



**TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA**

**Kone- ja tuotantotekniikka**

**Energiatekniikka**

**INSINÖÖRITYÖ**

**SORVIN VOIMANMITTAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO**

**Työn tekijä: Esa Koli  
Työn valvoja: Tomi Hämäläinen  
Työn ohjaaja: Tomi Hämäläinen**

**Työ hyväksytty: \_\_. \_\_. 2008**

**Tomi Hämäläinen  
Laboratorioinsinööri**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinööriyö tehtiin Helsingin ammattikorkeakoululle. Haluan kiittää projektissa mukana olleita henkilöitä sekä perheenjäseniäni suunnattomasta avusta ja kärsivällisyydestä. Kiitokset menevät Markku Jantuselle, Markku Laukalle, vahtimestarille ja konelaboratorion porukalle. Erityisesti haluan kiittää laboratorioinsinööri Tomi Hämäläistä, jonka apu on tämän projektin edetessä ollut korvaamatonta.

Helsingissä 24.1.2008

Esa Koli

## INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Esa Koli	
Työn nimi: Sorvin voimanmittausjärjestelmän käyttöönotto	
Päivämäärä: 24.1.2008	Sivumäärä: 30 s. + 8 liitettä
Koulutusohjelma: Konetekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Energiatekniikka
Työn valvoja: Tomi Hämäläinen Työn ohjaaja: Tomi Hämäläinen	
<p>Tämä työ tehtiin Helsingin ammattikorkeakoulun Konepajatekniikan laboratoriolle. Työn tavoitteena oli saada laboratoriossa olevaan sorviin kiinnitettävä voimanmittausjärjestelmä käyttökuntoon.</p> <p>Aluksi perehdyttiin sorvin rakenteeseen ja toimintaan, sekä opeteltiin sorvausarvojen valintaa ja sorvin käyttöä. Samalla selvitettiin lastuamisvoimiin vaikuttavia tekijöitä. Näistä tekijöistä mielenkiintoisin on terän kuluminen, joka kasvattaa lastuamisvoimia ja samalla heikentää työn jälkeä. Näin ollen lastuamisvoimia seuraamalla voidaan päätellä terän kunto ja määrittää sopiva hetki sen vaihtamiseksi.</p> <p>Työn seuraavassa vaiheessa perehdyttiin mittauslaitteistoon, johon sisältyi voima-anturi, erikoiskaapeli, signaalinvahvistin sekä tietokoneeseen liitetty mittauskortti. Työtä varten rakennettiin alusta asti täysin uusi mittausohjelma käyttäen <i>LabView</i>-ohjelmaa. Ohjelman toimintaa testattiin sorvaamalla samoilla lastuamisarvoilla kahta samankokoista kappaletta, jotka olivat eri materiaaleja.</p> <p>Työn tulokseksi saatiin toimiva ja opetuskäyttöön sopiva mittausohjelma, jonka tulokset ovat vertailukelpoisia kirjallisuudessa ilmoitettujen ominaislastuamisvoimien kanssa.</p>	
Avainsanat: sorvi, sorvaus, anturi, voimanmittaus, LabView, mittaus, mittaaminen	

## ABSTRACT

Name: Esa Koli	
Title: The Commissioning of a Dynamometry Unit for Turning Machine	
Date: 24.1.2008	Number of pages: 30 + 8 appendices
Department: mechanical engineering	Study Programme: energy technology
Instructor: Tomi Hämäläinen	
Supervisor: Tomi Hämäläinen	
<p>This thesis was made for workshop technique laboratories of Helsinki Polytechnic. The main objective was to put a dynamometry unit of a turning machine in working order.</p> <p>At first, my purpose was to familiarize myself with the structure and operation of a turning machine. I also had to learn how to choose correct turning values and how to use the machine itself. At the same time, I was trying to find out more about the properties of the forces that occur during the turning process and the various aspects that have an effect on them.</p> <p>The most noteworthy of these aspects was the wearing of the blade that was used in the turning machine. The more the blade wears, the more the forces increase. Wearing of the blade is fairly important to know, because if the blade is in poor condition, then the quality of work might also suffer. By following the turning forces, you can choose better an appropriate moment to change the blade.</p> <p>In the next phase of this project, I'd to familiarize myself with the measurement equipment, I was about to use. These equipment were: a sensor, a special cable, a signal amplifier and a measurement card, which was attached to a computer. Then I'd to build a new measurement program from scratch, with software called Labview. After the program was done, I tested it by turning two similar metal pieces, that were different material, and using same turning values on both of them.</p> <p>For the result, I got a working dynamometry unit, which results are comparable with the results in literature. The unit is also very suitable for educational purposes.</p>	
Keywords: turning, force, measurement, LabView	

## SISÄLLYS

### ALKULAUSE

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### YKSIKKÖJEN LYHENTEET

### KAAVALUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SORVAUS</b>	<b>1</b>
<b>2.1</b>	<b>Sorvin osat</b>	<b>2</b>
2.1.1	<i>Kärkisorvin runko</i>	2
2.1.2	<i>Karapylkkä</i>	3
2.1.3	<i>Syöttövaihteisto</i>	4
2.1.4	<i>Teräkelkka</i>	5
2.1.5	<i>Siirtopylkkä</i>	6
<b>2.2</b>	<b>Sorvausarvojen valinta</b>	<b>7</b>
2.2.1	<i>Lastuamishopeus</i>	7
2.2.2	<i>Syöttö ja lastuamissyvyys</i>	8
<b>2.3</b>	<b>Lastuamisvoimat</b>	<b>8</b>
<b>2.4</b>	<b>Lastuttava materiaali</b>	<b>9</b>
<b>2.5</b>	<b>Lastuamisarvot</b>	<b>10</b>
<b>2.6</b>	<b>Terä</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>PROJEKTIN VALMISTELEVAT TOIMENPITEET</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>ANTURIT</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>MITTAUSOHJELMAN RAKENNE</b>	<b>18</b>
<b>5.1</b>	<b>Alkuasetukset</b>	<b>18</b>
<b>5.2</b>	<b>Kalibrointi ja <i>Case Structure</i>-kehys</b>	<b>20</b>
<b>5.3</b>	<b>Maksimi- ja minimiarvon etsiminen</b>	<b>21</b>
<b>5.4</b>	<b>Keskiarvojen laskeminen</b>	<b>22</b>
<b>5.5</b>	<b>Mittaustulosten tallentaminen</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>OHJELMAN TESTAUS</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>28</b>

**VIITELUETTELO**

**29**

**LIITELUETTELO**

**30**

## YKSIKKÖJEN LYHENTEET

$v$  lastuamisnopeus (m/min)

$n$  pyörimisnopeus (1/min)

$\emptyset$  halkaisija (mm)

$d$  halkaisija (m)

$s$  syöttö (mm)

$a$  lastuamissyvyys (mm)

$F_p = F_X = F_R$  Passiivivoima (N)

$F_f = F_Z = F_A$  Syöttövoima (N)

$F_c = F_Y = F_T$  Päälastuamisvoima (N)

$K_c$  materiaalin ominaislastuamisvoima ( $N/mm^2$ )

$K_{c1.1}$  materiaalin ominaislastuamisvoima kun  $s$  ja  $a$  ovat 1 mm ( $N/mm^2$ )

$K_{c0.4}$  materiaalin ominaislastuamisvoima kun  $s$  on 0,4 mm ( $N/mm^2$ )

## KAAVALUETTELO

1.  $n[1/\text{min}] = \frac{30000}{\phi[\text{mm}]}$  pyörimisnopeuden nyrkkisääntö kovametalliterille
2.  $n[1/\text{min}] = \frac{6000}{\phi[\text{mm}]}$  pyörimisnopeuden nyrkkisääntö pikaterästerille
3.  $v = \pi \cdot d \cdot n$  lastuamisnopeuden kaava
4.  $s : a = 1 : 6 - 1 : 10$  syötön ja lastuamissyvyyden välinen suhde
5.  $F_c = a \cdot s \cdot k_c$  päälastuamisvoiman laskeminen ominaislastuamisvoiman avulla



