston C-kivien käyttö hiomakoneessa on tällöin turvallista. Hiontavaihteen suurimpana lämpötilamuutosten aiheuttajana voidaan pitää kierrosnopeuden kasvua hiomakiven pienentyessä. Toisena aiheuttajana voidaan pitää hiomahytin sisäisen lämpötilan muutosta.

8.2 Hiontavaihteen värähtely

Hiomakone 6:n prosessinaikaisen värähtelymittauksen tulosten analysoinnissa haasteeksi muodostui mittausten suuri hajonta, mikä näkyy kuviossa 6. Mittauksissa tarkasteltiin värähtelynopeuden Rms-arvoa, joka on soveltuva suure vertailtaessa värähtelytasoja hiomakivien C ja D välillä.



Kuvio 6. Rms värähtelymittausesimerkki, mittapiste 4

Rms eli tehollisarvo on sähkötekniikan suure, joka ilmaisee aaltoliikkeen neliöllisen keskiarvon. Värähtelytekniikassa tehollisarvo ilmaisee värähtelysignaalin suuruutta ja se on yhteydessä värähtelyn sisältämään energiaan. Rms-keskiarvo kuvaa paremmin energiasisällön suuruutta, kuin yksittäinen signaalin huippuarvo (Ap). Tällöin sitä voidaan nimittää myös tärinärasitukseksi. Rms-arvo lasketaan huippuarvosta kaavan (1) mukaan. Värähtelynopeuden tehollisarvo (Rms) on tärinänmittauksissa yleisimmin käytetty mittaussuure, jolla pystytään ilmaisemaan laitteiston tärinän voimakkuutta. (Nohynek & Lumme, 51 – 52.)

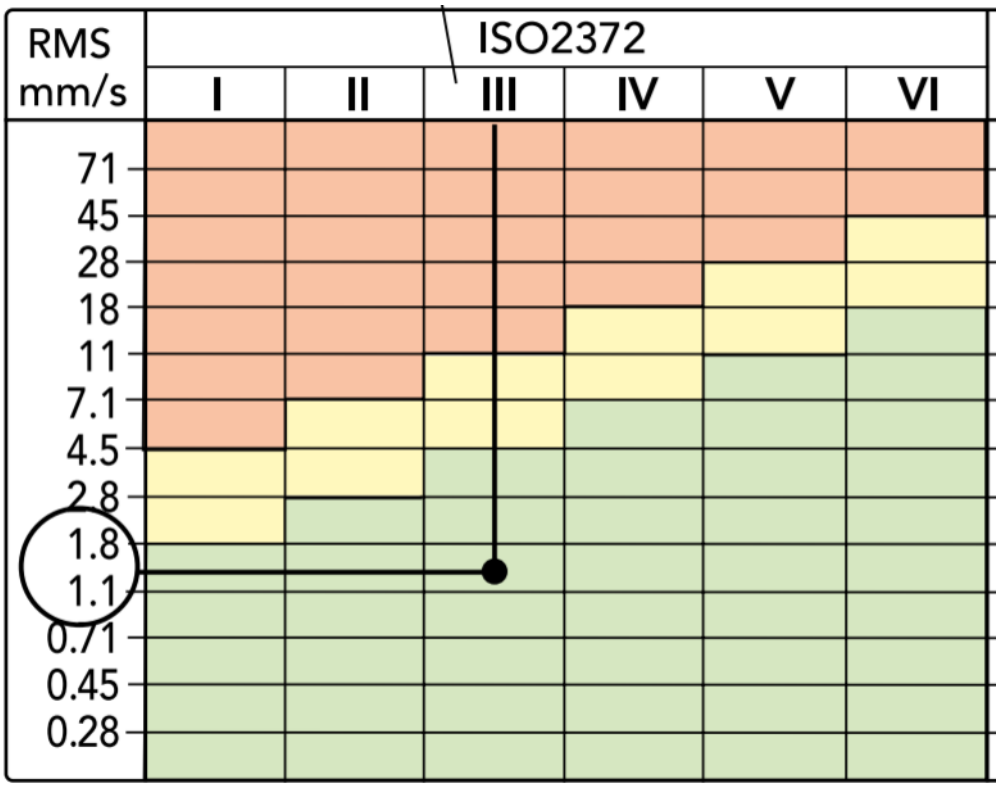
$$Rms = \frac{Ap}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Missä

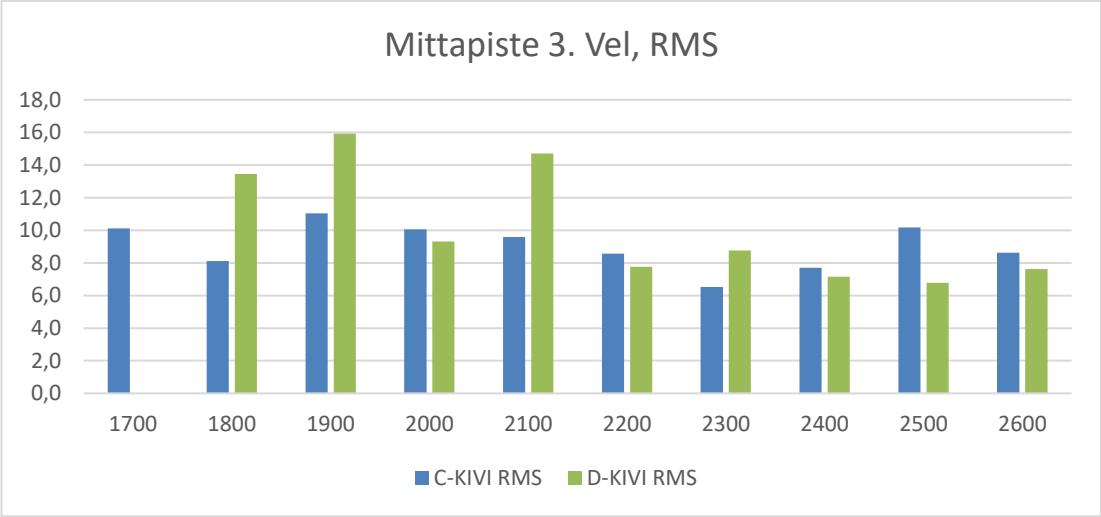
Rms	on	Värähtelyn neliöllinen keskiarvo
Ap	on	Värähtelyn amplitudin huippuarvo

Hiomakone 6:n prosessivärähtelyiden taso on yleisesti todella korkea hiontavaihteen kierrosnopeudesta (1600 – 2700rpm) riippumatta. ISO2372- standardissa on esitetty yleisesti sallitut arvot koneiden värähtelyille värähtelynopeuden (mm/s) mukaan. Hiomakone 6 on standardin luokka kolmen (3) laite hiontamoottorin tehollisen arvon ollessa 315kW. Hiontaprosessin aikana standardin ilmoittamat sallitut arvot ylittyvät suuresti korkeimpien piikkien osalta. Keskivertaisesti kiihtyvyys Rms pysyy kuitenkin sallitun ylärajan tasolla. Taulukossa 3 on esitetty standardin ISO-2372 sallimat värähtelyarvot.

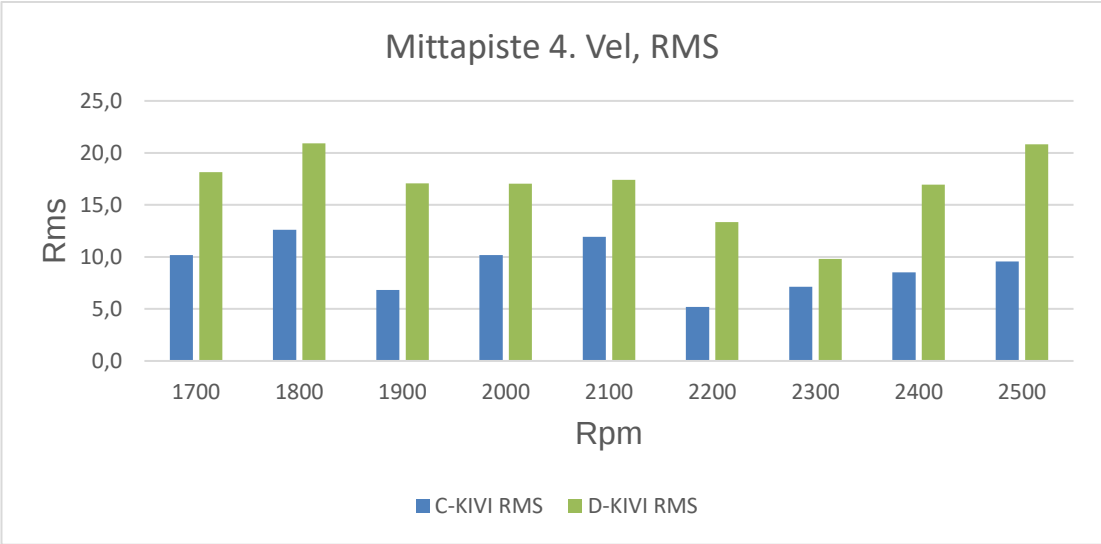
Taulukko 3. ISO-2372 standardin sallimat Rms-arvot (SPM Instrument 2019d.)



Tallennetusta värähtelymittausdatasta otettiin hiomakiven pyöriessä sadan kierroksen välein Rms-arvo. Mittauksista laskettiin keskiarvot, jotka ovat nähtävissä kuvioissa 7 ja 8.



