

Olli Holmström

LÄMPÖLAAJENEMINEN JA MITTAAMINEN
KOVAKROMAUKSESSA

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2017

LÄMPÖLAAJENEMINEN JA MITTAAMINEN KOVAKROMAUKSESSA

Holmström, Olli
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
huhtikuu 2017
Ohjaaja: Teinilä, Teuvo
Sivumäärä: 28
Liitteitä:1

Asiasanat: kromaus, mittaaminen, lämpölaajeneminen

Tämän opinnäytetyön tavoite on tutkia kovakromauksen pyöröhiontaprosessissa mittaamisesta syntyviä poikkeamia. Tässä työssä tutkittiin pääasiassa mikrometrin toimintaa ja sen käytössä ilmaantuvia erilaisia mittauserävarmuuksia. Työssä keskityttiin mittavirheistä suurimpana esiintyvään funktioon lämpölaajenemiseen ja sen vaikutukseen sylinterin muotoiseen kappaleeseen sekä lämmönsiirtymisen syihin pyöröhionnassa ja kromauksessa. Työn tavoitteena on nopeuttaa tuotantoprosessin läpimenoaika ja vähentää mittausvirheistä syntyviä sisäisiä tai ulkoisia reklamaatioita.

Opinnäytetyössä tutustutaan ensin Turun Kovakromi Oy:n toimintaan ja laatutekijöihin sekä paneudutaan mikrometrin tarkkuudella tehtävään konepajatyöstön hallittavuuteen. Lisäksi tehdään Excel-taulukko teräksen lämpölaajenemisesta, josta selviää kappaleen halkaisijan muutos suhteessa lämpötilaeroon.

Lopuksi pohditaan mahdollisten investointien kannattavuutta uuden teknologian mitauslaitteisiin sekä sitä, onko mikään mittari luotettava muuttuvissa ympäristöteknologioissa.

THERMAL EXPANSION AND MEASUREMENT IN HARD CHROME PLATING

Holmström, Olli

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

April 2017

Supervisor: Teinilä, Teuvo

Number of pages: 28

Appendices: 1

Keywords: chromium plating, measurement, heat expansion

The purpose of this thesis is to investigate the deviations from the measurement of the hard chrome grinding process. In this thesis, mainly the operation of the micrometer and the various measurement uncertainties. Focus was in the measured error to the highest occurring function for thermal expansion and its impact on a cylindrical body and causes of heat transfer in round grinding and chrome plating. The aim of the thesis is to speed up the process of going through the production process and reduce the internal or external complaints caused by measurement errors.

In the thesis I will first get acquainted with the operations and quality control of Turun Kovakromi Oy and will focus on the management in micrometer accuracy engineering work. And then I will create an Excel sheet of thermal expansion of steel reveals the change in diameter in relation to the temperature difference.

Finally, I discuss the profitability of potential investments in new measuring instruments and whether any measurements are reliable in changing environmental factors.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TAUSTA	7
2.1	Palvelut	7
2.2	Kapasiteetti	8
2.3	Tavoite	8
2.4	Rajaus.....	8
3	LAATUTEKIJÄT KOVAKROMAUKSESSA	9
4	KOVAKROMAUS	10
4.1	Kovuus ja kulutuskestävyys.....	10
4.2	Korroosion esto-ominaisuudet.....	11
5	PYÖRÖHIONTA	12
5.1	Hionta ja kiillotus.....	12
5.2	Hionta-aineet.....	13
5.2.1	Korundi	13
5.2.2	Piikarbidi	13
6	MITTAAMINEN	14
6.1	Mittausvälineet.....	15
6.1.1	Mikrometri	16
6.1.2	Pinnan paksuusmittari	19
6.2	Pinnan karheusmittari	19
6.3	Toleranssit ja sovitteet	20
6.4	Mittausvirheet	21
6.4.1	Mittausolosuhteet	21
6.4.2	Mittavirheiden eliminointi.....	22
6.4.3	Mittausepävarmuus.....	22
7	LÄMPÖLAAJENEMINEN	24
7.1	Lämpötila-asteikko	24
7.2	Terminen tasapaino	24
7.3	Lämpötilan aiheuttamat virheet	25
7.4	Lämpölaajenemistaulukon toteutus	26
8	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET.....	28
	LIITTEET	

TERMIT JA LYHENTEET

Ni	Nikkeli
Cr	Kromi
µm	Mikrometri
SI	Mittayksikköjärjestelmä
HV	Vickers kovuus
°C	Celsiusaste
K	Kelvin

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön idea tuli käytännön ongelmatilanteesta, jossa pyöröhionnassa kuumenevan pyöreän rautakappaleen halkaisijan toleranssiin hiominen tuli haastavaksi lämpölaajenemisen johdosta. Tarkoituksena on tehdä Turun Kovakromi Oy:lle valmis kaavio, josta voi tarkistaa lämpölaajenemisen vaikutus kappaleen halkaisijaan. Kaavion tarkoituksena on auttaa pyöröhiojaa saavuttamaan oikea halkaisija odottamatta kappaleen jäähtymistä. Tavoitteena on nopeuttaa hiontaprosessin läpimenoaikaa sekä varmistaa tasalaatuisuuden toteutuminen ja vähentää reklamaatioiden syntymistä. Samalla tutustutaan lähemmin toleransseihin, kovakromin hiontaan, kovakromaukseen ja metallin muodonmuutokseen lämmön vaikutuksesta sekä mittaamiseen ja mitavirheiden syntymiseen.

2 TAUSTA

Turun Kovakromi Oy:n pintakäsittelylaitos sijaitsee Porissa Kupariteollisuuspuiston alueella, osoitteessa Kuparitie 5. Kuvassa (kuva 1) kromaamo kuvattuna etupihalta. Samoissa tiloissa pinnoitustoimintaa on jatkettu jo vuosikymmeniä, aiemmin nimellä Outokumpu Plating Oy ja Stratum Oy. (Turun Kovakromi www-sivut 2017.)

Turun Kovakromi Oy aloitti toimintansa maaliskuussa vuonna 2014. Uusi omistaja on joutunut panostamaan paljon taloudellisesti happoaltaiden korjauksiin ja uusimisiin. Tiukentuneiden ympäristöarvojen myötä on panostettu paljon myös jätevesien puhdistamiseen.



Kuva 1. (Turun Kovakromi Oy www-sivut 2017.)

2.1 Palvelut

- Levyjen ja tasomaisten kappaleiden hionta, kovakromaus- ja korjauspalvelut mm. vaneri -ja pinnoituspuristimen levyihin.
- Mäntien ja männänvarsien korjaus, kovakromaus- ja hiontapalvelut.

- Sylinteriputkien korjaus, nauhahionta ja kovakromaus.
- Kromin poistaminen kappaleesta. (Turun Kovakromi www-sivut 2017.)

2.2 Kapasiteetti

Turun Kovakromi Oy:n tiloissa on käytössä kolme pyöröhiomakonetta männänvarsille ja teloille. Maksimi halkaisija pyöröhiontaan on 1,5 metriä ja kappaleen maksimi pituus on 11 metriä. Tasossa hiovan leveänauhahiomakoneen kapasiteetti on leveydeltään 1,8 metriä.

Kromauskylpyaltaita on käytössä eri kokoisia, joista pisin on pituudeltaan 12 metriä ja levein halkaisijaltaan 1,9 metriä. Lisäksi levyn kromausaltaita on käytössä 3 kappaletta, joista suurin allas on 3,2 metriä korkea ja 10 metriä pitkä. Krominpoistoaltaita on myös erikokoisia ja eri tekniikoilla varustettuja.

Nikkelöintiallas on 5 metriä pitkä ja 1,5 metriä syvä.

2.3 Tavoite

Työn tavoitteena on tutustua sylinterin muotoisen kappaleen kromausprosessiin ja siihen, miten voidaan vaikuttaa kovakromauksen onnistumiseen.