## 1 JOHDANTO

Kone- ja tuotantotekniikassa halutaan välttää työstölaitteiston pitkiä seisokkiaikoja, joita terän rikkoutuminen kesken prosessin mahdollisesti aiheuttaa. Lastuamisvoimia mittaamalla voidaan päätellä käytössä olevan terän kunto ja elinikä. Kokemuksesta on voitu havaita terän kulumisen kasvattavan lastuamisvoimia, eli kun lastuamisvoimat rupeavat kasvamaan nopeasti, voidaan todeta terän käyttöajan olevan lopussa. Tällöin terä voidaan vaihtaa hallituissa olosuhteissa ennen sen rikkoutumista ja näin ehkäistään rikkoutumisen aiheuttamat mahdolliset vauriot ja tästä johtuvat suuremmat huoltoseisokit. Liian huonokuntoisella terällä ajaminen saattaa johtaa myös työn laadun heikkenemiseen. Täten terän kulumista seuraamalla pystytään säästämään rahaa ja pitämään työn laatu vaaditulla tasolla.

Tämän työn tavoitteena on saada Helsingin ammattikorkeakoulun laboratoriossa oleva, terän voimanmittausjärjestelmä käyttökuntoon. Työhön kuuluu kärkisorviin ja mittausjärjestelmään tutustuminen sekä uuden mittausohjelman tekeminen *LabView 8.2* -ohjelmalla ja tämän avulla suoritettu koemittausarja. Valmis ohjelma muutetaan exe-muotoon ja luovutetaan opetuskäyttöön Helsingin ammattikorkeakoulun konepajatekniikan laboratoriolle.

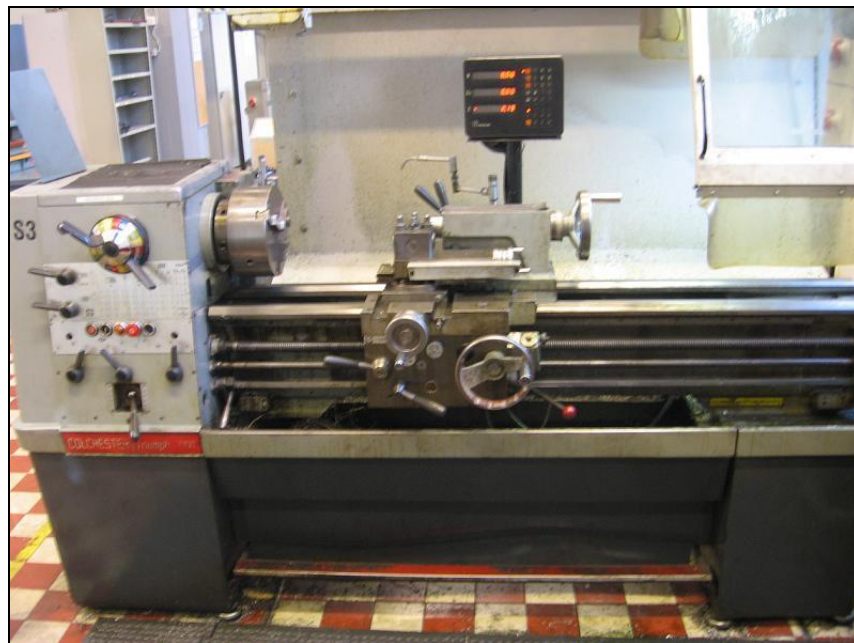
## 2 SORVAUS

Sorvaaminen on lastuava työstömenetelmä. Sorvaamalla valmistetuilla kappaleilla on tavallisesti ympyrän muotoinen poikkileikkaus. Ne ovat siis ns. pyörähdyskappaleita, kuten akselit, kiekot, ruuvit, kartiot, holkit, renkaat yms.

Työkappale kiinnitetään sorvissa esimerkiksi istukkaan, joka saadaan pyöriivään liikkeeseen. Lastuavana työkaluna on sorvin teräkelkkaan kiinnitetty terä, joka suorittaa lastuamisen.

## 2.1 Sorvin osat

Kärkisorvi on perinteinen konepajojen yleistyöstökone (kuva 1). Ne ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja joustavuutensa ansiosta soveltuvat edelleen yksittäiskappaletuotantoon. Ne ovat myös kustannuksiltaan edullisia ja käyttövarmoja, eikä niiden huolto edellytä erityisosaamista. Kärkisorvi soveltuu myös erinomaisesti konepajatekniikan opetuskäyttöön, sillä niissä ovat sorvien rakenteet ja toimilaitteet selkeästi esillä, toisin kuin koteloiduissa NC-sorveissa. Kärkisorvin viisi pääosaa ovat: runko, karapyykkä, syöttövaihteisto, teräkelkka sekä siirtopylkkä. /1, s. 189./



Kuva 1. Perinteinen konepajojen yleistyöstökone: Colchester Student -kärkisorvi.

### 2.1.1 Kärkisorvin runko

Runko on sorvin perusosa. Se on varustettu joko kotelomaisella jalustalla tai kaappijaloilla. Rungon varassa ovat sorvin muut osat, ja sen tehtävänä on varmistaa karassa pyörivän kappaleen ja lastuavan työkalun vakaa ja tarkasti ohjattu keskinäinen liike. Tämän johdosta rungon on oltava erittäin tukeva ja jäykkä. Se on tavallisesti valmistettu valuraudasta.

Rungon yläpinnassa on sorvin pitkittäisjohteet. Ulommat johteet ovat teräkelkkaa ja sisemmät johteet siirtopylkkää varten. Johteet on valmistettu ko-

neistamalla ja yleensä ne ovat tarkkuushiottuja. Lisäksi ne usein pintakarkaistaan tai niissä käytetään erityisiä karkaistuja ja hiottuja teräksisiä johde-kiskoja. /2, s.166–168./

### 2.1.2 Karapylkkä

Karapylkkä (kuva 2) on kiinteästi asennettu rungon päälle sorvin vasempaan päähän. Karapylkän pääosat ovat runko, pääkara, laakerit ja karan pyörimisnopeuden vaihteisto.

Pääkara on laakeroitu karapylkän runkoon ja sen oikeanpuoleiseen päähän kiinnitetään sorvin istukka (kuva 3) tai laikka.

Pyörimisliike saadaan siirretyksi sorvin jalustassa sijaitsevalta käyttömoottorilta pääkaralle kiilahihnavälityksen avulla. Kanan pyörimisnopeus on lisäksi voitava valita työstettävän kappaleen mukaan, joten sorvissa on lisäksi vaihteisto. Pyörimisnopeusalue pienehkössä kärkeisorvissa on esim. 30 - 2500 1/min. /2, s. 166–168./



Kuva 2. Colchester-sorvin karapylkkä ja syöttövaihteisto. Hallintolaitteet vaihtelevat malleittain.