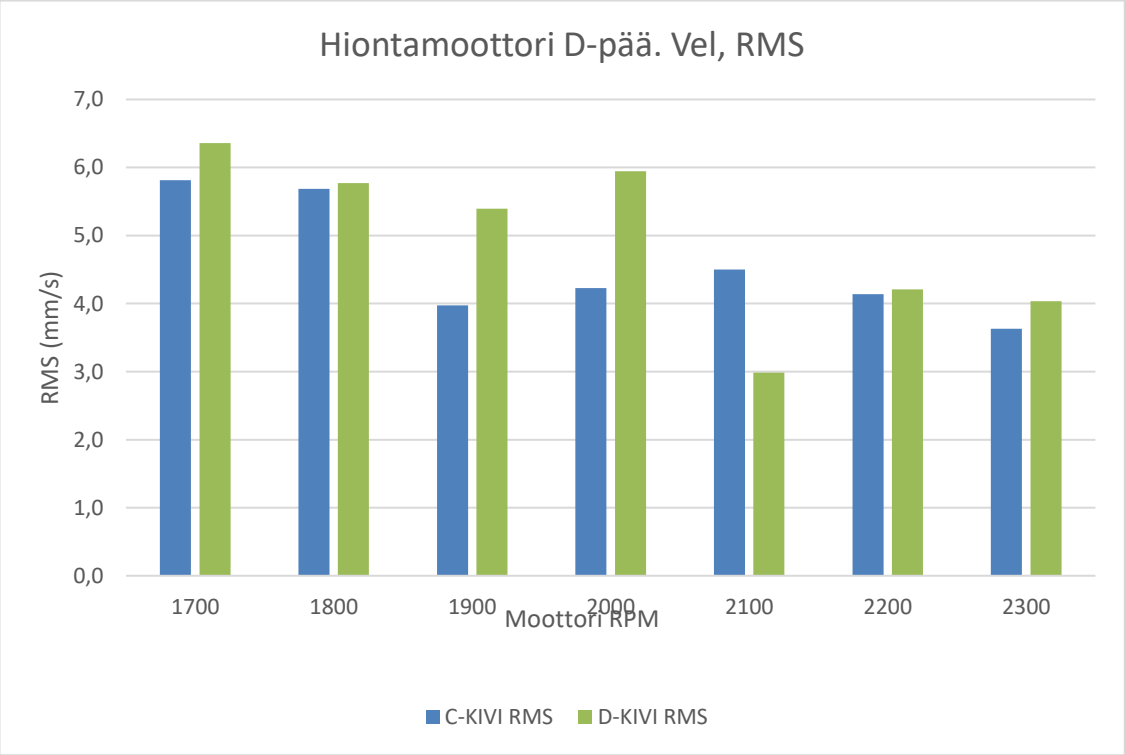
Kuvio 7. Mittapiste 3, värähtelynopeuden Rms



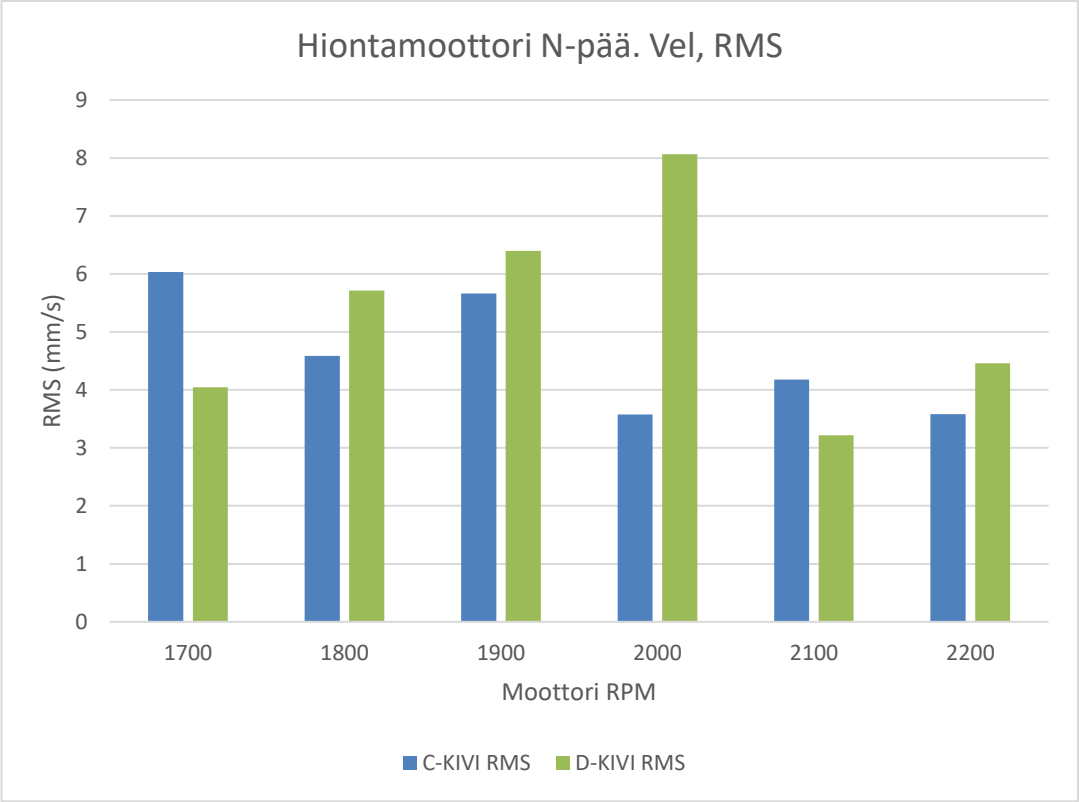
Kuvio 8. Mittapiste 4, värähtelynopeuden Rms

8.3 Hiontamoottorin värähtely

Hiontamoottorilla RMS-arvot olivat yleisesti huomattavasti matalampia vaihteistoon verrattuna. Värähtelyarvot pysyivät kummallakin kivityypillä standardin sallimien arvojen rajoissa. Hiontamoottorin kytkimenpään värähtelyarvot olivat maltillisesti matalampia verraten vapaanpään arvoihin. Mittausarvot ovat nähtävissä kuvioissa 9 ja 10.



Kuvio 9. Hiontamoottorin kytkimenpään Rms-vertailu

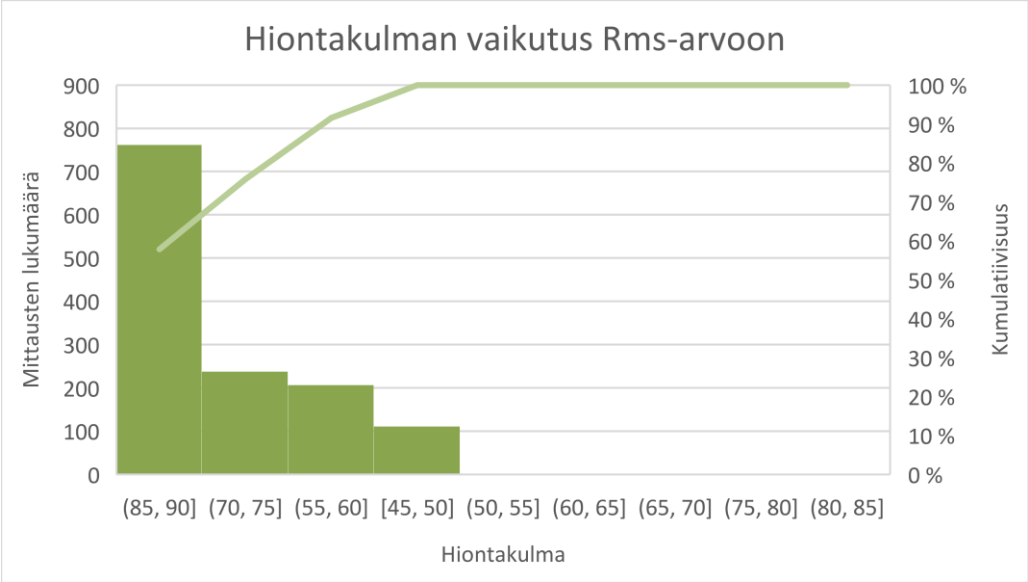


Kuvio 10. Hiontamoottorin vapaanpään Rms-vertailu

8.4 Värinään vaikuttavat tekijät

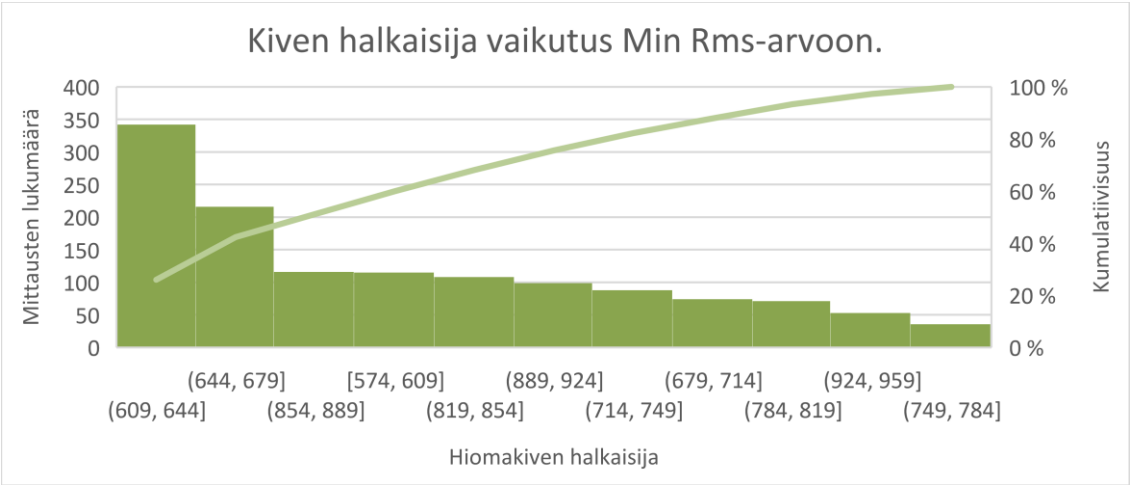
Hiomakoneen tallentamasta datasta oli analysoitavissa kaksi merkittävää tekijää, jotka vaikuttivat olennaisesti hiontavaihteiston värähtelyyn. Näitä tekijöitä olivat hiontakulma sekä hiomakiven halkaisija. Tuloksissa tutkittiin vuoden 2018 aikana D-kivellä suoritettujen hiontojen värähtelyarvoja ja tarkasteluun otettiin ääripäistä viisi Rms-yksikköä analysoitavaksi.