Koska pohjatöiden pitää olla laadultaan oikeanlaiset, tutustutaan syvemmin mittaamiseen ja mittauksessa ilmeneviin virheisiin. Tavoitteena on myös tehdä teräksen lämpölaajenemisesta taulukko, koska lämpölaajeneminen on muuttuvin tekijä mittausepävarmuudessa. Taulukosta voi katsoa lämpötilaeron vaikutuksen kappaleen halkaisijaan.

2.4 Rajaus

Kovakromauksesta ja mittaamisesta tutustutaan vain sylinterin muotoisen kappaleen kyseisiin työvaiheisiin. Mittaamisen tutkiminen rajoitetaan niihin mittalaitteisiin, joita

käytetään tällä hetkellä kromaamossa. Termisen tasapainon saavuttamisaikaan ei paneuduta syvemmin, koska muuttuvia tekijöitä on runsaasti ja koska kappalesarjoja kromaukseen tulee suhteellisen vähän.

3 LAATUTEKIJÄT KOVAKROMAUKSESSA

Visuaaliset tekijät ovat tärkeässä osassa kovakromaustoimintaa. Kromikerroksen pitää tietysti olla ja näyttää tasalaatuiselta. Kiiltäväksi hiottu kovakromikerros kerää katseita ja sen on oltava myös laadukas ja puhdas. Kovakromikerros on pinnoite ja kuitenkin toisaalta se on puhdas metalli, joka ei kasvata kolhuja tai huokosia kiinni kuten sinkki, joten kaikkein tärkein työvaihe on juurikin kovakromikerroksen pohjahionta ja mahdollisten reikien tai urien täyttö hitsaamalla, kuitenkin unohtamatta toleranssien sisällä pysymistä.

Philip B. Crosby'n näkemyksen mukaan laatua on pystyttävä mittaamaan, jotta laadukkaita tuotteita voitaisiin valmistaa. Mittaustuloksien arvioimiseksi on oltava konkreettisia tavoitteita joihin tähdätä. Laajalti käytetty määritelmä laadulle on:

“Laatu on yhteensopivuus vaatimuksiin tai normeihin”. (Crosby 1979.)

Toimiakseen halutulla tavalla tuotteen osien mittojen ei tarvitse olla ehdottoman tarkkoja, vaan tietyt poikkeamat voidaan sallia. Laatuksiteerien poikkeamat eli toleranssit ovat keskeinen elementti tuotantoprosesseissa. Crosby'n mukaan laatuvaatimukset ovat mittatoleransseja ja muita tuotesuunnittelijoiden asettamia ominaisuuksia.

Tuotannon näkökulmasta laatu tarkoittaa yhdenmukaisuutta, samanlaisuutta ja yhtenevyyttä normeihin ja vaatimuksiin. Näillä tarkoitetaan sitä, mitä lopputuotteen käyttäjä haluaa ja mitä hän pystyy maksamaan tuotteesta. Myös tuottajan toimituskyky vaikuttaa laatuun. Se mitä tuotantoprosessilla pystytään tuottamaan taloudellisesti määrää perustan laadun laatuunormille tai standardille. (Andersson & Tikka 1997, 19-20.)

4 KOVAKROMAUS

Nimitys kovakromaus ei johdu kerroksen ominaisuuksista vaan käyttötarkoituksesta, sillä kovakromikerros ei ole sen kovempaa kuin kiiltokromikerroskaan. Kovakromauksella tarkoitetaan yleensä yli 10 μ m:n paksuista kromipinnoitetta, joita käytetään tavallisesti kulutuskestävyyden parantamiseksi, kitkan alentamiseksi ja liikkuvien hydraulikkaosien tiivistepintoihin.

Korkealaatuisen kovakromauksen saatavuus on ollut erittäin tärkeää hydrauliiikan kehitykselle. Esimerkkinä voidaan mainita meriolosuhteet, jotka ovat ympäristönä syövyttäviä, tällöin hydrauliikkakomponenteissa voidaan käyttää nikkelialuspinnoitetta, kuten 20 μ m Ni + 20 μ m Cr. (Suomen Galvanotekninen yhdistys ry 2000, 59).

Kuvasta (Kuva 2) selviää kromin fysikaaliset ominaisuudet.

Kemiallinen merkki	Cr
Jaksollisen järjestelmän ryhmä	6 (VIa)
Atomimassa	51,9961
Tiheys, 20 °C	7,188 g/cm ³
Sulamispiste	1863 ± 20 °C
Ominaislämpökapasiteetti	0,449 J g ⁻¹ K ⁻¹
Lämmönjohtavuus, 25 °C	93,9 W m ⁻¹ K ⁻¹
Lämpölaajenemiskerroin, 25 °C	4,9·10 ⁻⁶ /K
Resistiivisyys, 20 °C	12,5·10 ⁻⁹ Ω m
Sähkönjohtavuus, 20 °C	13 % Cu:n arvosta
Normaalipotentiali Cr → Cr ³⁺ + 3e ⁻	-0,744 V
Sähkökemiallinen ekvivalentti (+3)	0,6467 g A ⁻¹ h ⁻¹
Sähkökemiallinen ekvivalentti (+6)	0,3233 g A ⁻¹ h ⁻¹
Hapetusluvut	+2, +3 ja +6
Pitoisuus maankuoressa	100 g/t
HTP-arvo (8 h)	
Cr ⁶⁺ -yhdisteet	0,05 mg/m ³
Cr ja Cr ²⁺ - ja Cr ³⁺ -yhdisteet	0,5 mg/m ³

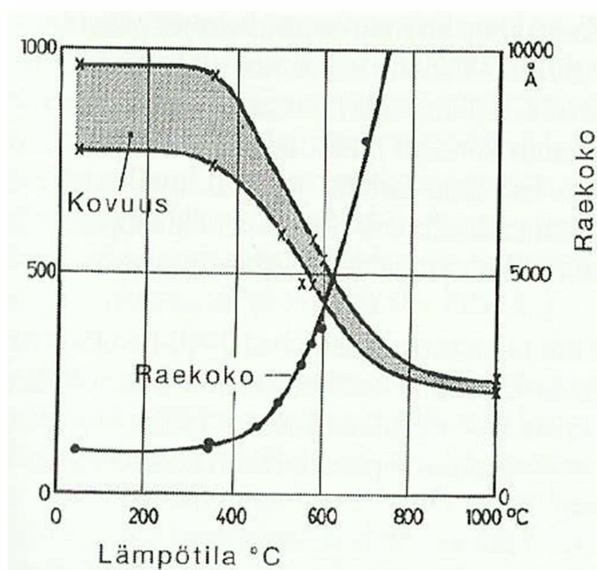
Kuva 2. Kromin fysikaaliset ominaisuudet. (Suomen Galvanotekninen yhdistys ry 2000, 59.)

4.1 Kovuus ja kulutuskestävyys

Elektrolyttisesti saostetun kromin kovuus on 750-1050 HV. Sen kitkakerroin on matala ja siksi kromipinnoitteen kulutuskestävyys on hyvä. Kromipinnoite on hauras

eikä sovi osiin, jotka altistuvat iskuille tai taivutuksille. Perusmetallin kovuudella on ratkaiseva vaikutus kromipinnoitteen kestävyys. Pehmeä alusta myötää ja kromaus voi murtua puristuksessa.

Lämmitettäessä kromipinnoitetta yli 400 asteeseen sen kovuus laskee ja samalla raekoko kasvaa merkittävästi. Kromipinnoitteen kovuus ja raekoon muutos suhteessa lämpötilaan näkyy kuviosta (Kuvio 1). (Suomen Galvanotekninen yhdistys ry 2000, 56-57).