Kärkisorvin karojen laakerit ovat perinteisiä vierintälaakereita tarkempia erikoislaakereita. Tavallisimmin käytetään sekä rulla- että kuulalaakereita. Aksiaalivoimat laakeroidaan joko erillisillä painelaakereilla tai kartiomaisilla rullalaakereilla. Erikoistarkat laakerit ovat edellytys heitottomille kappaleille. Pienet laakerivälkykset eliminoivat karan värähtelyä ja parantavat sorvattavien kappaleiden pinnankarheutta. /1, s. 197./



*Kuva 3. Kolmileukaistukka, johon työkappale kiinnitetään. Yleisesti on käytössä myös nelileukaistukoita.*

### 2.1.3 Syöttövaihteisto

Syöttövaihteisto antaa teräkelkalle halutun suuruisen koneellisen syöttöliikkeen, joka saadaan siirtämällä pääkaran pyörimisliike karapylkän takapäädessä olevalla hammaspyörävaihteistolla syöttökaraan, sekä johtoruuviin. Ne sijaitsevat rungon edessä pitkittäisjohteiden suuntaisesti. Syöttökaralla saadaan aikaan konesyöttö ja johtoruuvilla kierresyöttö. Vaihteistossa on useita hammaspyöriä, joiden avulla saadaan aikaan haluttu syöttö tai kierrenousu. Nämä valitaan valintavipujen avulla käyttäen hyväksi vipujen yhteydessä olevia valintataulukoita ja symboleja. /2, s. 167./

#### 2.1.4 Teräkelkka

Teräkelkka (kuva 4) on sorvin rungossa olevien pitkittäisjohteiden päällä liikkuva kelkka, jolla saadaan aikaan siihen kiinnitetyn terän syöttö- ja asetusliikkeet. Teräkelkan pääosat ovat pitkittäiskelkka, poikittaiskelkka, kääntökelkka ja lukkolevy.

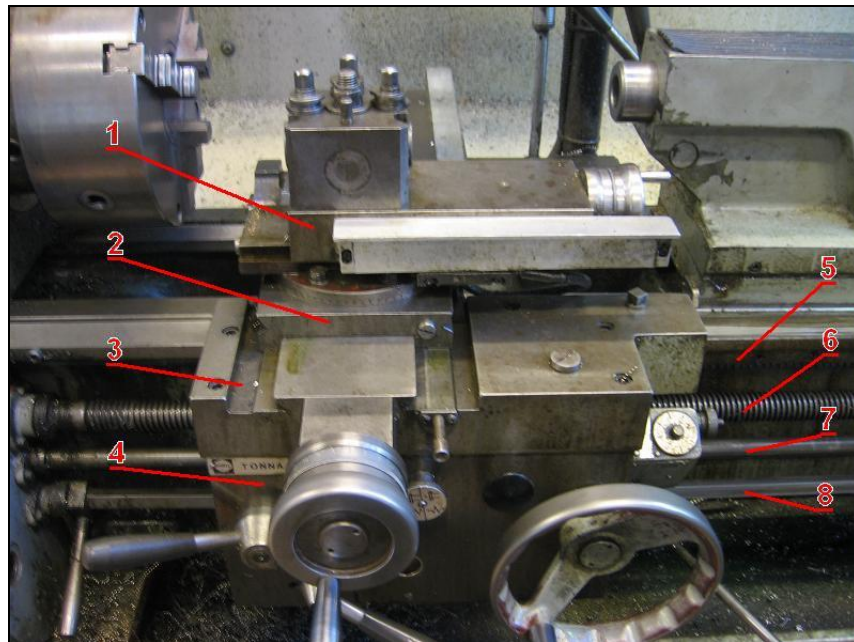
Pitkittäiskelkka liikuu pitkittäisjohteilla, joita kelkkaan kiinnitetty lastunpyyhkimet pitävät puhtaina. Sitä liikutetaan sorvin pitkittäissuunnassa joko käsipyörää pyörittämällä tai koneellisesti syöttökaran tai johtoruuvien välityksellä. Tarpeen mukaan kelkka voidaan myös lukita paikoilleen, jotta se ei pääsisi liikkumaan sivusuunnassa.

Poikittaiskelkka eli tasokelkka liikuu poikittaisjohteilla, jotka on kiinnitetty pitkittäiskelkan yläpintaan. Poikittaiskelkan liike on täysin kohtisuorassa pitkittäiskelkan liikkeeseen nähden, ja myös sen liike saadaan aikaan joko käsikampea pyörittämällä tai koneellisesti syöttökaran välityksellä. Myös poikittaiskelkan liike on lukittavissa.

Kääntökelkka eli yläkelkka sijaitsee poikittaiskelkan päällä, ja sitä voidaan kiertää poikittaiskelkkaan kiinnitetyn akselin ympäri vaakatasossa. Kelkka lukitaan ympyrän muotoisessa T-urassa olevilla ruuveilla.

Pitkittäiskelkan etureunaan on kiinnitetty kotelomainen lukkolevy, jonka etupuolelle on sijoitettu lähes kaikki teräkelkan hallintalaitteet. Käsipyörien lisäksi siinä on konesyötön ja kierresyötön valinta- ja kytkentävivut, mahdolliset pikaliikkeiden kytkentävivut sekä karan käynnistys- ja suunnanvaihtokytkin.

Lukkolevyn sisällä olevat hammaspyörät ym. laitteet muuttavat syöttökaran pyörivän liikkeen pitkittäis- ja poikittaiskelkkojen syöttöliikkeiksi. Lukkolevyssä on suojalukituslaite, joka estää syöttökaran ja johtoruuvien samanaikaisen käytön. /2, s. 167–168./



Kuva 4. Teräkelkan rakenne.

1	Kääntökelkka
2	Poikittaiskelkka
3	Pitkittäiskelkka
4	Lukkolevy
5	Hammastanko
6	Johtoruuvi
7	Syöttökara
8	Käynnistinkara

### 2.1.5 Siirtopylkkä

Siirtopylkkä eli kärki-työkalu liikkuu myös sorvin rungossa olevien pitkittäisjohteiden päällä. Siirtopylkkä toimii joko työkalujen, kuten porien, väljentimien tai kalvaimien, kiinnittimenä tai työstettävän kappaleen tukipisteenä. Siirtopylkkänsä pääosat ovat runko ja työnnin eli pinooli. Runko on kaksiosainen: peruslaatta on lukittavissa sorvin johteisiin halutulle kohdalle ja rungon yläosa voidaan säätää peruslaatan päällä sivuttaissuunnassa ja lukita paikoilleen. Työnnin liikkuu sorvin pituussuunnassa käsipyörän avulla ja sen liike voidaan lukita vivun avulla. Työntimen päässä on morsekartiolla varustettu reikä, johon työkalu kiinnitetään. /2, s. 168./

## 2.2 Sorvausarvojen valinta

### 2.2.1 Lastuamisnopeus

Lastuamisnopeudeksi kutsutaan sitä nopeutta, jolla sorvattava työkappale liikkuu teränsuun ohi. Sitä ei voida suoraan valita sorvin hallintalaitteista, mutta sen tietäminen on välttämätöntä pyörimisnopeutta määrättäessä. Siksi se on valittava ensimmäiseksi.

Lastuamisnopeuden valintaan vaikuttavat ensisijaisesti haluttu lastun muoto sekä sorvattavan työkappaleen ja terän raaka-aine. Poikkipinta-alaltaan pieni lastu irtoaa helpommin ja sallii näin suuremman lastuamisnopeuden kuin suuri lastu. Jos sorvattavana on kova ja luja työkappale, kuumentaa se sorvin terää enemmän kuin pehmeää ja helposti leikkautuvaa raaka-ainetta oleva kappale. Jotta terää ei jouduttaisi vaihtamaan tai teroittamaan liian usein, pitää koville ja lujille aineille valita pienempi lastuamisnopeus kuin pehmeille. Pikaterästä oleva terä menettää kovuutensa paljon matalammassa lämpötilassa kuin kovametalli. Lastuamisnopeuden valinnalla voidaan estää myös terän liiallinen kuumeneminen ja vaurioituminen. /2, s. 219–220./

Ennen lastuamisnopeuden laskemista on selvítettävä tarvittava pyörimisnopeus. Tämä puolestaan riippuu kappaleen halkaisijasta sekä terän materiaalista. Pyörimisnopeuden selvittämiseksi on kehitetty kaksi terämateriaalista riippuvaa nyrkkisääntöä, kaava 1, joka on tarkoitettu kovametalliterille, ja kaava 2, joka on tarkoitettu pikaterästerille:

$$n[1/\text{min}] = \frac{30000}{\phi[\text{mm}]} \quad (1)$$

$$n[1/\text{min}] = \frac{6000}{\phi[\text{mm}]} \quad (2)$$

joissa  $n$  = pyörimisnopeus,  $\phi$  = kappaleen halkaisija.