Pienimmäksi Rms (Vel) arvoksi muodostui hiontakulman ollessa 85-90 astetta aihioon nähden. Tällöin hiomakiven pyörimisestä ei aiheudu hiontapäälle vetävää voimaa. Hiontakulmien vaikutus värähtelyyn on nähtävissä kuviossa 11.



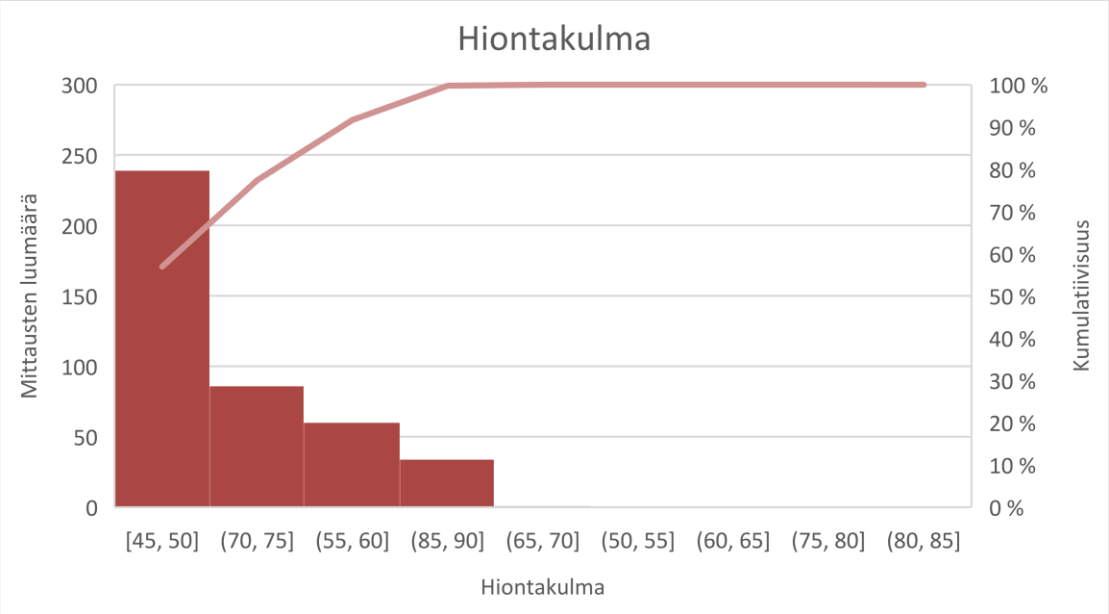
Kuvio 11. Hiontakulman vaikutus minimi Rms-arvoon

Hiomakiven vaikutus näkyi selvästi myös diagrammissa, värähtelyn ollessa matalinta. Pienimmät värähtelyarvot mitattiin hiomakiven ollessa alle 700 millimetriä. Tämä selittyy keskipakoisvoiman vaikutuksesta, jolloin pienellä halkaisijalla kiven epätasapainoisuus ei muodosta yhtä suuria voimia verraten uuteen hiomakiveen. Kumulatiivisuudesta päätellen hiomakiven halkaisija vaikutus värähtelyyn pienentyy lähes tasaisesti halkaisijaan verraten. Hiomakiven halkaisijoiden vaikutus värähtelyyn on nähtävissä kuviossa 12.



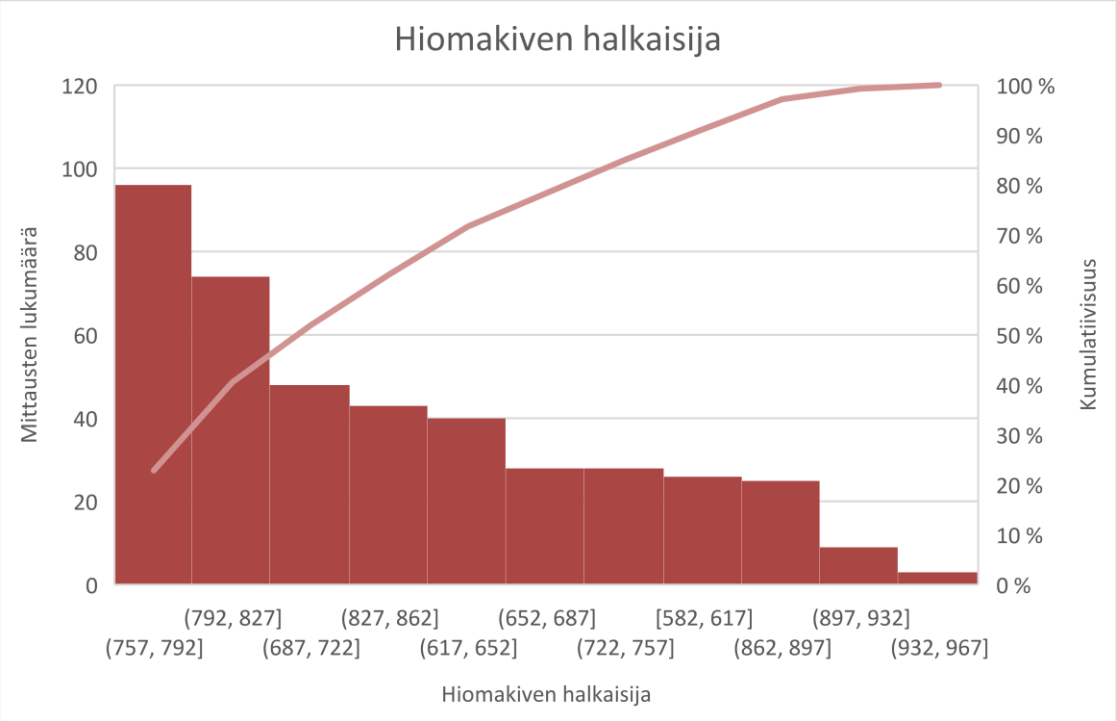
Kuvio 12. Hiomakiven halkaisijan vaikutus minimi Rms-arvoon

Hiontavaihteen Rms värähtely on korkeimmillaan 40 - 48 yksikköä. kuviossa 13 on selvästi havaittavissa hiontakulmien 45-50 asteen vaikutus värähtelyn voimakkuuteen. Hiomakiven vetävästä voimasta muodostuu maksimaalinen ja värähtely on korkeimmillaan.



Kuvio 13. Hiontakulman vaikutus maksimi Rms-arvoon

Värähtelyn taso kasvaa hiomakiven ollessa halkaisijaltaan yli 830 millimetriä. Tällöin suurella hiomakiven halkaisijalla keskipakovoiman vaikutus on voimakkainta ja keskivärähtely suurimmillaan. Halkaisijan vaikutus korkeimpaan Rms-arvoon on nähtävissä kuviossa 14.



Kuvio 14. Hiomakivenhalkaisijan vaikutus maksimi Rms-arvoon

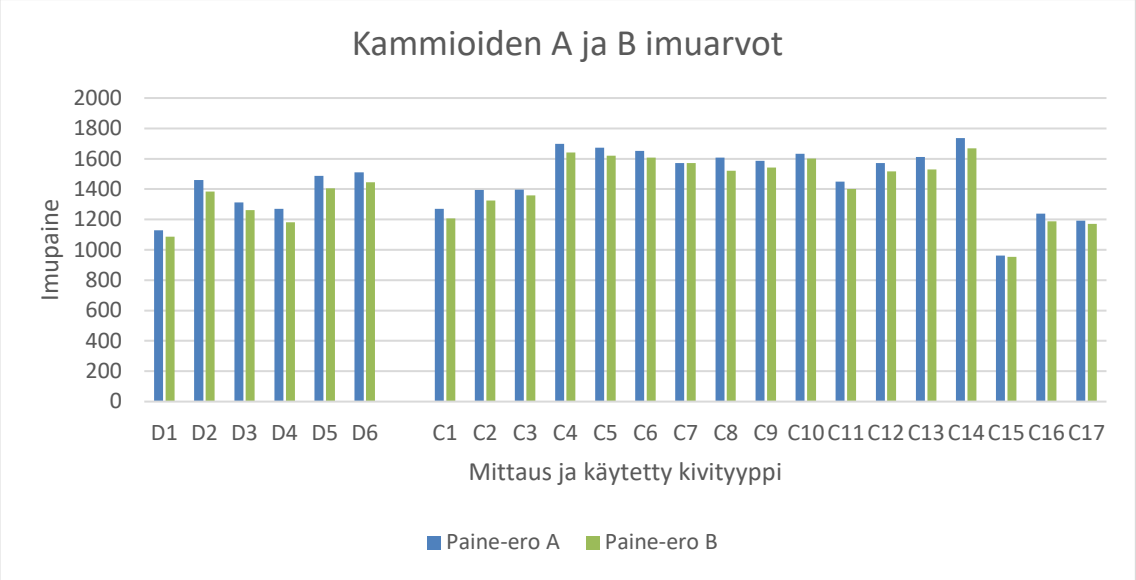
8.5 Suodinlaitoksen toiminta

Suodinlaitoksen mittaukset tehtiin normaalin prosessin aikana. Hionnassa testien aikana oli usean poistoprosentin omaavia ferriittisiä aihioita, joista suurin osa hiottiin kuumana 200-300 asteen lämpötilassa.