Kuvio 1. Kromi pinnoitteen kovuus ja raekoko lämpökäsittelyn jälkeen. (Suomen Galvanotekninen yhdistys ry 2000, 57.)

4.2 Korroosion esto-ominaisuudet

Metallinen kromi kestää hyvin korroosiota. Pinnoitteen halkeamat rajoittavat metallisen kromin kykyä suojata alustaa ja sitä kautta syntyy edellytykset paikallisparille. Kromi on rautaa jalompi metalli, koska se käytännön galvaanisessa jännitesarjassa passivoituu. Korroosiopareissa rauta on liukeneva metalli tilanteissa, joissa kromikerroksen alle pääsee kosteus vaikuttamaan halkeamien ja huokosten kautta ja tällöin syntyy nopeasti ruostetta. Toisin kuin sinkitys kromaus ei suojaa perusmetallia katodisesti. (Suomen Galvanotekninen yhdistys ry 2000, 64-65).

5 PYÖRÖHIONTA

Turun Kovakromi Oy:n kaikki kolme pyöröhiomakonetta toimivat samalla periaatteella. Jokainen pyöröhiomakone on tehty sorvista muuttamalla. Kuvassa (Kuva2) suurin pyöröhiomakone, LeBlond-merkkiseen sorviin muokattuna. Hiontanauhojen pituus ja leveys vaihtelevat koneesta riippuen. Turun Kovakromi Oy:stä hiontanauhojen karkeuksia löytyy väliltä 36-320 lukuarvoa. Karkeiden hiontanauhojen tarkoitus on poistaa tehokkaasti perusainetta tai kromipinnoitetta, jos syystä tai toisesta kromikerroksen paksuus on kasvanut liikaa, kuten virrantiheyden ollessa väärä, varjostimet pettäneet kappaleesta happoaltaaseen laskun myötä, ym. syitä. Hyvin hienojakoisia hiomanauhoja käytetään pohjahiontaan ennen kromausta.



Kuva 2. Pyöröhiomakone. (Turun Kovakromi Oy www-sivut 2017.)

5.1 Hionta ja kiillotus

Kromikylvyn mikrolevityskyky on huono. Aluspinnan on oltava mahdollisimman sileä ja kiiltävä ennen kromausta, koska kromipinnoite korostaa kaikkia pinnan epätaisuuksia. Tällöin hionnassa ja koneistuksessa syntyneet terävät särvät ja pinta-naarmut on pyörästettävä hienohionnalla varsinkin, jos pinnoitetta ei enää käsitellä kromauksen jälkeen. (Suomen Galvanotekninen yhdistys ry 2000, 75).

Materiaalin kovuus vaikuttaa mm. sen hiottavuuteen sekä hiontarakeiden kulumiseen. Hiottavaan aineeseen voi tulla halkeamia ja sisäisiä jännityksiä hionnan mekaanisista voimista ja lämpörasituksista. Kromaukseen voi syntyä halkeamia hiottaessa sitä väärällä tavalla. Hionnan jälkeisellä lämpökäsittelyllä voidaan sisäisiä jännityksiä poistaa. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1996, 79).

5.2 Hionta-aineet

Kvartsi ja luonnonkorundi ovat luonnon hionta-aineita, jotka synteettiset hionta-aineet ovat täysin syrjäyttäneet. Kovia ja hauraita rakeita tarvitaan hienoon hiontaan sekä hiottaessa kovia materiaaleja, kun taas sitkeämpiä, ei liian nopeasti rikkoutuvia jyväsiä, tarvitaan karkeaan hiontaan. Hiottavaa materiaalia pitää hioa materiaalia kovemmilla hiontajyväsillä, jotta hiontajyvät eivät vain kuluisi. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1996, 78).

5.2.1 Korundi

Yleisin hionta-aine korundi on alumiinioksidia (Kuva 5.), joka valmistetaan bauksitista. Korundia käytetään sekä joustavissa että kiinteissä hiontatyökaluissa. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1996, 78).



Kuva 5. Alumiinioksidihionmanauha. (Klingspor www-sivut 2017.)

5.2.2 Piikarbidi

Sähköuneissa valmistetaan kvartsihiekkasta piikarbidia, joka on timanttia pehmeämpää mutta kovempaa kuin korundi. Piikarbidi (Kuva 6.) on melko haurasta ja se murenee. Teräksen työstössä piikarbidin leikkuukyky huononee nopeasti. Kovien

materiaalien hionnassa käytetään piikarbidia. (Suomen Galvanotekninen yhdistys 1996, 78).



Kuva 6. Piikarbidihionanauha. (Klingspor www-sivut 2017.)

6 MITTAAMINEN

Kromattavien kappaleiden mittausprosessi alkaa mikrometrin valinnalla. Sen olisi hyvä olla mittausalueeltaan mieluummin laaja kuin ahdas, koska jos mikrometristä käytetään ensimmäisiä lukemia, voi olla hankala katsoa, onko mittauskärjet kohtisuorassa kappaleeseen nähden.

Ajan säästämiseksi on hyvä katsoa halkaisijan mitta suurin piirtein ensin rullamitalla, jolloin välttyään turhalta vaivalta oikeankokoisen mikrometrin löytämiseksi.

Akselien tai männänvarsien mittausvälit vaihtelevat kappaleen pituuden ja toleranssin tarkkuuden mukaan.

Kromattavan kappaleen pohjahionta on erittäin tärkeää. Pohjahionnassa täytyy ottaa huomioon haluttu kromin paksuus, joka on yleensä vähintään 30 μm . Esimerkkinä voidaan ajatella männänvarsi, jonka halkaisija on 200 mm ja toleranssi on f8, ja jonka taas tulee olla -50...-122 μm . Tällöin männänvarren halkaisijan pitää olla ennen kromaukseen menoa vähintään $\varnothing:200 -0,11$ mm. Kun perusainetta on liikaa, on itsestään selvää, että männänvarresta pitää hioa pois paljon materiaalia karkealla hiomanauhalla, jolloin kappale lämpenee ja aiheuttaa lämpölaajenemista. Lämpölaajeneminen tekee hionnasta haastavaa ja aikaa vievää. Tässä esimerkki tapauksessa kappale on kuumentunut hionnassa 25 °C, jolloin kappaleen halkaisija on paksuuntunut jo 30 μm lämpölaajenemisen johdosta, mikä jo yksin oli kromausvara. Täten kappaleen halkaisija jää liian pieneksi, mikä taas voi aiheuttaa tiivisteiden vuotamista männänvarren käytön aikana ja tämän seurauksena on reklamaation todennäköisyys suuri.

Toisena esimerkkinä voidaan esittää vastaavan kokoista, halkaisijaltaan 200 mm:stä männänvartta, joka tuodaan ulkoa pakkasesta suoraan hiontaan odottamatta kappaleen lämpenemistä ja johon pitää hioa vain kromaukseen sopiva pinta. Tällöin kappale ei juurikaan lämpene vähäisen hionnan seurauksena. Kun kappale hiotaan toleranssialueen ylärajalle, miinustaen haluttu kromivahvuus, on taas hyvä ottaa huomioon lämpölaajenemisen vaikutus. Tapauksessa, jossa kappale on kylmä ja se on hiottu $-60\ \mu\text{m}$ halkaisijasta pienemmäksi, kromi kerroksen kasvamisen vuoksi, ja ottamatta lämpölaajenemista huomioon, on kromauskylvystä nostetun männänvarren lämpötilaero noin 50°C . Tämä taas tarkoittaa, että kappaleen halkaisijaa ei tässä kohtaa kannata mitata ottamatta lämpölaajenemista huomioon. Otettaessa molemmat seikat huomioon, on halkaisija kasvanut kromikerroksen vuoksi $60\ \mu\text{m}$ ja lisäksi lämpölaajenemisen vuoksi $120\ \mu\text{m}$. Termisen lämpötilan 20°C saavuttamisen jälkeen halkaisija on toleranssiin verrattuna liian suuri. Tässäkin tapauksessa kappaleesta on tullut "susi", koska kappaleen mitat ovat huomattavasti toleranssialueen ulkopuolella.