Toinen näistä on tarkoitettu kovametalli- ja toinen pikaterästerille. Tämän jälkeen lastuamisnopeus voidaan laskea kaavalla 3:

$$v = \pi \cdot d \cdot n \quad (3)$$

jossa  $v$  = lastuamisnopeus,  $\pi$  = pii,  $d$  = kappaleen halkaisija,  $n$  = pyörimisnopeus.

### 2.2.2 Syöttö ja lastuamissyvyys

Syöttö on matka, jonka terä liikkuu yhden karan kierroksen aikana. Lastuamissyvyydellä tarkoitetaan sitä matkaa, kun terä siirretään kappaleen pinnasta sisäänpäin. Lastuamissyvyys valitaan usein työvaraa silmällä pitäen. Työvara rouhitetaan yhdellä tai useammalla kerralla siten, että tarvittaessa jää viimeistelyvara.

Syöttö ja lastuamissyvyys valitaan yleensä yhdessä ja niiden välinen suhde on tärkeä ottaa huomioon samoin kuin lastun poikkipinta-ala. Jotta lastu taipuisi helposti rintapintaa vasten, olisi syötön ja lastuamissyvyyden välisen suhteen hyvä olla välillä 1:6 - 1:10, joka on saatu kaavasta 4:

$$s : a = 1 : 6 - 1 : 10 \quad (4)$$

jossa  $s$  = syöttö

$a$  = lastuamissyvyys.

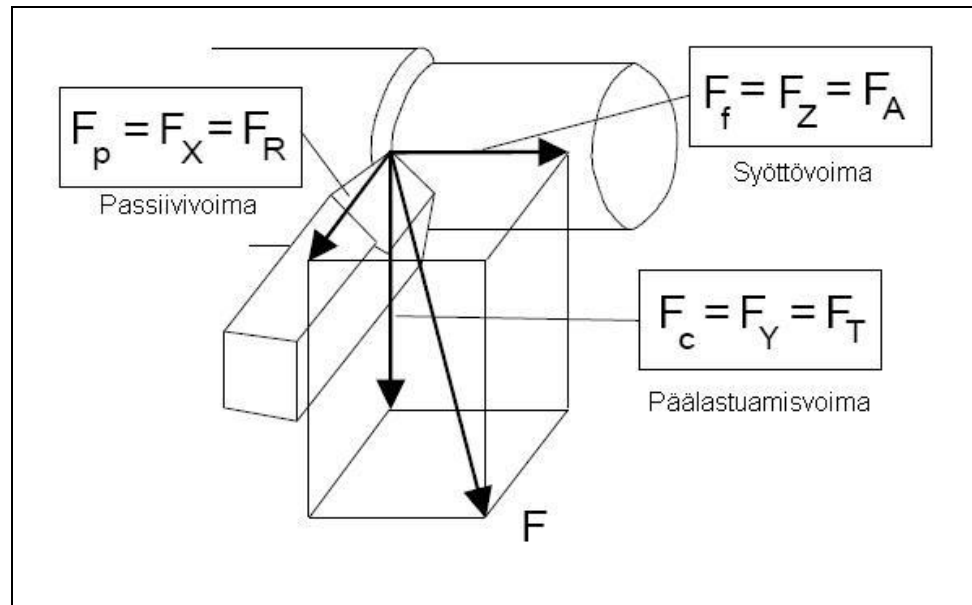
/2, s.222–223./

## 2.3 Lastuamisvoimat

Koska terän on irrotettava työkappaleesta lastua, tarvitaan liikkeen ylläpitämiseksi voimaa. Tämä voima kuormittaa sekä terää että työkappaletta. Sitä osaa voimasta, joka kuluu lastun irrottamiseen, nimitetään lastuamisvoimaksi. Lieriömäisen työkappaleen sorvauksessa lastuamisvoima jakaantuu kolmeksi sekä terään että työkappaleeksi vaikuttavaksi voimaksi.



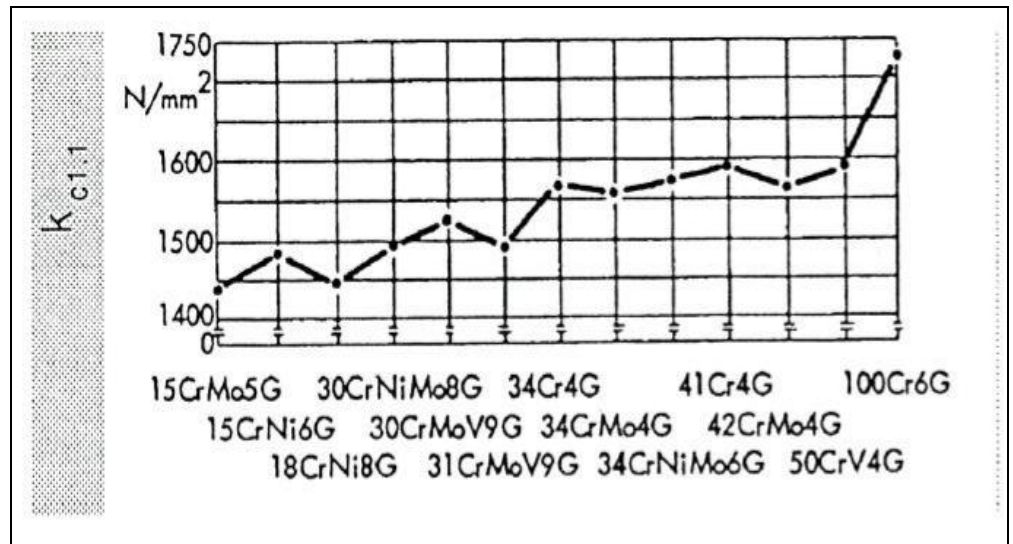
Kuvassa 5 on esitetty lastuamisvoiman suorakulmaiset komponentit. Terää alapäin painava voima on näistä suurin, ja sitä kutsutaan nimellä päälastuamisvoima. Terän varren suuntaan vaikuttaa passiivivoima, joka pyrkii työntämään terää irti työkappaleesta säteen suunnassa. Terän syöttöliikettä vastustaa puolestaan syöttövoima.



Kuva 5. Lastuamisvoiman suorakulmaiset komponentit /1, s. 14/

## 2.4 Lastuttava materiaali

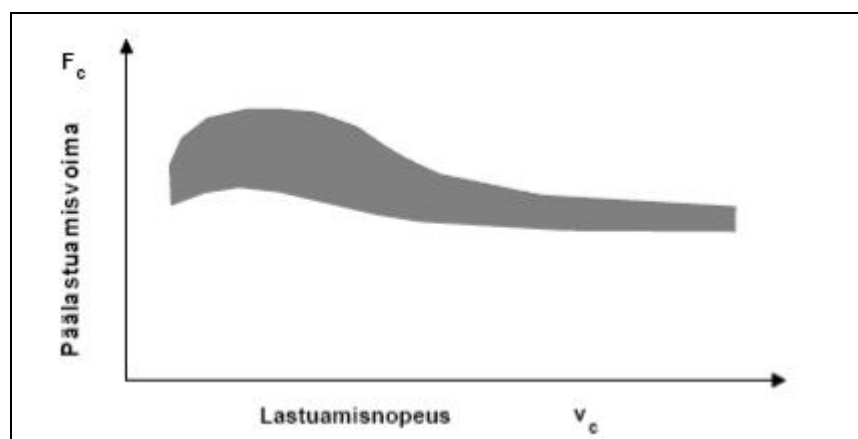
Jokaisella materiaalilla on oma ominaislastuamisvoimansa. Sillä tarkoitetaan voimaa, joka tarvitaan irrottamaan sellainen lastu, jonka poikkipinta on  $1 \text{ mm}^2$ . Ominaisleikkuuvoimaan vaikuttaa työstettävän raaka-aineen lujuus ja lastun poikkipinta-ala. Se on sitä suurempi, mitä lujempaa ja sitkeämpää aine on. Syötön lisääminen taas pienentää ominaisleikkuuvoimaa. Joillekin materiaalityypille on kehitetty kokemusperäisiä karkeita kaavoja ominaislastuamisvoimille, mutta ne ovat vain suuntaa antavia. Kuvassa 6 on niukkaseosteisen rakenneteräksen ominaislastuamisvoima hiili- ja kromipitoisuuden funktiona.