Suodinlaitoksen toiminnassa ei ollut käytännön eroja hiottaessa testikivellä C tai vertailukivellä D. Suodinlaitoksen tärkeimpiä seurattavia mittauksia olivat puhaltimen kokonaisimupaine ja pyörintänopeus, kammioiden a ja b paine-erot sekä poistopiipun päästöarvot.

Suodinkammioiden paine-ero kertoo suodinlaitoksen kyvystä toimia tukkeutumatta jatkuvan käytön periaatteella. Hiottaessa pitkään kuumia ferriittisiä aihioita kammioiden paine-eroarvot alkoivat hitaasti kohota, mikä on nähtävissä kuviossa 15.

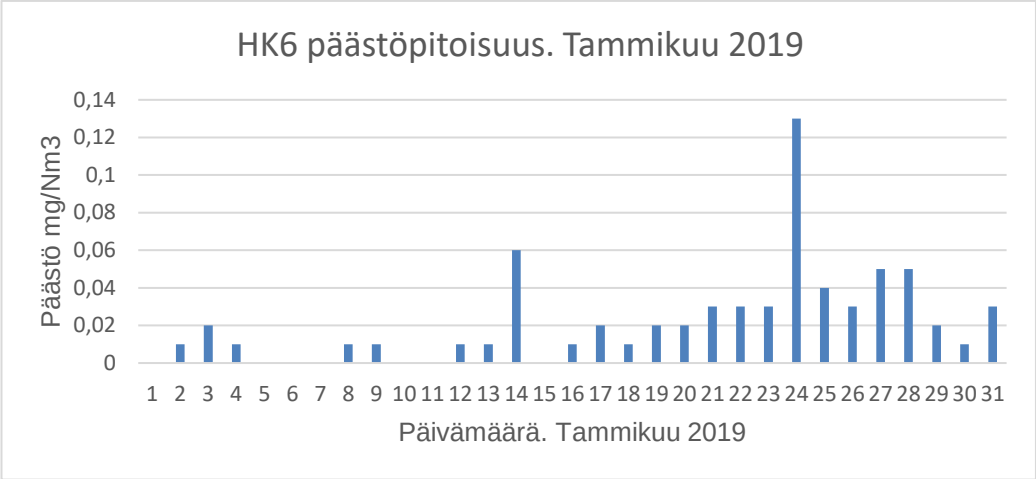
Paine-eroarvot tippuivat kuitenkin välittömästi, kun hiomakoneelle otettiin prosessoitavaksi kylmä aihio, mikä on nähtävissä selvästi mittauksista C14 ja C15. Testeissä havaittiin, että suodinlaitoksen toiminta ei aseta rajoitteita tai siihen ei tarvitse kohdentaa muutoksia otettaessa C-hiomakivi tuotantokäyttöön.



Kuvio 15. Suodinlaitoksen imukammioiden paine-erot

Hiomakoneella ei esiintynyt käytännön poikkeuksia poistopiipun pölypäästömittauksissa, jotka mitattiin DustHunterin kiinteällä laitteistolla. Päästöjen raja-arvomaksimiksi on asetettu 5mg/Nm3 valvovan ympäristöviranomaisen taholta. Testien aikana suurin mitattu pitoisuus oli 0,13 mg/Nm3. Hiottaessa yhtäjaksoisesti usean vuorokauden ajan 5 - 6% poistotavoitteen kuumia ferriittisiä aihioita, päästötuloksissa oli havaittavissa pientä kohoumaa. C-kivellä hiottiin 11.-17.1.2019 ja D-kivellä 18.-31.1.2019 välinen ajanjakso. Kuviossa 16 on havaittavissa, että D-kivellä hiottaessa pölypäästöarvot ovat maltillisesti jopa korkeampia kuin C-kivellä. D-kiven voidaan olettaa irrottavan pienempiä partikkeleita aihiosta, joka lisää hienopölypäästöjä.

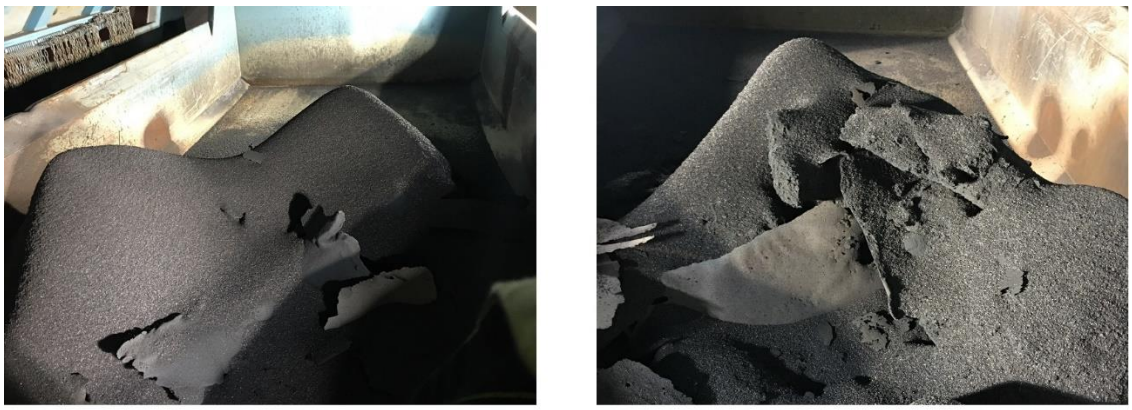
Hiomakone 6:n ympäristöön pääsevien pölypäästöjen määrä on kuitenkin yleisesti todella matala. Korkein yksittäinen mitattu arvo oli alle puolet sallitusta 5mg/Nm3 päästöarvosta. (Outokumpu Oyj 2019.)



Kuvio 16. Suodinlaitoksen ympäristöpäästöarvot

8.6 Lastunpoiston toiminta

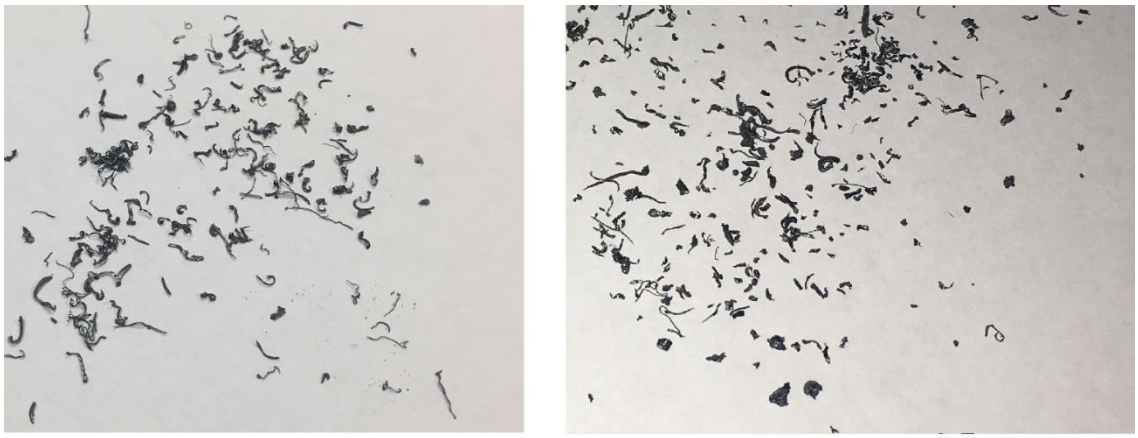
Lastunpoiston osalta ei ilmennyt merkittäviä muutoksia hiottaessa C-hiomakivellä. Hionnan aikana ei esiintynyt tavallista enempää lastun kuumasintraantumista, mikä voisi haitata laitteiston toimintaa. Kuvassa 17 on nähtävissä vertailuna lastunpoistoon muodostuneet sintraumat hiottaessa C ja D kivellä.



C-KIVI D-KIVI

Kuva 17. Lastunpoiston lastunmuodostusvertailu

Lastun muodostuksessa sekä kuutiopainossa oli havaittavissa eroja. C-kivellä kuutiometri hiontalastua painoi 1976 kilogrammaa ja D-kivellä 2456 kilogrammaa. Selityksenä tälle oli hiontalastun muoto. C-kivellä lastu oli keskimääräisesti muodoltaan pidempää sekä karkeampaa kuin D-kivellä hiottu hiontalastu (Kuva 18).



C-KIVI D-KIVI

Kuva 18. Lastunmuodostusvertailu kivityypeillä C ja D

9 OPTIMOITU AJOTAPA

Tässä luvussa käsitellään, kuinka C-kivellä päästään maksimaaliseen hiontapoistoon kustannustehokkaasti hiomakonetta tarpeettomasti rasittamatta. Hiontapoiston suuruuteen vaikuttavat useat tekijät ja niiden keskinäiset suhteet. Nopeussuureet pääsääntöisesti lisäävät koneen rasitusta enemmän kuin käytetty teho, mikä ilmeni selkeästi hiontatesteissä.

9.1 Hiomakiven kuluminen

Hiontatesteissä oli selvästi nähtävissä eri pituisten hiontojen vaikutus hiomakiven kulumiseen. Hiottaessa pitkiä yli 3 prosentin poistotavoitteellisia hiontoja, C-tyypin hiomakiven kuluminen oli vähäisintä. Nopeinta kuluminen oli matalan poistotavoitteen hiontaohjelmilla. Syy tähän on hiomakiven nopeat lämpötilavaihtelut. Hiomakivi kuumenee nopeasti hiottaessa 400-200 celsiusasteisia aihioita ja jäähtyy puolestaan lyhyen hionnan jälkeen. Prosessiteknisistä syistä johtuen lämpövaihteluiden sykli on korkea ja tämä vaikuttaa olennaisesti hiomakiven kulumisnopeuteen, joka on nähtävissä taulukossa 4.