Koska lämpölaajenemisen vaikutus on verrattaen suuri muihin mittaamisessa ilmeneviin mittavirheisiin, on hyvä tutkia lähemmin sen vaikutusta kromikerrosten ja tiukahkojen toleranssien kanssa. Näin ollen taulukko on tarpeellinen tilanteissa, jolloin pitää tarkistaa nopeasti halkaisijan muutos $+20^\circ\text{C}$: ssa, jota pidetään teknisten mittojen mittaustilana.

Tällä taulukolla saadaan laatua parannettua sekä varmuutta toleranssi alueen sisällä pysymiseen ja se myös nopeuttaa tuotteiden läpimenoaikaan pyöröhionnassa. Taulukko on tarkoitettu laittaa pyöröhionta työpisteen välittömään läheisyyteen. Seuraavaksi tutustutaan tarkemmin laitteisiin, joita käytetään kovakromaamossa mittaessa sadasosamillimetrin tarkkuudella.

6.1 Mittausvälineet

Mittausvälineiden tarkoitus on pitää laatua yllä, ne ovat laadun tärkeimpiä mittareita kovakromauksessa.

6.1.1 Mikrometri

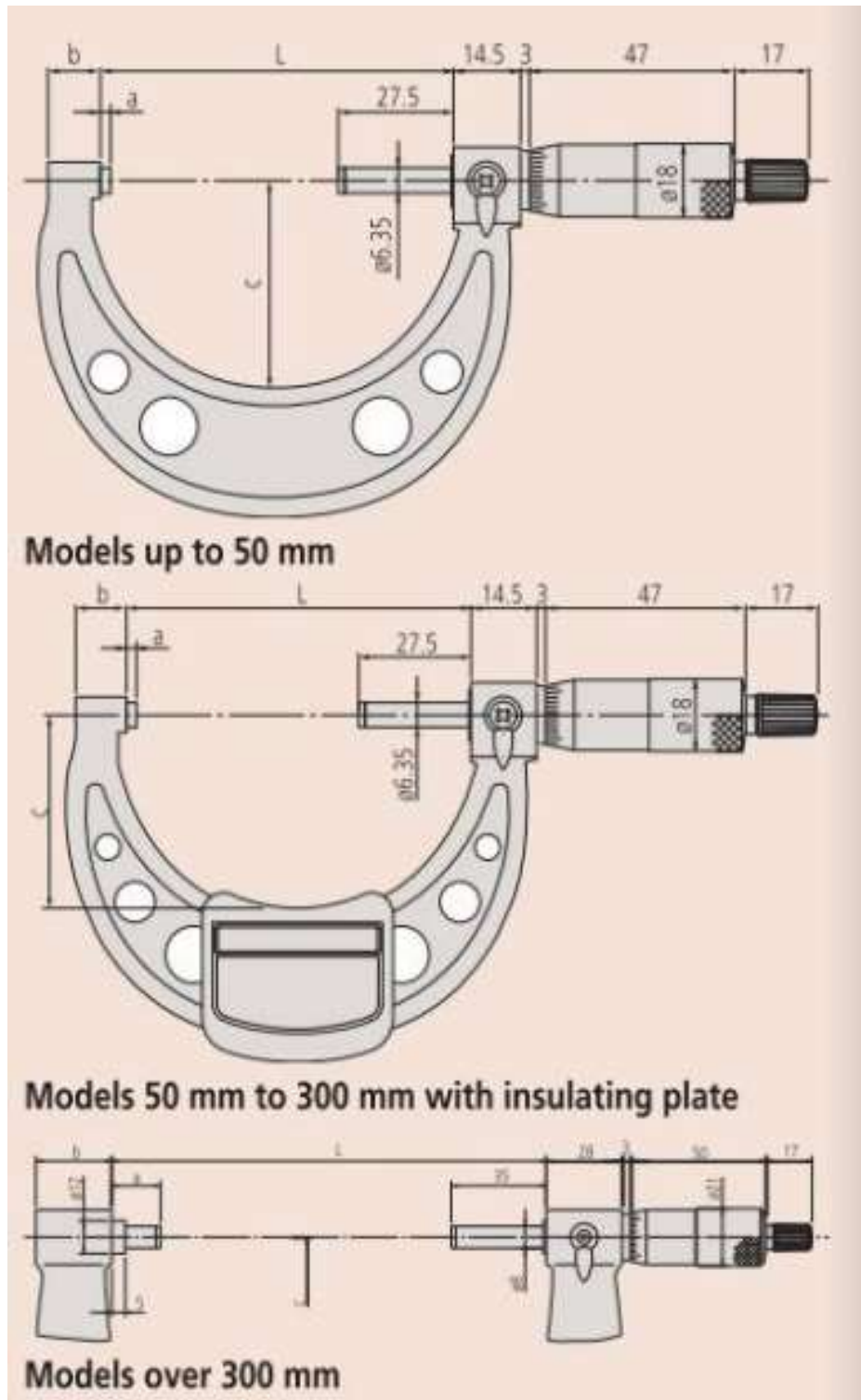
Turun Kovakromi Oy:llä on mikrometreille asianmukaiset säilytyslaatikostot, joissa mikrometrit säilytetään niiden omista laatikoissaan. Laatikostot on sijoitettu mahdollisilta kolhimisilta suojaan. Myös tasalämpöisyyden toteutumiseksi laatikostot on sijoitettu siten, että ne eivät ole paikoissa, joissa vetää tai ole muuten ovien tai ikkunoiden lähetyvillä, joita auki pidettäessä voi lämpötila myös muuttua. Mikrometreille on myös laadittu kuukausittainen tarkistus raportti, joka on työpisteessä työskentelevän henkilön vastuulla. Kriteerit laadulle ovat tarkkoja, joten on tärkeää suorittaa mikrometriä kalibrointi säännöllisin väliajoin.

Mikrometrin mittaavana elimenä on tarkkanousuinen ruuvi. Mittauskaran liikkeen pituus voidaan lukea asteikkoputkelta sekä mittausrummun kehältä ruuvia kierrettäessä. Asteikkoputken pitkittäissuuntaisesta asteikosta voidaan lukea mikrometriruuvien täydet kierrokset käyttämällä osoittimena mittausrummun reunaa. Normaalisti ruuvien nousu on 0,5 mm (suurissa laitteissa myös 1 mm), jolloin karan liike putkelta saadaan 0,5 mm:n tarkkuudella. (Andersson & Tikka 1997, 185.)

Mikrometrin mittauksen tarkkuus muuttuu mitattavan kappaleen pituuden mukaan. Taulukosta (Taulukko1) voi katsoa laadultaan hyvän Mitutoyo -merkkisen ja sarjaltaan 103 mikrometrin tarkkuuden toleranssin suhteessa kappaleen pituuteen. Kuten huomata saattaa, voi yllättyä, että esimerkiksi yli 500 mm:n mikrometrin toleranssialue on 18 µm, joka toisaalta tarkoittaa pyöreän kappaleen pinnoituksen vahvuuteen epävarmuutta 9 µm. Mitutoyo sarjan 103 mikrometriä ulkomittojen koordinaatit ovat kuvassa (Kuva2).

Taulukko1. Mitutoyo sarjan103 mikrometrin mitat ja toleranssialue (Mitutoyo e-Book 2017, 48.)