Kuva 6. Niukkaseosteisen rakenneteräksen ominaislastuamisvoima hiili- ja kromipitoisuuden funktiona /3, s. 12/

## 2.5 Lastuamisarvot

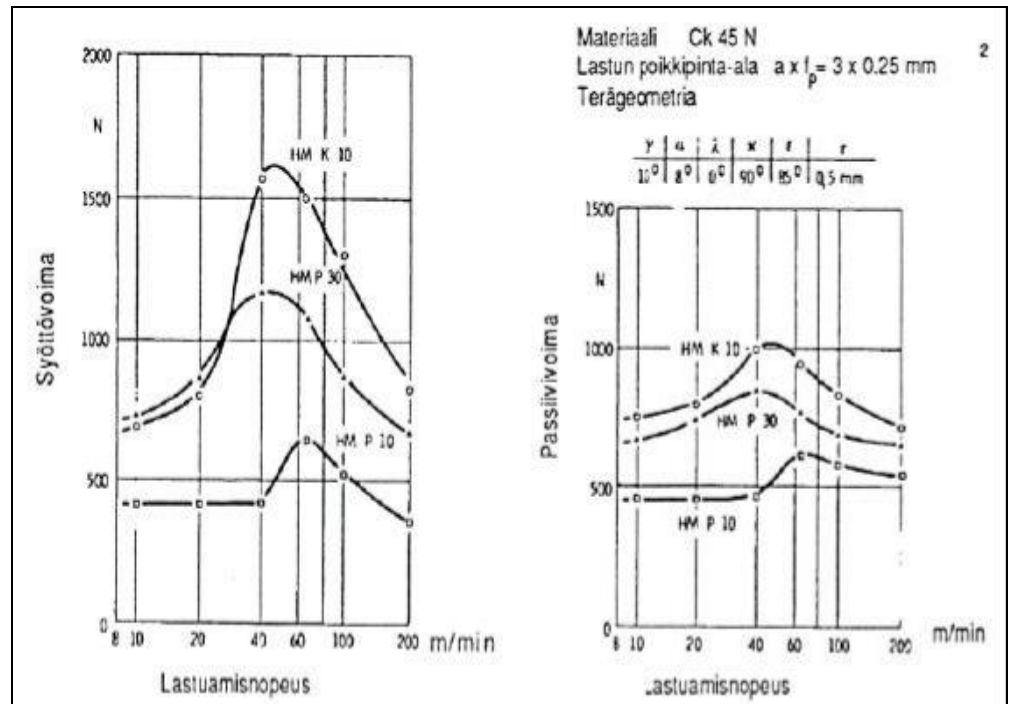
Lastuamissyvyys ja syöttö vaikuttavat suoraan lastun poikkipinta-alaan ja siten myös lastuamisvoimiin. Kuvassa 7 on esitetty lastuamisnopeuden vaikutus päälastuamisvoimaan.



Kuva 7. Päälastuamisvoima lastuamisnopeuden funktiona /1, s. 17/

Pienillä lastuamisnopeuksilla pää- ja ominaislastuamisvoimilla on suurin arvonsa, joka on noin 20 % suurempi kuin suuremmilla nopeuksilla. Tällöin

syntyy alhaisia lastuamislämpötiloja, mutta suuria pintapaineita. Tämä puolestaan johtaa irtosärmän muodostumiseen, eli työkappaleesta poistuva aines saattaa *hitsaantua* kiinni sorvin terään. Lastuamisnopeuden kasvaessa ominaislastuamisvoimat pienenevät, koska työstettävä kappale pehmenee lämpötilan noustessa.



Kuva 8. Syöttö- ja passiivoima lastuamisnopeuden funktiona eri terälaaduilla sorvattaessa /3, s. 14/

Lastuamisnopeus vaikuttaa myös syöttö- ja passiivivoimiin. Kuvassa 8 on erään materiaalin syöttö- ja passiivivoimat syöttönopeuden funktiona. Voimakuviot ovat samantapaisia kuin päälastuamisvoimalla. Voimien suuri hajonta eri terämateriaaleilla pienillä lastuamisnopeuksilla on todella suuri. Syy suureen hajontaan on irtosärmän muodostumisessa. /3, s. 14./

## 2.6 Terä

Terän vaikutus lastuamisvoimiin on erittäin suuri. Vaikuttavia tekijöitä ovat terän materiaali, kuluminen, sekä geometria. Taulukossa 1 on esitetty terän rinta- ja viettokulman vaikutus lastuamisvoimiin.

Taulukko 1. Rinta- ja viettokulman vaikutus lastuamisvoimiin /1, s. 19/

Vaikutussuureet	Lastuamisvoimien muutos astetta kohden		
	Päälastuamisvoima	Syöttövoima	Passiivivoima
↓ Rintakulma	↑ 1,5 %	↑ 5,0 %	↑ 4,0 %
	↑ 1,5 %	↑ 1,5 %	↑ 10,0 %
↑ Viettokulma	↓ 1,5 %	↓ 5,0 %	↓ 4,0 %
	↓ 1,5 %	↓ 1,5 %	↓ 10,0 %

Kun terä lastuaa, syntyy aina hankausta terän ja työstettävän kappaleen välillä. Tämän johdosta terä kuluu ja tylsyy. Jos työstämistä jatketaan tylsällä terällä, niin lopulta terä vaurioituu. Terää ei kannata vaihtaa tai teroittaa turhaan, mutta se on kuitenkin vaihdettava niin aikaisin, ettei työn laatu heikkene tai että teroittaminen on vielä helppoa.

Pikateräksellä ei saa sorvata niin kauan, että sen leikkusärmä tylsistyyssään "palaa" pilalle. Kovametalliterän kulumisviiste tai kulumiskuoppa ei saa myöskään kasvaa niin suureksi, että koko terän särmä murtuu. Viimeistelyterää ei voida käyttää yhtä kuluneena kuin rouhintaterää, koska työstön laatu sekä mittojen ja muodon tarkkuus edellyttävät terävää terää. Myöskään muoto- ja erikoisteriä ei saa päästää liian tylsiksi, jottei teroitus tule liian hankalaksi ja kalliiksi. Sen sijaan kovametalliset kääntöterät käytetään tylsiksi, koska niitä ei enää teroiteta.

Tärkeää on kuitenkin, että sorvaaja pystyy seuraamaan terän kulumista ja valitsemaan työstöarvot ja terälaadut niin, että lastuaminen on mahdollisimman tehokasta ja taloudellista. /4, s. 167–168./

### 3 PROJEKTIN VALMISTELEVAT TOIMENPITEET

Ennen mittausjärjestelmän rakentamisen aloittamista oli testattava, että käytettävä anturi, sekä signaalivahvistin (kuva 9) toimivat. Tämä onnistui helpoiten käyttämällä oskilloskooppia. Se sopi tarkoitukseen mainiosti, sillä se ei ole yhtä herkkä hajoamaan kuin tietokoneeseen liitettävä mittakortti, joka saattaa hajota jo yli 10 voltin virtapiikin takia.