Taulukko 4. Hiomakiven kuluminen testijaksolla, kivityyppi C

Kivi	Kontakti-aika (min)	Hiomakivi kulunut (mm)	Hiomakiven kulutus (mm/h)	Hiontapoisto (kg / kivi)	Poiston keskiarvo (%)	Hiottuja aihioita (kpl)	Poistoteho (kg/h)
3393	846	301	21	7277	3,2	10	516
3395	853	333	23	7380	4,7	7	519
3399	815	321	24	6977	4,2	9	514
3397	742	323	26	6713	5,0	6	543
3394	525	270	31	4049	1,3	14	463
3396	594	307	31	3420	0,6	28	345
3398	521	315	36	3466	0,7	24	399
3400	482	335	42	3376	0,6	23	420

C-hiomakiven optimoidun ja kustannustehokkaan hyödyn aikaansaamiseksi hiomakivellä tulee hioa ainoastaan pitkiä yli 2,5 prosentin poistotavoitteellisia hiontoja.

Tällöin hiomakiven kuluminen on vähäisintä sekä hiomakiven vaihtovälit maksimaalisen pitkiä. Pitkillä hionnoilla hiomakiven saavuttama hionnan poistonopeus on korkein matalan hiomakiven kulumisen sekä vähäisten prosessikatkosten vuoksi.

9.2 Hiontaohjelmien rakenne

Tehokkaiden hiontaohjelmien luomisen perustana tulee käyttää yleistä koneistuksen pääperiaatetta, missä suoritetaan ensimmäiseksi rouhinta ja sen jälkeen tarvittaessa silotus (Maaranen 2007, 127). Rouhintahionnassa tulee käyttää hiomakiven kulmaa 90-astetta, mikä poistaa tehokkaimmin aihiosta materiaalia. Rouhintakuvioita ajetaan tarpeellinen määrä, jotta päästään lähelle haluttua poistotavoitetta. Viimeisenä ajetaan tarvittaessa aihion pinnanlaadun parantamiseksi silotuskuvio hiontakulmilla 75-50 astetta. Hiottaessa hiomakiven ollessa viistossa aihioon nähden, hiontaraidasta tulee leveämpi ja pohjan muodoltaan tasaisempi. Tällöin optimoidulla askelluksella päästään nopeimmin vaadittuun aihion pinnanlaatuun tasaisuuden osalta.

Hiontakulmalla on myös olennainen vaikutus hiomakoneen prosessivärinöihin. Hiontakulmalla 90-astetta värinä on vähäisintä. Suurinta värähtely on hiomakivien kulmalla 45-astetta (Kuva 19), jolloin hiomakivi on lähimpänä aihion kulkusuuntaa. Hiomakoneen kestävyyden kannalta hiontaohjelmilla tulee pyrkiä käyttämään hiontakulmia, jotka eivät lisää prosessivärinöitä tarpeettomasti.

Kuva 19. Hiontakiven työstökulmat (Norton Abrasives 2019.)

9.3 Hiontapöydän nopeus

Hiontaohjelmia tehtäessä hionnan nopeutta ei tule pyrkiä kasvattamaan ainoastaan hiontapöydän nopeutta nostamalla. Suuri hiontapöydän nopeus lisää huomattavasti prosessivärähtelyjä, mikä on suuri rasitus hiomakoneelle. Korkea hiontapöydän nopeus kasvattaa oleellisesti myös hiontapöydän kiskoille aiheutuvia värinöitä, joka lisää niiden ennenaikaista kulumista. Kuvassa 20 on nähtävissä värinän syövyttämät hiomapöydänkiskot. Suurella hiontapöydän nopeudella massojen vektorillinen vaihtelu kasvaa tarpeettomasti, mikä aiheuttaa suurta rasitusta myös hiontapöydän vaihteistoille, akseleille sekä runkorakenteille.

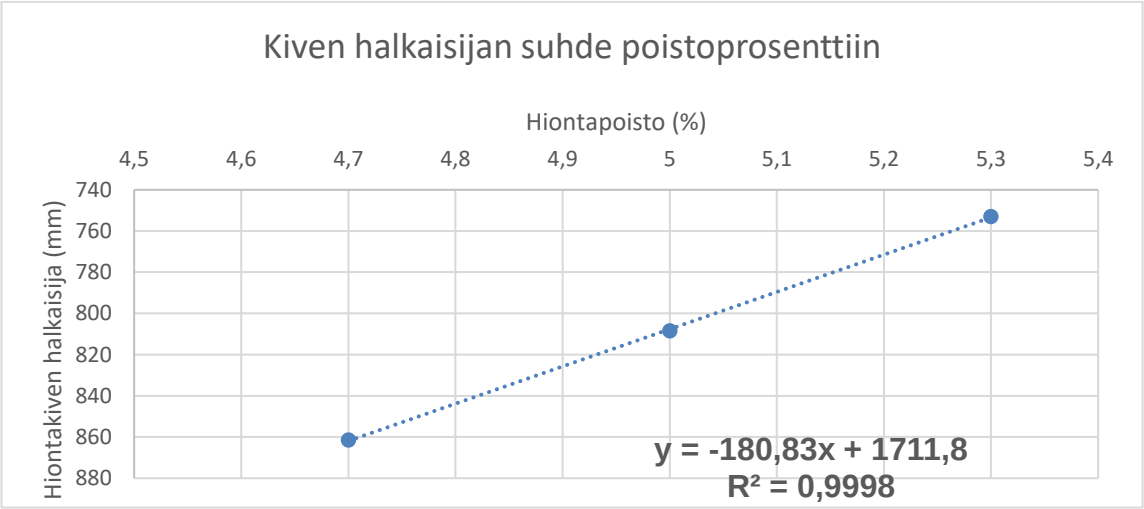
Kuva 20. Värähtelyn aiheuttama hiomapöydän kiskojen kuluminen

10 LAITTEISTOMUUTOKSET C-KIVEN KÄYTÖSSÄ

Aihiohionnassa poiston suuruus määräytyy neljän eri tekijän yhteisvaikutuksesta. Näitä ovat hiontavoima, hiontapöydän nopeus, poikittaissyöttö sekä hiomakiven kyky poistaa materiaalia. Arvoja kasvattamalla tai pienentämällä voidaan vaikuttaa hiontatapahtuman nopeuteen sekä poiston määrään.

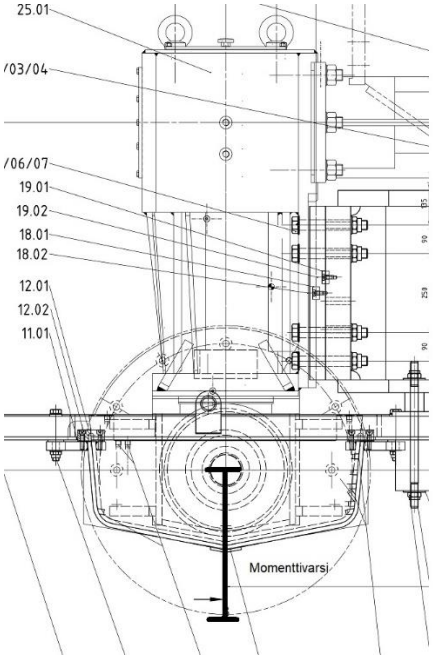
Hiomakoneelle 6 on kaksi eri tapaa säätää hiontatapahtumaa, paine- ja tehosäätö. Kokemusten perusteella yleiseksi käyttötavaksi on valittu tehosäätö, jossa hiontapainesylinterin hydrauliikkapainetta eli hiontavoimaa säädetään propoventiilillä automaatiojärjestelmän kautta hiontamoottorin tehoarvon (kilowatti) mukaan. Toinen vaihtoehto on painesäätö, jossa määritellään hionnan säätöarvoksi suoraan haluttu hiontasylinterin voima-arvo (kiloNewton), jolla hiontakiveä painetaan aihiota vasten hiontatapahtuman aikana.

Testihiontojen aikana C-kivillä ilmeni haasteena hiontahävikin suuri vaihtelu, jolloin hiontaohjelmien poiston vakiointi sekä hionnan optimointi muodostui mahdottomaksi. Kuviossa 17 on nähtävissä muutoksen nopeus, joka muodostuu hiomakiven pienentyessä.



Kuvio 17. Hiontapoiston suhde hiomakiven halkaisijaan C-kivellä

Testeissä hiottiin kolme perättäistä teräsaihiota samalla 5 prosentin poistotavoitteellisella hiontaohjelmalla. Ensimmäisellä aihiolla hiomakiven halkaisija oli 890 millimetriä ja kolmannen lopussa 721 millimetriä. Hiontojen aikana momenttivarsi muuttui noin 85 millimetriä (Kuva 21).