Graduation 0,01 mm							
Range [mm]	Accuracy [μm]	L [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d [mm]	Mass [g]
0-25	± 2	30,3	2,8	9	28	6,35	175
25-50	± 2	55,3	2,8	10	38	6,35	215
50-75	± 2	80,3	2,8	12	46	6,35	315
75-100	± 3	105,3	2,8	14	57	6,35	375
100-125	± 3	132,8	5,3	17	76	6,35	515
125-150	± 3	158,2	5,7	19	90	6,35	665
150-175	± 4	183,6	6,1	20	102	6,35	720
175-200	± 4	208,8	6,3	19	115	6,35	920
200-225	± 4	234,2	6,7	18	127	6,35	1080
225-250	± 5	258	5,5	18	139	6,35	1255
250-275	± 5	284	6,5	18	152	6,35	1405
275-300	± 5	309	6,5	18	166	6,35	1565
300-325	± 6	353	18	28	187	8	1985
325-350	± 6	378	18	28	199	8	2155
350-375	± 6	403	18	28	212	8	2305
375-400	± 7	428	18	28	224	8	2455
400-425	± 7	453	18	28	236	8	2715
425-450	± 7	478	18	28	248	8	2965
450-475	± 8	503	18	28	261	8	3215
475-500	± 8	528	18	28	273	8	3450
500-525	± 9	575	40	28	307	8	4060
525-550	± 9	575	15	28	307	8	4080
550-575	± 9	625	40	28	332	8	4500
575-600	± 9	625	15	28	332	8	4525
600-625	± 9	675	40	28	355	8	4915
625-650	± 9	675	15	28	355	8	4930
650-675	± 9	725	40	28	382	8	5200
675-700	± 9	725	15	28	382	8	5215
700-725	± 9	775	40	28	405	8	5835
725-750	± 9	775	15	28	405	8	5860
750-775	± 9	825	40	28	430	8	6385
775-800	± 9	825	15	28	430	8	6410
800-825	± 9	875	40	28	455	8	6925
825-850	± 9	875	15	28	455	8	6940
850-875	± 9	925	40	28	480	8	7565
875-900	± 9	925	15	28	480	8	7590
900-925	± 9	975	40	28	505	8	8215
925-950	± 9	975	15	28	505	8	8240
950-975	± 9	1025	40	28	530	8	8860
975-1000	± 9	1025	15	28	530	8	8880



Kuva 2. Mitutoyo sarjan103 mikrometrin mitat. (Mitutoyo e-Book 2017, 48.)

6.1.2 Pinnan paksuusmittari

Turun Kovakromi Oy käyttää kovakromi pinnoitteen paksuuden mittaukseen elcometer 456C- laitetta (Kuva 4). Kyseisiä laitteita on useampia ja niitä löytyy jokaiselta työpisteeltä.

Useilla teollisuuden aloilla käytetään yleisesti pinnoitteenpaksuus mittareita haluttaessa selvittää pinnoitteen paksuus tarkasti lähes minkä materiaalin päältä tahansa. Digitaaliset mittarit osaavat kertoa tarkasti ja nopeasti pinnoitteen paksuuden, oli kyseessä sitten ei-rautametalli tai rauta. Tietoa pinnoitteen paksuudesta voidaan hyödyntää muunmuassa tuotekehityksessä, laadunvalvonnassa, käyttösoveltuvuuden testauksessa sekä pinnoitteen käyttöiän määrittämisessä. Vaatimus pinnoitteen paksuuden kirjaamisesta sisältyy nykyään moniin kansainvälisiin laatustandardeihin. (ytm-industrial www-sivut 2017.)



Kuva 4. Kuivakalvon paksuusmittari erilaisilla antureilla. (ytm-industrial www-sivut 2017.)

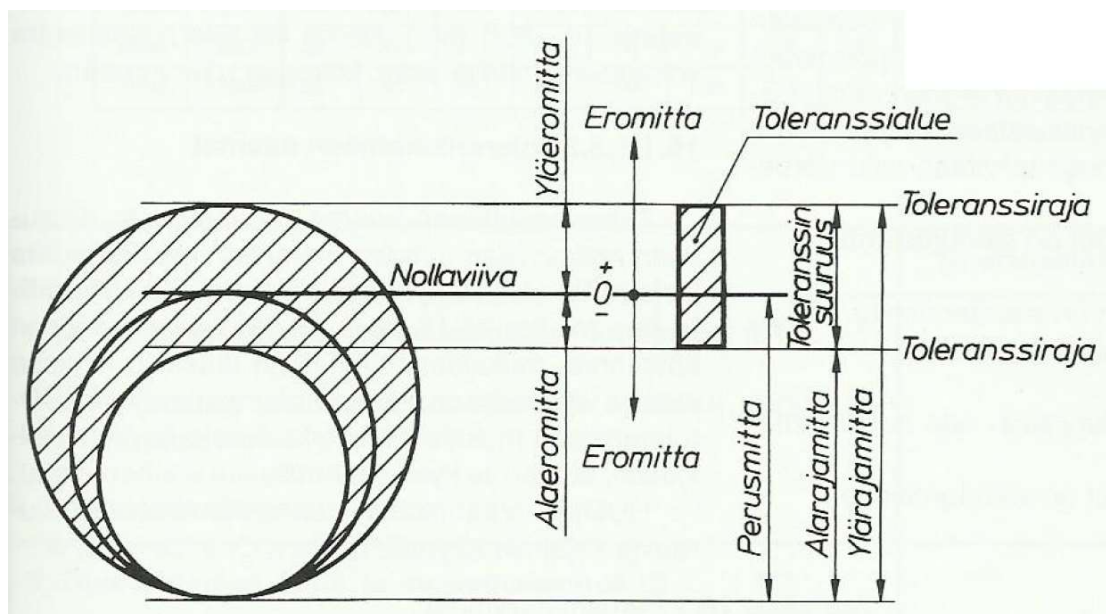
6.2 Pinnan karheusmittari

Valmiin pinnan, kromauksen tai mahdollisen hiontakiillotuksen jälkeen, pinta pitää täyttää sille annetun vähimmäisen pinnankarheuden Ra-arvon. Ra-arvo on pinnan muodon keskipoikkeama. Yleisesti männänvarsien kromatulle pinnalle annettu Ra-arvo on 0,2 μm . Ra-arvoon vaikutetaan hiomanauhan karkeudella.

6.3 Toleranssit ja sovitteet

Tavallisesti koneiden ja laitteiden teollinen valmistus tapahtuu siten, että tehtaan eri osastot valmistavat koneiden ja laitteiden osat tai sitten osat valmistetaan jopa eri tehtaissa tai ulkomailla. Valmiit, joko itse valmistetut tai muualta hankitut osat, lähetetään kokoonpano-osastolle, jossa taas suoritetaan koneen tai laitteen kokoaminen. Kyseisessä asennustyössä ja osien vaihtokelpoisuusvaatimuksessa lähdetään siitä, että ilman aikaa vievää ja kallista sovitystyötä, pitää osien sopia toisiinsa tarkoitetulla tavalla. Edellytyksenä tälle on, että osien todelliset mitat vastaavat piirustuksessa esitettyjä mittoja tietyllä tarkkuudella. (Aimo Pere 2002, 158.)

Kovakromi pinnoitteen tarkoitus on kestää kulutusta. Männänvarsissa se tarkoittaa, että kovakromi pinnoite liikkuu sylinterin tiivistettä pitkin. Tässä tapauksessa toleranssien merkitys on todella tärkeää pitkäikäisen toimivuuden kannalta. Liian löysä välisovite voi aiheuttaa vuotoa tiivisteessä ja tehdä siitä jopa vaarallisen käyttä. Kun taas liian kireä sovitte aiheuttaa nopeaa kulumista ja mahdollisesti kromi pinnoitteen naarmuuntumista, jolloin käyttöikä taas lyhenee. Teloissa toleranssialueet voivat olla paljon pienempiä kuin männänvarsilla. Myös pyöreydelle voi olla annettu pieni toleranssialue. Kuvasta (Kuva 5) selviää käsitteet toleransseille, joista toleranssialue joka tapauksessa on tärkein.