Kuva 9. Kistler-signaalinvahvistin.

Aluksi voimadynamometri kiinnitettiin normaalisti sorviin sekä signaalivahvistimeen. Tämän jälkeen kanavan yksi ulostulo liitettiin vahvistimesta oskilloskooppiin. Kanava yksi valittiin sen takia, että sitä pitkin tulee päälastuamisvoiman mittaustiedot ja se on täten suurin kolmesta mitattavasta voimasta. Seuraavaksi tarkistettiin signaalivahvistimen asetukset, jotta anturilta tuleva signaali näkyisi oskilloskoopissa oikeassa suuruusluokassa. Sitten sorvilla työstettiin tavallista teräskappaletta ja samalla seurattiin reagoiko oskilloskoopin käyrä mitenkään sorvin terään kohdistuviin voimiin.

Tässä vaiheessa voitiin todeta oskilloskoopin havaitsevan terään kohdistuvia voimia, eli laitteistolla pystyttäisiin mittaamaan.

Seuraavaksi täytyi selvittää, antaako anturi oikean suuruisen tuloksen. Tätä testausta varten oli käytössä punnus, jonka tarkka paino oli tiedossa. Punnus on näkyvässä kuvassa 10. Tämä 11923 grammaa painava punnus oli tarkoitus laittaa roikkumaan anturiin kiinnitetystä sorvinteränvarresta ja katsoa, vastaavatko saadut tulokset punnuksen oikeaa painoa.



*Kuva 10. Noin 12 kg painava vertailupaino.*

Aluksi oli saatava valmiiksi mittausohjelman perusrunko, jolla pystyisi jo suorittamaan yksinkertaisia mittauksia. Tästä ns. raaka-versiosta puuttui vielä monta myöhemmin lisättävää ominaisuutta, kuten keskiarvojen laskeminen sekä maksimi- ja minimiarvojen löytäminen. Seuraavaksi oli ratkaistava, miten punnuksen saisi laitettua roikkumaan teränvarteen järkevästi. Vaikeuksia tässä asiassa tuottivat punnuksen fyysinen koko sekä sorvin rungon, teräkelkan ja johteiden ahtaus.

Myös anturin kaapeli osoittautui hyvin ongelmalliseksi, sillä sen kiinnityksestä johtuen se kulki suoraan teränvarren ali ja näin ollen esti laittamasta mitään roikkumaan kyseiseen teränvarteen. Silti testin mittausuunnaksi oli valittu päälastuamisvoiman suunta, joten kätevintä oli irrottaa anturi kokonaan sorvista ja laittaa se kiinni ruuvipenkkiin ylösalaisin. Tämä kiinnitys on näkyvässä kuvassa 11. Tällä kiinnitysratkaisulla saatettiin välttää kaikki mittaamis-

ta häiritsevät fyysiset esteet. Ainoa huomioon otettava seikka oli, että nyt mitattaisiin päälastuamisvoimaa vastakkaiseen suuntaan kuin normaalisti, joten tulokset tulisivat olemaan päinvastaisia kuin normaalisti, eli miinusmerkkisiä.



*Kuva 11. Anturi kiinnitettynä ruuvipenkkiin ylösalaisin ja punnus roikkuu teränvarressa.*

Taulukossa 2 on esitetty pieni osa vertailupunnuksella saaduista tuloksista. Kuvan oikeanpuoleisin sarake ilmoittaa mitatun päälastuamisvoiman. Kuten näkyy, on tulokseksi saatu noin 115,7 newtonia.

Taulukko 2. Ote vertailupainolla saaduista tuloksista (liite 1).

Passiivivoima	Syöttövoima	Päälastuamisvoima
-2,940	1,474	-114,931
-2,940	1,328	-115,223
-3,086	1,328	-114,931
-3,037	1,279	-115,028
-2,988	1,279	-115,028
-3,037	1,279	-115,223
-3,037	1,231	-114,834
-2,940	1,231	-115,126
-3,086	1,328	-115,028
-2,988	1,231	-115,126
-3,134	1,425	-114,834
-2,988	1,376	-115,126
-3,037	1,279	-115,028
-2,940	1,328	-115,223
-2,940	1,231	-114,834
-2,940	1,425	-114,737
-3,183	1,231	-114,931

#### 4 ANTURIT

Anturi muuttaa mitattavan suureen helpommin käsiteltävään, yleensä sähköiseen muotoon. Lämpötila-anturi esimerkiksi antaa lämpötilaan verrannollisen sähkösignaalin, mekaanisen näytön tai joskus muunkinlaisen signaalin. Antureilla mitataan erittäin monia suureita. Likimain kaikki fysiikan ilmiöt ovat anturitekniikassa käytössä. Anturitekniikka on siis laaja käsite, laajuudeltaan samantapainen kuin fysiikka.

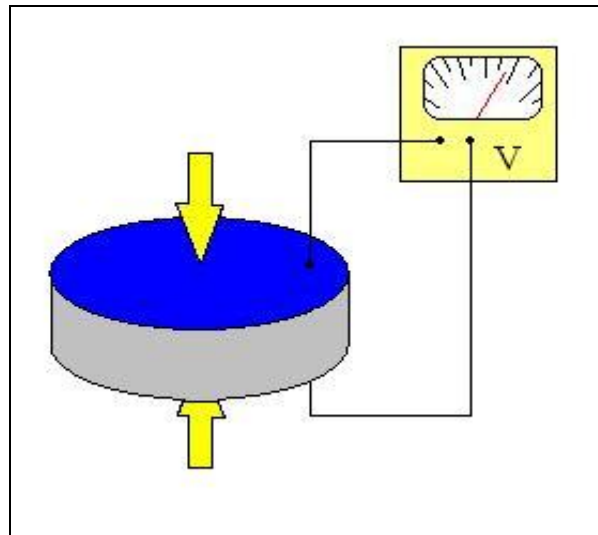
Anturit voidaan jakaa esimerkiksi aktiivisiin ja passiivisiin. Aktiiviset anturit kehittävät jännitettä (esim. termoelementti lämpötilaerosta), virtaa (esim. valodiodeja valosta) tai varausta (esim. pietsokide omasta muodonmuutoksestaan) ilman ulkoista virtalähdettä. Passiiviset anturit perustuvat vastusarvon, induktanssin tai kapasitanssin muuttumiseen mitattavan suureen funktiona. Koska tarvitaan apujännitelähde, passiivisen anturin ulostulojännite on mahdollista saada suhteellisen suureksi.