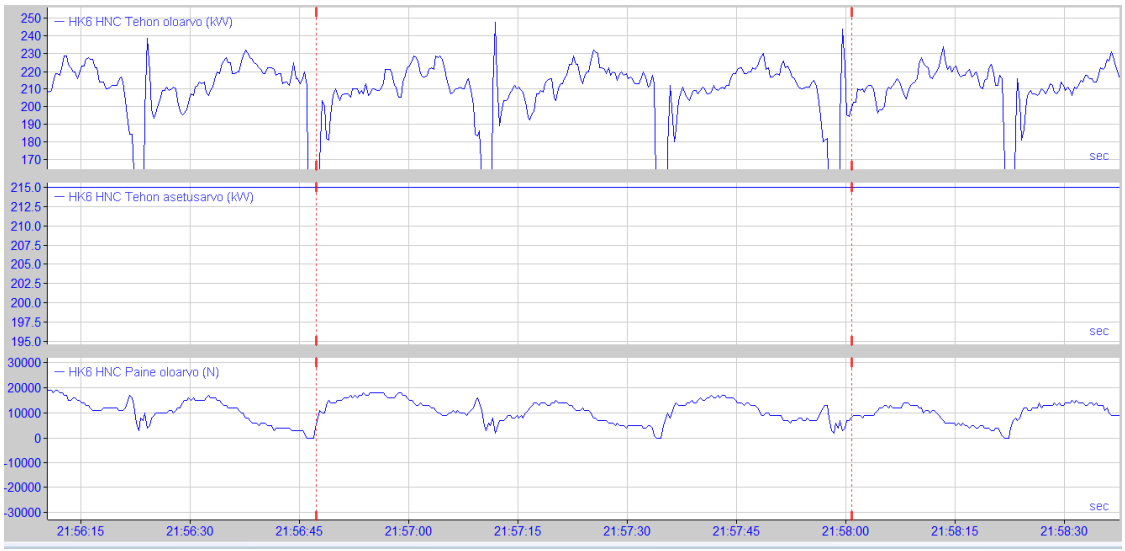
Kuva 21. HK6 hiontapää ja momenttivarsi (Outokumpu Oyj 2019a.)

Haasteen aiheuttaa momenttivarren muutos hiontakiven kuluessa halkaisijaltaan pienemmäksi, mitä muutosta ei ole otettu huomioon hiomakoneen automaatiossa. Tehosäädöllä hiomakoneen automaatio säätää hiontavoimaa (Newton) sen mukaan, jotta hiontamoottorin ottama teho saadaan pysymään halutussa tehoarvossa. Hiomakiven vastustavan voiman pienentyessä hiomakiven koon mukaan hionta-automaatio pyrkii kasvattamaan hiontavoimaa tavoitteena pitää hiontamoottorin teho vakiona. Tästä syystä hiontapoisto vaihtelee voimakkaasti.

Hajontaa ei esiinny näin voimakkaana D-kivillä hiottaessa, koska sen tarvitsema vääntömomentti on pienempi verrattuna C-tyypin hiomakiviin.

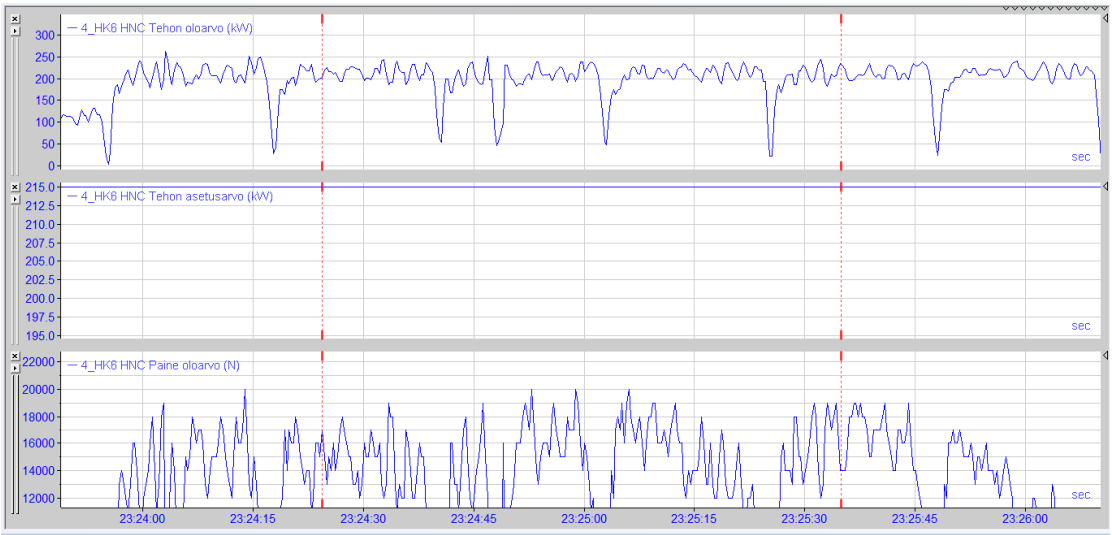
10.1 Hiontapainevaihtelu

Testeissä ajettaessa kolme 5 prosentin poistotavoitteellista aihiota peräkkäin samalla hiontakivellä oli selvästi havaittavissa momenttimuutoksen aiheuttama hiontavoimamuutos. Kaikissa kolmessa trendissä (Kuvio 18, 19 ja 20) hiontatehoksi oli asetettu 215 kW.



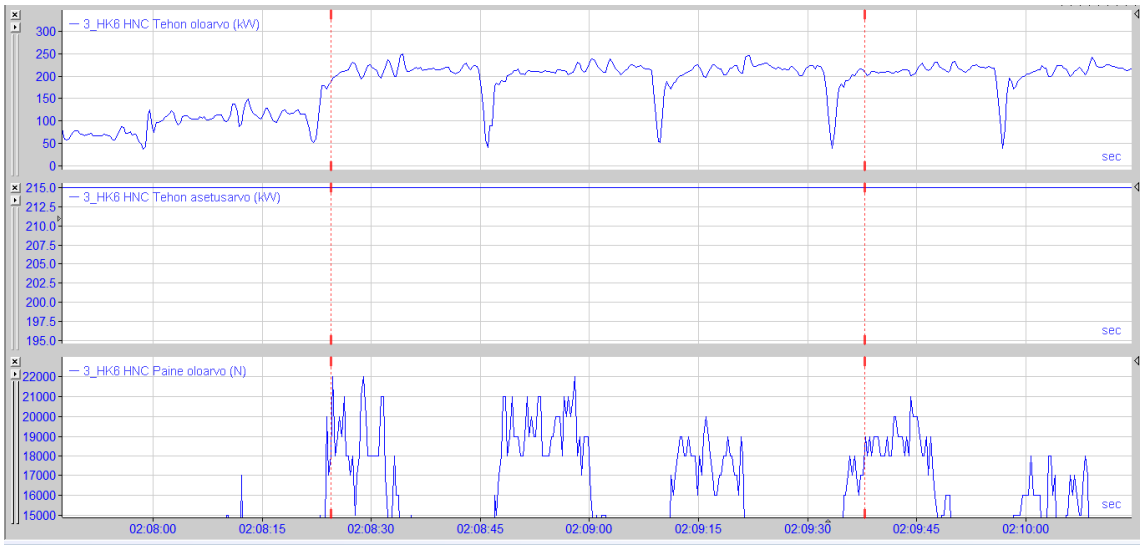
Kuvio 18. Hiontapoisto 4,7%

Ensimmäisellä aihiolla hiontapoistoksi jäi 4,7 prosenttia hiontavoiman ollessa keskiarvoltaan 10 kiloNewtonia. Toisella aihiolla poisto oli tasan 5 prosenttia ja hiontavoima keskiarvoltaan 16 kiloNewtonia.



Kuvio 19. Hiontapoisto 5 prosenttia

Hiomakiven pienentyessä viimeisellä aihiolla poisto oli 5,3 prosenttia (Kuvio 20), jolloin keskiarvoinen hiontavoima oli kasvanut 20,5 kiloNewtoniin, lähes puolet suuremmaksi alkuperäisestä. Tästä syystä hiontojen poistoarvot vaihtelevat suuresti hiomakiven halkaisijan muuttuessa.



Kuvio 20. Hiontapoisto 5,3%

10.2 Ratkaisuesitys 1

Hiontapoiston vaihtelun voi eliminoida käyttämällä hiomakoneen painesäätöä hiontatapahtuman ohjauksessa. Ohjaustapa valitaan hiontakäytäntöjen yhteydessä Q-mato prosessinohjausohjelmistolta. Tällöin momentinmuutosta ei oteta huomioon hiontavoimansäädössä. Aiemmin painesäädön ongelmana on ollut hiontapään nopeat korkeusvaihtelut, jonka vuoksi tehosäätö on ollut yleisimmin käytetty säätötapa hiontavoimalle. Painesäädön käyttöönotto vaatii uusintatestejä koneen käyttäytymisen sekä hiontapoiston vakioimisen osalta.

10.3 Ratkaisuesitys 2

Mikäli halutaan jatkaa Eeva Koiviston aiempien tutkimusten perusteella paremmaksi havaitsemaa tehosäädöllistä ajotapaa, hiomakoneautomaatioon on

rakennettava korrelaatiokerroin hiontateholle hiomakiven suhteen. Tällöin saadaan hiontavoima vakioitua ja hiontapoisto pysymään halutussa toleranssissa +- 0,1 prosenttia. Täydellä 915 millimetrin hiomakivellä hiontatehoa nostetaan yli asetusarvon ja vastaavasti pienellä kivellä tehoarvoa pienennetään tietyn prosenttiosuuden verran. Tällöin hiontapoisto pystytään vakioimaan tasaiseksi kaikilla hiomakiven halkaisijoilla.

Hiomakoneessa on korrelaatiokerroin aihionlämpötilalle ja vastaavalla toteutuksella voidaan rakentaa myös tehonkorjaus. Kuviossa 21 on esitetty malli hiomakoneautomaatioon luotavasta muutostaulukosta.

Kiven halkaisija (mm)	**915-851**	**850-801**	**800-751**	**750-701**	**700-651**	**650-601**	**600-550**
Korrelaatiokerroin (%)	125	110	100	85	70	55	45

Kuvio 21. Tehokorrelaatio esimerkki hionta-automaatioon

Suosittelen ratkaisumalli 2:n käyttöönottoa hionnan vakioimisessa. Tehosäädön käyttö on parempi vaihtoehto hiontaohjelmien rakenteiden kannalta, koska hiontapoisto pystytään ennakoimaan ajetun tehon ja ajan mukaan. Tämä helpottaa merkittävästi hiontaohjelmien luomista eri poistoprosenteille.