Kuva 5. Toleranssi käsitteitä havainnollistava kuva. (Aimo Pere 2002, 159.)

6.4 Mittausvirheet

Mitään Mittausta ei voida täysin virheettömästi tehdä. Koska mittaukseen osallistuvat tekijät eivät ole täydellisiä, on tulos aina virheellinen. Virhelähteiden tekijöitä mittauksen aikana ovat muun muassa mittauksen kohde, perusmitat, mittalaite, mitaustapa, ulkonaiset olosuhteet, mittaja sekä muutokset, joita kaikissa virhelähteissä tapahtuu mittauksen aikana.

Virheet, jotka vaikuttavat mittaustuloksessa, jaotellaan perinteisesti kolmeen ryhmään. Näitä ovat systemaattiset, satunnaiset ja karkeat virheet. (Andersson & Tikka 1997, 127.)

- Systemaattinen mittausvirhe on virhe, joka on oloista jollakin säännömukaisella tavalla riippuvainen tai suureen samaa arvoa mitattaessa on samoissa olosuhteissa vakioarvoinen.
- Satunnainen mittausvirhe on virhe, jonka suuruus vaihtelee satunnaisesti, kun toistetaan suureen saman arvon mittaus samankaltaisissa olosuhteissa.
- Erilaisista erehdyksistä ja huolimattomuuksista johtuvat virheet sisältyvät karkeiden virheiden ryhmään, joiden suuruusluokka voi olla moninkertainen edellisiin mittausvirheisiin verrattuna. Muun muassa mittausarvon virheellinen lukeminen, virhelähteiden huomiotta jättäminen sekä virheellisen mittausmenetelmän käyttö, kuuluvat karkeiden virheiden ryhmään. Ajatusvirheet ovat tämän ryhmän ongelmallisimpia virheitä. (Andersson & Tikka 1997, 128-130.)

6.4.1 Mittausolosuhteet

Määritettäessä mittavaihtelua on yksi merkittävä tekijä mittauksen ympäristöolot. Lämpötilan vaikutusta mittaukseen käsiteltiin jo aikaisemmin. Lämpötilan lisäksi merkittäviä tekijöitä ovat myös lämpösäteilyä aiheuttava valaistus sekä mitaustuloksiin heilahduksia aiheuttavat värinät. Ympäristöolosuhteiden ohjearvoja tarkkoihin mittauksiin on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 2). Tärkeä merkitys

on myös olojen stabiilisuudella, mikä tarkoittaa sitä, että olojen ollessa vakaat, pystytään laskennallisesti poistamaan osa virhetekijöistä. (Andersson & Tikka 1997, 144.)

Taulukko 2. ympäristöolojen ohjearvoja. (Andersson & Tikka 1997, 145.)

Vaatus	Kalib.-laboratorio	Mittauspaikka
Lämpötila	20 ±0,2 C°	20 ±1 C°
Lämpötilavaihtelu/vrk	<0,6 C°	-
Lämpötilavaihtelu/h	<0,3 C°	<0,3 C°
Suhteellinen kosteus	35...55 %	35...55 %
Valaistus	800...1 000 lx	800...1 000 lx
Ilman laatu	1 200 hiukkasta/ilmalitra hiukkaskoko 0,3...10 µm, joista 200 > 1µm	9 000 hiukkasta/ilmalitra hiukkaskoko <10 µm
Värähtelyt	< 1µm, f= 10Hz	1...3 µm, f= 10 Hz
Ilman virtausnopeus	<150...200 mm/s	

6.4.2 Mittavirheiden eliminointi

Systemaattisten virheiden eliminointi konepajateknisissä mittauksissa on usein vaikeaa. Mittauslaitteen virheiden tunteminen riittävällä tarkkuudella vaikuttaa siihen, että virheet pystytään poistamaan. Tavallisesti tämä tarkoittaa sitä, että laitteen on oltava kalibroitu.

Tarkka asteikko on monien mittauskoneiden perusmitta. Vaikka valmistustekniikka tällaisissa asteikkosauvoissa onkin pitkälle kehitetty, on niissä 0,1...1 µm:n suuruisia virheitä useimmiten. Jos mittaus halutaan tehdä asteikon tarkkuutta suuremmalla tarkkuudella ja laitteen muut ominaisuudet tämän sallivat, on poikkeama tunnettava riittävän useassa asteikon kohdassa. Tällöin poikkeama voidaan ottaa huomioon korjauksena. (Andersson & Tikka 1997, 145.)

6.4.3 Mittausepävarmuus

Kromattavat kappaleet ovat pääasiassa pyöreän muotoisia mäntiä tai teloja, joilla on tarkat toleranssit. Pyöreän muotoista kappaletta on haastava mitata mikrometrillä, jolloin samasta kohtaa pitää ottaa useampia mittatuloksia varmuuden toteamiseksi.

Samoin pinnanvahvuus mittarilla pitää ottaa useampi mittaus, jotta voidaan todeta tulos luotettavaksi.

Mittaustulos mitatusta kappaleesta saadaan erilaisia mittauksia tehtäessä. Mittaustuloksen luotettavuuden tietäminen on erittäin tärkeää varsinkin kalibrointiin liittyvissä mittauksissa. Mittauksia, jotka on tehty eri aikoina ja eri paikoissa, on vaikea tarkastella, jollei standardoitua menetelmää tulosten vertailemiseksi ole. Tämä tarkoittaa sitä, että kansainvälisesti hyväksytty menetelmä mittausepävarmuuden määrittämiseksi tulee olla olemassa.

Koska mittaustulos on vain arvio mitattavasta kohteesta, on mittaustulos täydellinen vasta, kun tulos ilmoitetaan yhdessä mittausepävarmuuden kanssa. (Andersson & Tikka 1997, 147.)

Mitattavasta kappaleesta tulee mitata useampi kerta samasta paikasta mittausepävarmuuden ehkäisemiseksi. Taulukkoon (Taulukko 3) on merkitty korjauskertoimet, mikäli mittauksia on vähemmän kuin kymmenen.

Taulukko 3. Mittauksien korjauskertoimet suhteessa mitattujen arvojen lukumäärään. (Andersson & Tikka 1997, 151.)

Mitattujen arvojen lkm.	Korjauskerroin
2	7,0
3	2,3
4	1,7
5	1,4
6	1,3
7	1,3
8	1,2
9	1,2

Kertoimet ovat voimassa, kun $k=2$

7 LÄMPÖLAAJENEMINEN

Kromaamossa lämpötilavaihtelut ovat verrattain suuria verrattuna muihin pinnoitusmenetelmiin. Kromihappoaltaan pinnoituslämpötila vaihtelee +48...55°C välillä. Pyöröhionnassa kappaleen lämpötila voi nousta suuremmaksikin, varsinkin ohutseinämaisissä putkissa, jotka toisaalta jäähtyvätkin nopeammin.

Yleisesti käytetään lämpötilan käsitettä silloin, kun kuvataan sitä, miten kylmältä tai kuumalta jokin tila tai esine meistä tuntuu. Lämpötilan mittaaminen näin tuntoaistiin perustuen on epätarkkaa ja epäluotettavaa. (Inkinen & Tuohi 2012, 353.)

Kappaleen lämpötilan vaihtelu voi olla suurta varsinkin talviaikaan, kun kappale tuodaan ulkoa kylmästä sisätiloihin noin +20 celsiusasteeseen. Silloin kappaleen halkaisijan oikean lukeman mittaamisesta tulee hankalaa, juurikin lämpötilan vaihtelun johdosta.

7.1 Lämpötila-asteikko

Kelvin (K) on lämpötilan SI-yksikkö. Kelvin on yksi perusyksiköistä, mikä mittaa termodynaamista lämpötilaa absoluuttisesta nollapisteestä 0 K eli -273,15 celsiusasteesta lähtien. Celsiusaste (°C) on taas yksikön kelvin erityisnimi, jota käytetään ilmaistaessa celsiuslämpötila-arvoja. (Inkinen & Tuohi 2012, 353-254.)