Anturit joutuvat toimimaan ympäristössä, jossa mittaustulokseen pyrkivät vaikuttamaan halutun suureen lisäksi muutkin ilmiöt. Näistä tavallisin on lämpötilan vaihtelu, mutta huomioon otettavia häiriölähteitä on paljon. Nämä



muodostavat anturitekniikan keskeisen ongelmakentän. Varsinkin teollisuudessa anturit joutuvat toimimaan monesti hankalassa ympäristössä. Ympäristö voi olla syövyttävä, tärisevä ja pölyinen. Kun haluttu suure on saatu muunnetuksi sähköiseen muotoon, mittaussignaalia tulevat häiritsemään lisäksi erilaiset sähköiset häiriöt. /5, s. 106–107./

Tässä työssä on käytössä pietsosähköinen voima-anturi, jonka toimintaperiaate on yksinkertainen (kuva 12). Pietsosähköistä kidettä puristettaessa siihen syntyy varaus, joka voidaan muuttaa jännitteeksi varausvahvistimella. Pietsosähköinen anturi soveltuu parhaiten dynaamisiin mittauksiin suurella taajuudella. Anturi on pienikokoinen ja jäykkä, mutta pitkäaikaisstabiilius on huono ja tarkkuus heikompi kuin venymäliuskoilla. Sen mittausalue ulottuu jopa 400 kN:iin asti. /5, s. 26./



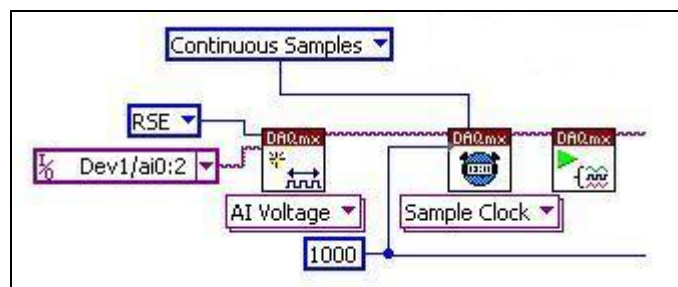
Kuva 12. Pietsosähköisen ilmiön periaate. Puristus aiheuttaa jännite-eron aineen vastakkaisten pintojen välille.

## 5 MITTAUSOHJELMAN RAKENNE

Mittausohjelman tekemiseen käytettiin mittalaittevalmistaja *National Instrumentsin* tekemää *LabView*-ohjelmaa. Kyseinen ohjelma antaa käyttäjälleen monipuoliset ja joustavat työkalut tarvittavan mittausohjelman tekemiseen, mutta se myös edellyttää käyttäjältään hyvää mittaustekniikan tuntemusta ja ongelmanratkontakykyä. Itse *LabView*-ohjelman käyttäminen on helppoa ja mutkatonta. Aluksi on etsittävä ohjelman valikoista sopivat rakennuspalikat, eli valmiita ohjelmapätkiä ja toimintoja ns. ”virtuaalisia instrumentteja”, joita on kuvattu sopivan näköisillä symboleilla. Nämä instrumentit asetetaan, tyhjää paperia kuvaavaa, valkoista taustaa vasten ja yhdistetään toisiinsa johdoilla. Samaan aikaan ohjelmalla luodaan etupaneeli (liite 2), jolla itse mittausohjelmaa tullaan käyttämään. Valmis diagrammi ohjelman rakenteesta löytyy liitteistä (liite 3).

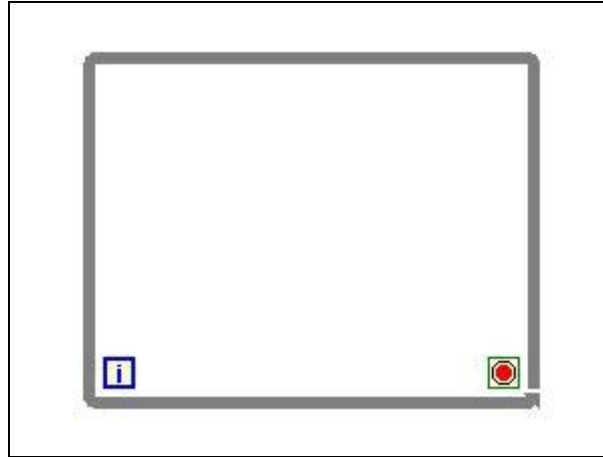
### 5.1 Alkuasetukset

Aivan aluksi on ohjelmalle annettava joitain perustoimintoja ja –tietoja (kuva 13). On luotava tarvittavat kanavat jännitteen mittausta varten sekä kerrottava mitä mittauskorttia ja minkäläistä johtoliitäntätyyppiä käytetään. Sitten määritetään näytteenottotaajuus ja ilmoitetaan, että ohjelman halutaan ottavan näytteitä niin kauan, kunnes se pysäytetään.



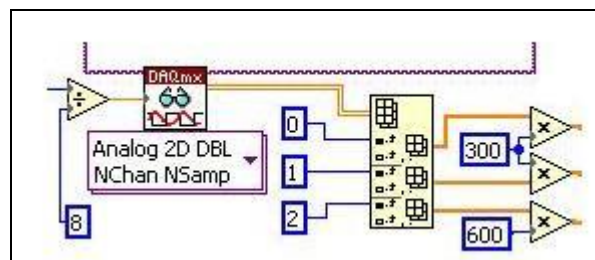
Kuva 13. Mittausohjelmalle annettavat perustiedot. Kuva on valmiista ohjelmasta.

Alkuasetusten jälkeen luodaan *While Loop* -kehys (kuva 14). Kehyksen tarkoituksena on toistuvasti suorittaa sen sisälle rakennetut toiminnot. Alkuasetuksia lukuun ottamatta melkein koko ohjelma tehdään kyseisen kehysten sisälle.



Kuva 14. Tyhjä *While Loop* -kehys.

Kuvassa 15 on esitetty mittauskanavien erittely. Tämä osa ohjelmasta on heti ensimmäisenä *While Loop* -kehysten sisällä. Siinä ohjelma lukee mitattavat kanavat ja jakaa ne erilleen. Samalla kanavien signaalit skaalataan oikeaan suuruusluokkaan.

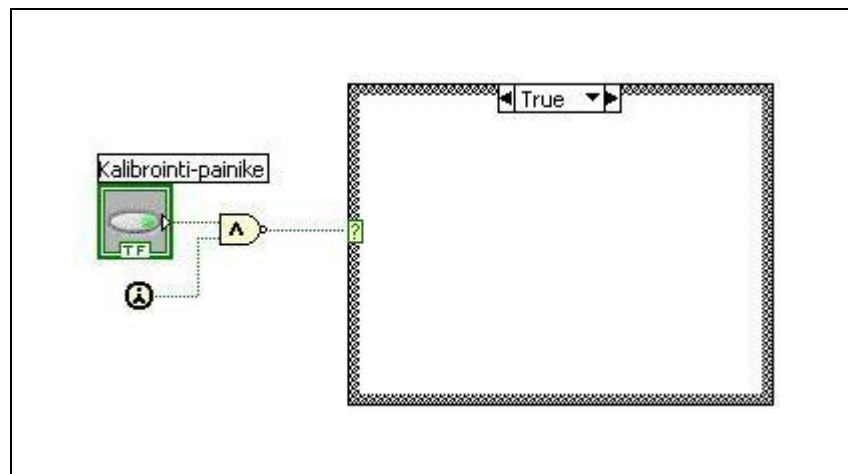


Kuva 15. Mittauskanavien erittely. Kuva on valmiista ohjelmasta

## 5.2 Kalibrointi ja *Case Structure*-kehys

Teränvarren kiinnitys aiheuttaa voimadynamometriin jatkuvaa puristusta päälastuamisvoiman suunnassa. Tämä tarkoittaa siis jatkuvaa virhettä mitaustuloksissa. Puristuksen vaikutuksen poistaminen hoituu kätevimmin jos otetaan *While Loopin* ensimmäisen kierroksen tulos talteen, jolloin terällä ei siis ole vielä kuormaa ja dynamometriin vaikuttaa ainoastaan teränvarren-kiinnityksen aiheuttama puristus. Tämä tulos vähennetään seuraavien kierrosten tuloksista.

Kaikki tämä onnistuu *Case Structure* -kehysten avulla, jonka sisälle melkein koko loppu ohjelma rakennetaan (kuva 16).