10.4 Reuna-aluehionta

Teräsaihion valuprosessissa muodostuu useasti reuna-alueille painaumia tai pieniä halkeamia, jotka tulee poistaa aihiohionnalla. Teräsaihioon jääneet pintaviat voivat heikentää teräsnauhan laatua myöhemmissä prosessivaiheissa.

Aihiohionnassa tulee keventää hiontavoimaa aihion reunoilla, jotta vältytään reunojen viistäytymiseltä. Aihion viistäytyminen, eli poikkileikkausprofiilin epäsymmetrisyys aiheuttaa ongelmia kuumavalssauksessa teräsnauhan vääntymisen vuoksi.

Ongelmana hiomakone 6:lla on kiinteämääritteinen reunahionnankevennys. Testeissä havaittiin usean aihion osalta aihion reuna-alueille jääneitä painaumia. Eniten painaumia jäi hionnan jälkeen keveillä hiontaohjelmilla 0,3-0,8 painoprosenttia.

10.5 Reuna-aluehionnan ratkaisu

Ratkaisuna hiomakoneautomaatioon luodaan käyttäjämääritteinen reunakevennys, jossa hiomakone keventää reuna-alueilla kuvion 22 esimerkin mukaan tarpeellisen prosenttiosuuden hiontavoimaa tai -tehoa. Tällöin operaattori tai vaihtoehtoisesti superkäyttäjä voi määritellä hionnan optimoidun reunakevennyksen, jotta reunaviat poistuvat hionnoilla sekä vältytään profiilin muodonmuutoksilta.

Askel	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Kevennys %	*70*	*80*	*90*	*100*	*100*

Kuvio 22. Reunahionnan reunakevennyksen parametrointi

Pidemmälle kehiteltynä reunahionnan kevennykseen voi lisätä myös laatukohtaisen parametrityksen. Tällöin tietyillä laaduilla säästetään hionta-aikaa, koska reunahionnan voi yhdistää aihion ylihiontakuvioon kuvion 23 esimerkin mukaan.

Laatu	**731**				
Askel	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Kevennys %	*85*	*120*	*120*	*120*	*100*

Kuvio 23. Laatukohtainen reunakevennyksen parametrointi

11 POHDINTA

Työn tavoitteena oli selvittää 3M:n korkeamman poiston omaavan C-tyypin hiomakiven soveltuvuus käytettäväksi Hiomakoneella 6. Minulla oli hyvin pohjatietoa aiheesta aiemman työkokemukseni kautta. Aluksi oli tarpeen selvittää valmiiden ohjelmien toiminta testihiomakivellä ja kasvattaa poistomäärät haluttuihin arvoihin. Tämän jälkeen tutkin eri prosessisuureiden tasoa C-tyypin testikivellä sekä perinteisellä D-kivellä. Näiden arvojen keskinäisellä vertailulla pystyin selvittämään hiomakoneen soveltuvuutta sekä kestävyyttä hioa C-kivellä jatkuvan käytön periaatteella. 3M:n C-kiven arvot jäivät käytännössä matalimmiksi värähtelyiden, lämpötilojen sekä suodinlaitoksen-imuarvojen osalta. Lastunpoistossakaan ei muodostunut C-kivellä tavallista enempää sintraantumista D-kiveen verrattuna.

Ainoana haasteena hiontatestejä tehdessäni ilmeni hiontapoiston suurempi vaihtelu C-kivellä. Haasteeseen kuitenkin oli löydettävissä yksinkertainen ratkaisumalli, jolla ongelma tullaan saamaan kuriin. Edellä mainituista seikoista päätellen hiomakoneella 6 voidaan jatkossa, tässä työssä esitettyjen muutosten jälkeen hioa luotettavasti myös C-tyypin hiomakivellä.

Haasteena työn tekemisessä oli niukka hiomakivitietojen saatavuus hiomakivitoimittajan puolelta. Tämän vuoksi kivityyppien ominaisuuksien vertailu jäi työssä kohtalaisen lyhyeksi.

Oppimisprosessina työ oli mielenkiintoinen ja opettava tuoden lisää informaatiota omasta työstäni. Oli mielenkiintoista nähdä kuinka pienikin prosessiarvojen muuttaminen vaikuttaa hiontaprosessin kokonaisuuteen. Niin sanotusti kaikki vaikuttaa kaikkeen.

LÄHTEET

ABB:n TTT-käsikirja. 2000. Luku 23: Kunnonvalvonta ja huolto. Viitattu 1.2.2019. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/23_Kunnonvavonta%20ja%20huolto.pdf

Kauppalehti 2019. Pörssi. Viitattu 1.2.2019. https://www.kauppalehti.fi/porssi/porssikurssit/osake/OUT1V.

Maaranen, K. 2007. Koneistustekniikat. 1 - 2. painos. Helsinki: WSOY.

Maaranen, K. 2012. Koneistus. 1. painos. Helsinki: Sanoma Oy.

Nohynek, P. & Lumme, V.E. 2004. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2. täydennetty painos. Rajamäki: KP-Media Oy.

Norton Abrasives 2019. Cutting & Grinding for primary steel market. Viitattu 1.2.2019. https://www.nortonabrasives.com/sga-common/files/document/Technical%20Guide%20-%20PRIMARY%20STEEL%20-%20India_0.pdf

Outokumpu Oyj 2019a. Intranet Tornio. Viitattu 1.2.2019. http://onet.outokumpu.com/fi/News/Sivut/default.aspx.

Outokumpu Oyj 2019b. Prosessiturvallisuus. Viitattu 21.3.2019. https://www.outokumpu.com/fi-fi/campaigns/turvallisuus-tornion-tehtailla/prosessiturvallisuus.

Sick AG 2019a. DustHunterSP100 Pölynmittauslaite. Viitattu 1.2.2019. https://docplayer.fi/12372576-Dusthunter-sp100-polynmittauslaite.html.

Sick AG 2019b. DustHunterSP100 Scattered light dust measuring devices. Viitattu 1.2.2019. https://www.sick.com/ag/en/dust-measuring-devices/scattered-light-dust-measuring-devices/dusthunter-sp100/c/g64160.

SPM Instrument Oy 2019a. Continuous monitoring. Viitattu 31.1.2019. https://www.spminstrument.com/Products/Continuous-monitoring/Intellinova/Intellinova-Compact/Functionality/.

SPM Instrument Oy 2019b. Intellinova Compact. Viitattu 31.1.2019. https://www.spminstrument.com/Products/Continuous-monitoring/Intellinova/Intellinova-Compact/.

SPM Instrument Oy 2019c. Maersk Line installs SPM online condition monitoring on container ships. Viitattu 31.1.2019. https://www.spminstrument.com/News/2016/Maersk-Line-installs-SPM-online-condition-monitoring-on-container-ships/.

SPM Instrument Oy 2019d. Vibration severity measurement. Viitattu. 1.2.2019. https://extranet.spminstrument.se/Documents/Downloads/Support/Instructions%20and%20Manuals/71971B.pdf.

Särkikoski, T. 2005. Outo malmi- jalo teräs: Outokummun tie ruostumattomaan teräkseen. Helsinki: Outokumpu Oyj.

LIITTEET

Liite 1. Vaihteiston lämpötilat testihionnoilla

Liite 2. C-hiomakiven poisto testihionnoilla

Liite 1.

Kivi	Vertailu	Bearing 1	Bearing 2	Bearing 3	Bearing 4	Bearing 5	Bearing 6	Motor N	Motor D
C	Keskiarvo	43	62	61	61	56	47	39	40
C	Keskihajonta	7	8	9	9	7	7	9	7
C	Min	25	32	32	30	29	20	21	21
C	Max	59	72	73	74	67	54	75	55
D	Keskiarvo	46	65	64	64	58	48	65	48
D	Keskihajonta	7	10	10	11	9	7	14	8
D	Min	25	29	26	26	25	23	23	20
D	Max	58	77	77	81	70	57	85	60

Kivi		Bearing 1	Bearing 2	Bearing 3	Bearing 4	Bearing 5	Bearing 6	Motor N	Motor D
C	Keskiarvo	43	62	61	61	56	47	39	40
D	Keskiarvo	46	65	64	64	58	48	65	48
C	Maksimi	59	72	73	74	67	54	75	55
D	Maksimi	58	77	77	81	70	57	85	60
C	Minimi	25	32	32	30	29	20	21	21
D	Minimi	25	29	26	26	25	23	23	20
C	Keskihajonta	7	8	9	9	7	7	9	7
D	Keskihajonta	7	10	10	11	9	7	14	8

Liite 2. 1 (5)