7.2 Terminen tasapaino

Meille on tuttua myös se, että vaikka kahden kosketuksissa olevan kappaleen lämpötilat aluksi ovatkin erilaiset, saavat ne saman loppulämpötilan. Jos lämpöenergiaa voi siirtyä kappaleesta toiseen, ovat kaksi kappaletta termisessä kontaktissa keskenään. Tilanne, missä lämpöenergian nettosiirtymistä ei enää tapahdu kahden termisessä kontaktissa olevan kappaleen kesken, on terminen tasapaino. Lämpötila voidaan ajatella ominaisuutena, joka määrää, onko kappale termisessä tasapainossa muiden

kappaleiden kanssa. Jos kahden kappaleen lämpötila on sama, ovat kappaleet silloin ja vain silloin termisessä tasapainossa keskenään. (Inkinen & Tuohi 2012, 353.)

7.3 Lämpötilan aiheuttamat virheet

Yleensä suurin ja vaikeimmin hallittavissa oleva virhelähde tarkoissa mittauksissa on lämpötilan mittausvirhe. Peruslämpötila teknisten mittausten metrijärjestelmän maissa on $+20^{\circ}\text{C}$. Mikä tarkoittaa, että tekninen metri on tässä lämpötilassa määritelmänsä mukainen. Ja vaikka ei nimenomaan olisi mainittukaan, tarkoitetaan teknisen kappaleen pituudella aina sen pituutta $+20^{\circ}\text{C}$: n lämpötilassa.

Lämpötilan muuttuessa kappaleet käyttäytyvät materiaalilleen ominaisesti. Materiaalien molekyylien niin kutsuttu Brownin liike tavallisesti kiihtyy ja molekyylit ottavat suuremman tilan lämpötilan noustessa, tällöin kappale laajenee.

Koska yhteys kappaleen mitan ja $+20^{\circ}\text{C}$: sta poikkeavan lämpötilan välillä on tunnettu, ovat tästä syystä aiheutuneet virheet systemaattisia, edellyttäen että tunnetaan tarkasti:

- kappaleen lämpötilan muutos
- mittavälineen lämpötilan muutos
- kappaleen lämpötila
- mittavälineen lämpötila

Lämpötilavirheet (ainakin näiden osalta) on käsiteltävä tuntemattomina systemaattisina virheinä mikäli näissä yllä mainituissa tekijöissä on merkittäviä epävarmuuksia. (Andersson & Tikka 1997, 130.)

Alla olevassa taulukossa (Taulukko 4) arvot ovat keskimääräisiä yleisimpien vaihtelurajoineen. Kertoimen arvo voi vaihdella $\pm 5\%$, jos teräksen analyysi sekä muokaus- ja lämpökäsittelytilat ovat tunnetut. Ellei näitä tunneta, voi vaihtelu nousta $\pm 10\%$: iin saakka. Lämpötilan muuttumisen lasketut arvot eivät tavallisesti ole luotettavampia kuin $\pm 10\text{...}20\%$. Virheitä aiheuttavat myös epätarkkuudet lämpötilan mittauksessa ja oletus kappaleen lämpötilakentän tasaisuudesta. (Andersson & Tikka 1997, 130-132.)

Taulukko 4. Lämpöpiteneiskertoimia. (Andersson & Tikka 1997, 131.)

Materiaali	α (10^{-6} m/°C)	Materiaali	α (10^{-6} m/°C)
Alumiini	23,8	Kupari	16,5
Bakeliitti	30	Pronssi	18
Lyijy	28,9	Kromi	7
Lasi	8	Magnesium	26,1
Kulta	14,2	Nikkeli	12,9
Kovametalli	5...6	Invarteräs (36% Ni)	1,6
Teräs	11,5	Puu	3...54
Valurauta	10	Volframi	4,3
Ruostumaton teräs	10...18	Sinkki	26,7

7.4 Lämpölaajenemistaulukon toteutus

Tarkoituksena on tehdä selkolukuinen taulukko (Liite 1) Microsoft Excel-ohjelmalla teräksen lämpöpiteneisistä, josta pystysarakkeesta voi lukea kappaleen halkaisijan 5 millimetrin välein 5 mm:stä aina 300 mm:iin asti. Vaakasarakkeeseen tulee lämpötilaerot 5°C välein aina 60°C saakka.

Koska kovakromaukseen saapuu satunnaisesti myös halkaisijaltaan suurempia kappaleita, teen myös helppokäyttöisen matemaattisen kaavan kaavion viereen. Täten taulukossa on yleisempiä hydrauliiikassa käytetyistä halkaisijoista ja vaakasarakkeessa on lämpötilaerot, jotka ovat todennäköisimmin toteutuvat maksimierot kovakromaus prosessissa.

8 YHTEENVETO

Onko oikeaa tapaa mitata oikein tai mitkä asiat vaikuttavat mittaus tulokseen? Tähän voi vastata ei ja kaikki. Oikeaa mittaus tulosta ei ole kannattavaa antaa, koska mitaamiseen mikrometrin tarkkuudella liittyy paljon epävarmuustekijöitä, oli sitten kyseessä esimerkiksi huononäköinen mittaaja, jolla on kiire, tai mikrometri, jota ei ole kalibroitu. Oikean mittaustuloksen voi antaa pienellä toleranssilla, jos mittaustulokseen ollaan otettu huomioon lämpölaajeneminen ja mittaustuloksia ollaan otettu riittävästi kalibroidulla mittarilla.

Turun Kovakromi Oy:n toimitusjohtaja otti puheeksi keskustelussa opinnäytetyöstä lasermittalaitteen mahdollisena investointina pyöröhiontapisteelle. Asiaa paljon mietittyäni ja tutkittuani tulin siihen tulokseen, että kappaleisiin, joihin maan vetovoima ei vaikuta niin paljoa, että se taipuisi keskeltä, olisi kannattavaa investoida. Mutta koska suurin osa männänvarsista tai teloista on niin pitkiä, että painovoima vaikuttaa niihin, niin ei investointi ole mielestäni kannattava. Totesin asian vielä Solidworks simulointi ohjelmalla, jossa käytin taannoin kromaukseen tulleen suuren männänvarren mittoja, joka oli halkaisijaltaan 400 mm, seinämän vahvuus 10 mm ja kappaleen pituus 8 metriä. Kun tämän kappaleen laittaa päistään roikkumaan, niin suurin taipuma keskeltä on noin 2,5 mm, ja tällöin lasermittalaitteen käytölle ei ole perusteita.

LÄHTEET

Aimo Pere. 2001 Koneenpiirustus 2002. 2p. Espoo: Kirpe

Klingspor. 2017. www-sivut viitattu 30.4.2017. <http://www.klingspor.fi/sv-fi/products/dw-shop/hionta/hiomanauha/hiomanauha-kangas-cs-333-piikarbidi>

Klingspor. 2017. www-sivut viitattu 30.4.2017. <http://www.klingspor.fi/sv-fi/products/dw-shop/hionta/hiomanauha/hiomanauha-kangas-cs-310-al-oksidi>

Mitutoyo. 2017. www-sivut viitattu 29.4.2017. <http://dl.mitutoyo.eu/HE/eBook/>

Paul H. Andersson, Heikki Tikka. Konepajan tuotantotekniikka Mittaus- ja laatu-tekniikat 1997. 1p. Porvoo: WSOY

Pentti Inkinen, Jukka Tuohi. 1999 Momentti 1 Insinöörifysiikka 2012. 4-8 p. Keuruu: Otava.