KIVI	AIHI-ONRO	LAJI	POISTO %	CON-TACT_TIME	POISTO (KG)	KIVIA_NU-MERO	PAINO_E_H	PAINO_J_H	OHJELMA
C	827712	814-1	4,3	131	1000	3393	23040	22040	FER 5 %
C	828434	809-1	4,9	123	1087	3393	22267	21180	FER 5 %
C	827711	814-1	4,1	124	953	3393	23093	22140	FER 6 % 1-aihio
C	828173	710-A	0,8	20	193	3393	22983	22790	FER 0,8 %
C	828172	710-A	0,8	20	182	3393	22932	22750	FER 0,8 %
C	828171	710-A	0,8	20	183	3393	22903	22720	FER 0,8 %
C	827711	814-1	2,3	62	510	3393	22140	21630	FER 2,5 %
C	828432	809-1	4,6	115	1028	3393	22198	21170	FER 5 %
C	828431	809-1	4,9	114	1079	3393	22259	21180	FER 5 %
C	828414	809-1	4,8	117	1062	3393	22312	21250	FER 5 %
	KES-KIARVO		**3,2**	**846**	**7277**	**10**			
C	827651	816-1	1,1	40	249	3394	22829	22580	Testi19_FER_1,8
C	827634	816-1	1,2	45	279	3394	22849	22570	?
C	827633	816-1	1,1	45	246	3394	22836	22590	FER 1,8 %VAIQ 5, 812, 816
C	827632	816-1	1,1	45	258	3394	22808	22550	FER 1,8 %VAIQ 5, 812, 816
C	827631	816-1	1,6	66	370	3394	23050	22680	FER 1,8 % VAIQ 5, 812, 816 1-ai-hio
C	827731	814-1	4,2	124	963	3394	22813	21850	FER 6 %
C	828233	710-A	0,9	20	217	3394	23057	22840	FER 0,8 %
C	828232	710-A	0,7	20	156	3394	22986	22830	FER 0,8 %
C	828231	710-A	0,7	20	167	3394	22997	22830	FER 0,8 %
C	828213	710-A	0,9	20	210	3394	23050	22840	FER 0,8 %
C	828193	710-A	1,0	20	236	3394	23086	22850	FER 0,8 %
C	828194	710-A	1,0	20	239	3394	23089	22850	FER 0,8 %
C	828211	710-A	1,1	20	244	3394	23104	22860	FER 0,8 %
C	828212	710-A	0,9	20	215	3394	23075	22860	FER 0,8 %
	KES-KIARVO		**1,3**	**525**	**4049**	**14**			

C	827713	814-1	4,3	124	985	3394	22865	21880	FER 6 %
C	828412	809-1	4,6	118	1033	3395	22353	21320	FER 5 %
C	828411	809-1	4,2	117	943	3395	22283	21340	FER 5 %
C	828394	809-1	4,5	118	1000	3395	22300	21300	FER 5 %
C	828393	809-1	5,1	119	1134	3395	22274	21140	FER 5 %
C	828391	809-1	5,4	138	1205	3395	22425	21220	FER 5 % 1-aihio
C	828451	809-9	4,9	119	1080	3395	22250	21170	FER 5 %
	KES-KIARVO		**4,7**	**853**	**7380**	**7**			
C	828274	735-1	0,6	17	117	3396	19617	19500	FER 0,8 %
C	828293	735-1	0,6	14	108	3396	19598	19490	FER 0,8 %
C	828474	809-9	4,7	119	1047	3396	22367	21320	FER 5 %
C	829191	810-1	0,8	27	146	3396	17716	17570	FER 0,3 % 1-aihio
C	828912	816-1	0,4	17	83	3396	22863	22780	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828911	816-1	0,8	40	194	3396	23034	22840	FER 0,8 % VAIQ 4, 812, 816 1-aihio
C	828814	816-1	0,3	15	74	3396	23044	22970	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828813	816-1	0,3	15	73	3396	22863	22790	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828812	816-1	0,2	15	41	3396	22821	22780	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828811	816-1	0,3	15	59	3396	22839	22780	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828874	816-1	0,2	15	51	3396	22421	22370	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828873	816-1	0,1	15	24	3396	22404	22380	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828872	816-1	0,4	15	82	3396	22472	22390	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828871	816-1	0,3	15	65	3396	22485	22420	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829353	812-1	0,5	20	114	3396	22204	22090	FER 0,8 % VAIQ 4
C	828854	816-1	0,3	15	59	3396	22899	22840	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828853	816-1	0,3	15	61	3396	22881	22820	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828852	816-1	0,2	15	56	3396	22876	22820	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828851	816-1	0,4	15	89	3396	22879	22790	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828834	816-1	0,3	15	64	3396	22874	22810	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828833	816-1	0,4	15	83	3396	22873	22790	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828832	816-1	0,3	15	68	3396	22848	22780	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828831	816-1	0,8	40	192	3396	22952	22760	FER 0,8 % VAIQ 4, 812, 816 1-aihio
C	828894	816-1	0,4	15	101	3396	23191	23090	FER 0,3 % VAIQ 1-3

C	828893	816-1	0,4	15	92	3396	22912	22820	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828892	816-1	0,4	15	95	3396	22875	22780	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828891	816-1	0,4	15	88	3396	22858	22770	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828934	816-1	0,4	15	94	3396	22844	22750	FER 0,3 % VAIQ 1-3
	KES-KIARVO		**0,6**	**594**	**3420**	**28**			

C	828453	809-9	4,8	120	1070	3397	22210	21140	FER 5 %
C	828471	809-9	5,6	145	1249	3397	22219	20970	FER 5 %
C	828452	809-9	4,4	120	975	3397	22185	21210	FER 5 %
C	828472	809-9	5,0	119	1104	3397	22224	21120	FER 5 %
C	828473	809-9	5,4	119	1208	3397	22268	21060	FER 5 %
C	828454	809-9	5,0	119	1107	3397	22207	21100	FER 5 %
	KES-KIARVO		**5,0**	**742**	**6713**	**6**			

C	828933	816-1	0,3	15	58	3398	22828	22770	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828932	816-1	0,3	15	77	3398	22877	22800	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828931	816-1	0,4	15	88	3398	22888	22800	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828914	816-1	0,3	15	55	3398	22305	22250	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	828913	816-1	0,2	15	46	3398	22836	22790	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829334	812-1	0,4	15	88	3398	22578	22490	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829311	812-1	1,0	40	229	3398	22619	22390	FER 0,8 % VAIQ 4, 812, 816 1-aihio
C	829252	812-1	0,7	20	160	3398	22270	22110	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829253	812-1	0,7	20	150	3398	22230	22080	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829254	812-1	1,0	20	213	3398	22223	22010	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829251	812-1	1,1	41	258	3398	22798	22540	FER 0,8 % VAIQ 4, 812, 816 1-aihio
C	829434	812-1	0,5	15	106	3398	22316	22210	FER 0,3 % VAIQ 1-3

C	829272	812-1	1,0	23	153	3398	16083	15930	FER 0,3 % 0-aihio
C	829074	811-2	0,5	13	88	3398	19528	19440	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829034	811-2	0,8	20	166	3398	22196	22030	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829033	811-2	0,7	20	154	3398	22234	22080	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829032	811-2	0,7	21	158	3398	22168	22010	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829031	811-2	1,1	31	236	3398	22116	21880	FER 0,8 % VAIQ 4
C	828951	811-2	1,0	42	226	3398	22616	22390	FER 0,8 % VAIQ 4, 812, 816 1-aihio
C	829414	812-1	0,8	21	167	3398	22237	22070	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829413	812-1	0,6	21	123	3398	22253	22130	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829412	812-1	0,7	21	148	3398	22218	22070	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829411	812-1	0,8	21	174	3398	22244	22070	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829354	812-1	0,7	21	145	3398	22255	22110	FER 0,8 % VAIQ 4
	KES-KIARVO		**0,7**	**521**	**3466**	**24**			

C	829553	812-1	0,3	17	77	3399	25677	25600	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829552	812-1	0,2	17	61	3399	25951	25890	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829551	812-1	0,7	49	172	3399	25972	25800	FER 0,8 % VAIQ 4, 812, 816 1-aihio
C	829714	814-1		134	1246	3399	25846	24600	FER 5 %
C	829712	814-1	5,0	138	1287	3399	25837	24550	FER 5 %
C	829694	814-1	5,3	137	1352	3399	25682	24330	FER 5 %
C	829693	814-1	4,7	129	1216	3399	25756	24540	FER 6 %
C	829691	814-1	5,0	147	1301	3399	25821	24520	FER 6 % 1-aihio
C	828631	850-1	1,0	47	265	3399	25925	25660	FER 0,8 % 1-aihio
	KES-KIARVO		**4,2**	**815**	**6977**	**9**			

C	829351	812-1	1,0	42	216	3400	22536	22320	FER 0,8 % VAIQ 4, 812, 816 1-ai-hio
C	829674	812-1	0,8	30	185	3400	22265	22080	FER 0,3 % 0-aihio
C	829673	812-1	0,5	17	121	3400	25801	25680	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829672	812-1	0,5	17	125	3400	25735	25610	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829671	812-1	1,2	48	302	3400	25662	25360	FER 0,8 % VAIQ 4, 812, 816 1-ai-hio
C	829653	812-1	0,5	17	120	3400	25880	25760	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829652	812-1	0,5	17	131	3400	25801	25670	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829651	812-1	0,5	18	130	3400	25920	25790	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829634	812-1	0,5	17	119	3400	25459	25340	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829633	812-1	0,5	17	135	3400	25765	25630	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829632	812-1	0,5	17	132	3400	25732	25600	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829631	812-1	0,5	17	133	3400	25723	25590	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829613	812-1	0,5	17	131	3400	25751	25620	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829612	812-1	0,4	17	113	3400	25733	25620	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829611	812-1	0,5	17	136	3400	25716	25580	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829594	812-1	0,4	17	100	3400	25280	25180	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829593	812-1	0,5	17	127	3400	25727	25600	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829592	812-1	0,5	17	129	3400	25719	25590	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829591	812-1	0,5	17	133	3400	25723	25590	FER 0,3 % VAIQ 1-3
C	829573	812-1	0,8	24	204	3400	25744	25540	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829572	812-1	0,7	24	184	3400	25694	25510	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829571	812-1	0,7	24	172	3400	25722	25550	FER 0,8 % VAIQ 4
C	829554	812-1	0,4	17	98	3400	25348	25250	FER 0,3 % VAIQ 1-3
	KES-KIARVO		**0,6**	**482**	**3376**	**23**			