Suomen Galvanotekninen yhdistys. Kemiallinen ja sähkökemiallinen pintakäsittely: osa 1 1996. Vantaa: Tummavuoren Kirjapaino Oy

Suomen Galvanotekninen yhdistys ry. 1999 Kemiallinen ja sähkökemiallinen pintakäsittely: osa 2 2000. 2p. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Turun kovakromi Oy. 2017. www-sivut viitattu 28.4.2017. <http://www.turunkvakromi.fi/>

ytm-industrial. 2017. www-sivut viitattu 29.4.2017. <https://www.ytm.fi/tuotteet/mittaus-testaus-ja-tyoturvallisuus/mittaus-ja-testauslaitteet/pinnoitteiden-paksuuden-mittaus/>

LIITE

LÄMPÖLAAJENIMISTAULUKKO TURUN KOVAKROMI OY: N
PYÖRÖHIONTATYÖPISTEILLE

Teräksen lämpölaajeneminen: halkaisija suhteessa lämpötileroon. Kaava: halkaisija(mm)*lämpötilaero*0,000012												
mm Ø	lämpötilaero °C											
	5 °C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
5	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004
10	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,007	0,007
15	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011
20	0,001	0,002	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014
25	0,002	0,003	0,005	0,006	0,008	0,009	0,011	0,012	0,014	0,015	0,017	0,018
30	0,002	0,004	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013	0,014	0,016	0,018	0,020	0,022
35	0,002	0,004	0,006	0,008	0,011	0,013	0,015	0,017	0,019	0,021	0,023	0,025
40	0,002	0,005	0,007	0,010	0,012	0,014	0,017	0,019	0,022	0,024	0,026	0,029
45	0,003	0,005	0,008	0,011	0,014	0,016	0,019	0,022	0,024	0,027	0,030	0,032
50	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,021	0,024	0,027	0,030	0,033	0,036
55	0,003	0,007	0,010	0,013	0,017	0,020	0,023	0,026	0,030	0,033	0,036	0,040
60	0,004	0,007	0,011	0,014	0,018	0,022	0,025	0,029	0,032	0,036	0,040	0,043
65	0,004	0,008	0,012	0,016	0,020	0,023	0,027	0,031	0,035	0,039	0,043	0,047
70	0,004	0,008	0,013	0,017	0,021	0,025	0,029	0,034	0,038	0,042	0,046	0,050
75	0,005	0,009	0,014	0,018	0,023	0,027	0,032	0,036	0,041	0,045	0,050	0,054
80	0,005	0,010	0,014	0,019	0,024	0,029	0,034	0,038	0,043	0,048	0,053	0,058
85	0,005	0,010	0,015	0,020	0,026	0,031	0,036	0,041	0,046	0,051	0,056	0,061
90	0,005	0,011	0,016	0,022	0,027	0,032	0,038	0,043	0,049	0,054	0,059	0,065
95	0,006	0,011	0,017	0,023	0,029	0,034	0,040	0,046	0,051	0,057	0,063	0,068
100	0,006	0,012	0,018	0,024	0,030	0,036	0,042	0,048	0,054	0,060	0,066	0,072
105	0,006	0,013	0,019	0,025	0,032	0,038	0,044	0,050	0,057	0,063	0,069	0,076
110	0,007	0,013	0,020	0,026	0,033	0,040	0,046	0,053	0,059	0,066	0,073	0,079
115	0,007	0,014	0,021	0,028	0,035	0,041	0,048	0,055	0,062	0,069	0,076	0,083
120	0,007	0,014	0,022	0,029	0,036	0,043	0,050	0,058	0,065	0,072	0,079	0,086
125	0,008	0,015	0,023	0,030	0,038	0,045	0,053	0,060	0,068	0,075	0,083	0,090
130	0,008	0,016	0,023	0,031	0,039	0,047	0,055	0,062	0,070	0,078	0,086	0,094
135	0,008	0,016	0,024	0,032	0,041	0,049	0,057	0,065	0,073	0,081	0,089	0,097
140	0,008	0,017	0,025	0,034	0,042	0,050	0,059	0,067	0,076	0,084	0,092	0,101
145	0,009	0,017	0,026	0,035	0,044	0,052	0,061	0,070	0,078	0,087	0,096	0,104
150	0,009	0,018	0,027	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090	0,099	0,108
155	0,009	0,019	0,028	0,037	0,047	0,056	0,065	0,074	0,084	0,093	0,102	0,112
160	0,010	0,019	0,029	0,038	0,048	0,058	0,067	0,077	0,086	0,096	0,106	0,115
165	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,059	0,069	0,079	0,089	0,099	0,109	0,119
170	0,010	0,020	0,031	0,041	0,051	0,061	0,071	0,082	0,092	0,102	0,112	0,122
175	0,011	0,021	0,032	0,042	0,053	0,063	0,074	0,084	0,095	0,105	0,116	0,126
180	0,011	0,022	0,032	0,043	0,054	0,065	0,076	0,086	0,097	0,108	0,119	0,130
185	0,011	0,022	0,033	0,044	0,056	0,067	0,078	0,089	0,100	0,111	0,122	0,133
190	0,011	0,023	0,034	0,046	0,057	0,068	0,080	0,091	0,103	0,114	0,125	0,137
195	0,012	0,023	0,035	0,047	0,059	0,070	0,082	0,094	0,105	0,117	0,129	0,140
200	0,012	0,024	0,036	0,048	0,060	0,072	0,084	0,096	0,108	0,120	0,132	0,144
205	0,012	0,025	0,037	0,049	0,062	0,074	0,086	0,098	0,111	0,123	0,135	0,148
210	0,013	0,025	0,038	0,050	0,063	0,076	0,088	0,101	0,113	0,126	0,139	0,151
215	0,013	0,026	0,039	0,052	0,065	0,077	0,090	0,103	0,116	0,129	0,142	0,155
220	0,013	0,026	0,040	0,053	0,066	0,079	0,092	0,106	0,119	0,132	0,145	0,158
225	0,014	0,027	0,041	0,054	0,068	0,081	0,095	0,108	0,122	0,135	0,149	0,162
230	0,014	0,028	0,041	0,055	0,069	0,083	0,097	0,110	0,124	0,138	0,152	0,166
235	0,014	0,028	0,042	0,056	0,071	0,085	0,099	0,113	0,127	0,141	0,155	0,169
240	0,014	0,029	0,043	0,058	0,072	0,086	0,101	0,115	0,130	0,144	0,158	0,173
245	0,015	0,029	0,044	0,059	0,074	0,088	0,103	0,118	0,132	0,147	0,162	0,176
250	0,015	0,030	0,045	0,060	0,075	0,090	0,105	0,120	0,135	0,150	0,165	0,180
255	0,015	0,031	0,046	0,061	0,077	0,092	0,107	0,122	0,138	0,153	0,168	0,184
260	0,016	0,031	0,047	0,062	0,078	0,094	0,109	0,125	0,140	0,156	0,172	0,187
265	0,016	0,032	0,048	0,064	0,080	0,095	0,111	0,127	0,143	0,159	0,175	0,191
270	0,016	0,032	0,049	0,065	0,081	0,097	0,113	0,130	0,146	0,162	0,178	0,194
275	0,017	0,033	0,050	0,066	0,083	0,099	0,116	0,132	0,149	0,165	0,182	0,198
280	0,017	0,034	0,050	0,067	0,084	0,101	0,118	0,134	0,151	0,168	0,185	0,202
285	0,017	0,034	0,051	0,068	0,086	0,103	0,120	0,137	0,154	0,171	0,188	0,205
290	0,017	0,035	0,052	0,070	0,087	0,104	0,122	0,139	0,157	0,174	0,191	0,209
295	0,018	0,035	0,053	0,071	0,089	0,106	0,124	0,142	0,159	0,177	0,195	0,212
300	0,018	0,036	0,054	0,072	0,090	0,108	0,126	0,144	0,162	0,180	0,198	0,216