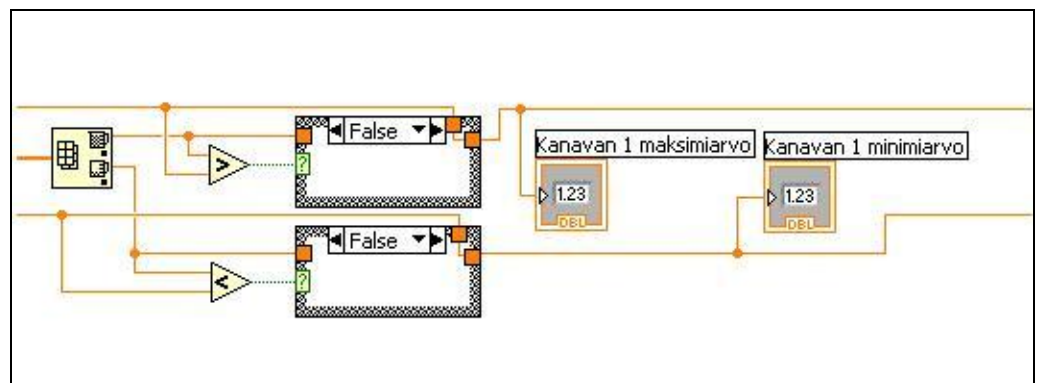
Kuva 16. Kalibrointi-painike sekä tyhjä *Case Structure* -kehys.

*Case Structure* on kehys, jolle tuodaan ohjaussignaalia. Kehyksessä on kaksi sivua, joille voi asettaa ohjelman virtuaali-instrumentteja. Sivuille rakennetut ohjelmat voivat poiketa toisistaan suuresti. Toista sivua käytetään silloin, kun ohjaussignaali pitää paikkaansa, ja toista puolestaan silloin, kun ohjaussignaali ei pidä paikkaansa. Sivut on nimetty nimillä *true* ja *false*, ja aina esillä olevan sivun nimi on näkyvillä kehysten ylälaudassa olevassa kyltissä.

Kuvassa 16 on näkyvillä ohjelmassa käytetty kalibrointipainike sekä siitä lähtevän ohjaussignaalin kytkentä. Mikäli kalibrointipainike on painettu päälle ohjelman etupaneelista, muuttuu ohjaussignaali epätodeksi mittauksen ensimmäisen kierroksen ajaksi. Tällöin *Case Structuren false*-sivu kääntyy päälle ja ohjelma suorittaa sivulla annetun tehtävän, eli se ottaa ylös virheellisen mittaustuloksen, joka vähennetään seuraavien kierrosten tuloksista. Ensimmäisen kierroksen jälkeen ohjaussignaali muuttuu jälleen todeksi, jolloin *true*-sivu tulee päälle ja ohjelma jatkaa mittaamista normaalisti.

### 5.3 Maksimi- ja minimiarvon etsiminen

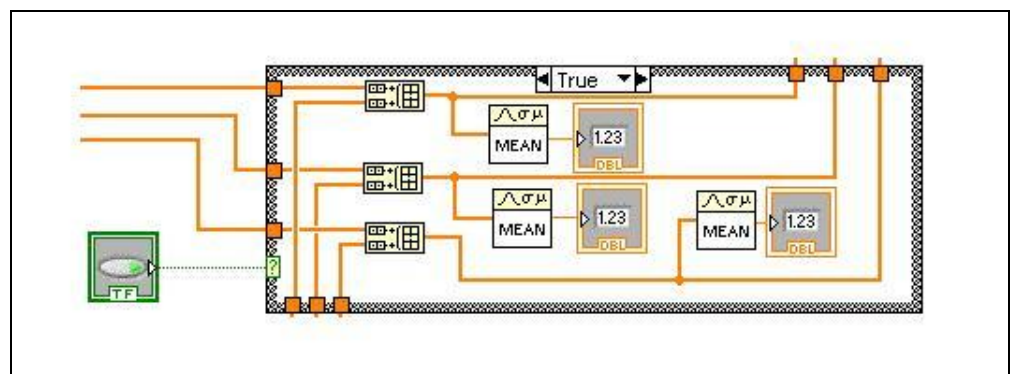
Kuvassa 17 on esitetty yhden mittauskanavan maksimi- ja minimiarvojen etsimisen periaate, jota on käytetty jokaisessa kanavassa. Siinä tähänastisista tuloksista saadut maksimi- ja minimiarvot kiertävät kehää *While Loopissa*, omaa johtoansa pitkin. Kuvan vasemmassa reunassa oleva instrumentti etsii jokaisen uuden mittauskierroksen tuloksista suurinta ja pienintä arvoa. Näitä uusia arvoja verrataan nykyisiin kehässä kiertäviin maksimi- ja minimiarvoihin. Jos jompikumpi uusista tuloksista ohittaa edellisen maksimi- tai minimiarvon, se korvaa vanhan arvon ja tämä uusi arvo rupeaa kiertämään kehää. Samalla tämä uusi tulos viedään numeronäytölle. Jos puolestaan uudet tulokset eivät ohita edellisiä arvoja, jatkavat aiemmat tulokset kehän kiertämistä.



Kuva 17. Maksimi- ja minimiarvon etsiminen. Kuva on valmiista ohjelmasta.

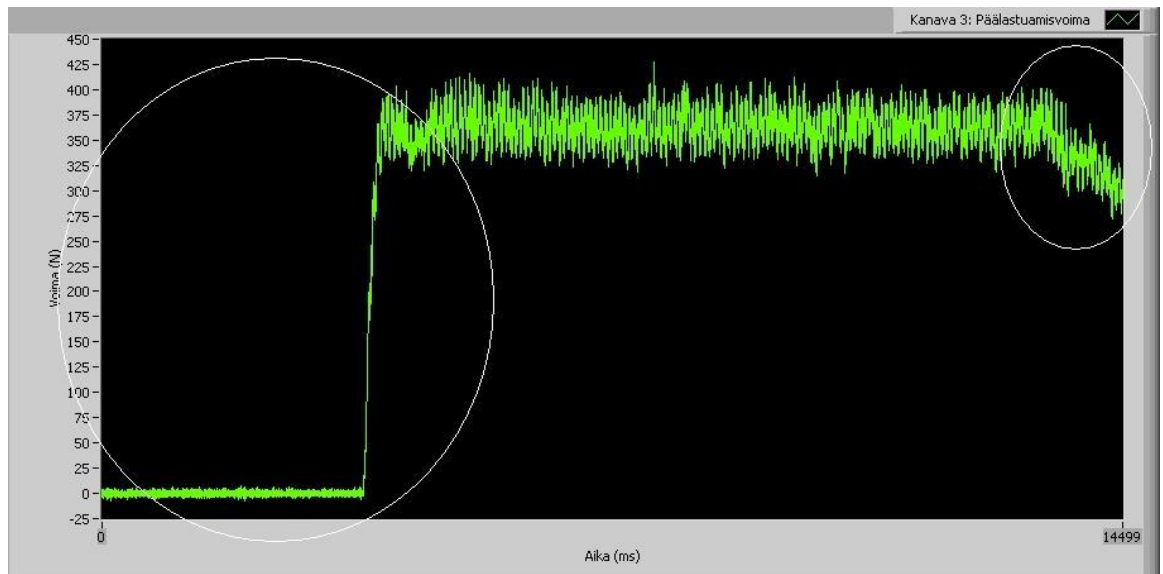
## 5.4 Keskiarvojen laskeminen

Kuvassa 18 on esitetty kaikkien kolmen kanavan keskiarvojen laskeminen. Se on kytkettävä päälle ja pois manuaalisesti mittauksen aikana. Tällöin saadaan vältettyä keskiarvon laskemiseen vääristävästi vaikuttavat mittaus-tulokset. Näitä ovat mm. mittaus tulokset ennen kontaktia, ensimmäisen kosketuksen mahdollisesti aiheuttama voimapiikki, syöttöliikkeen lopettaminen tai terän irrottaminen työkappaleesta. Kuvassa 19 on ympyröity nämä kohdat.



Kuva 18. Keskiarvon laskeminen. Kuva on valmiista ohjelmasta.

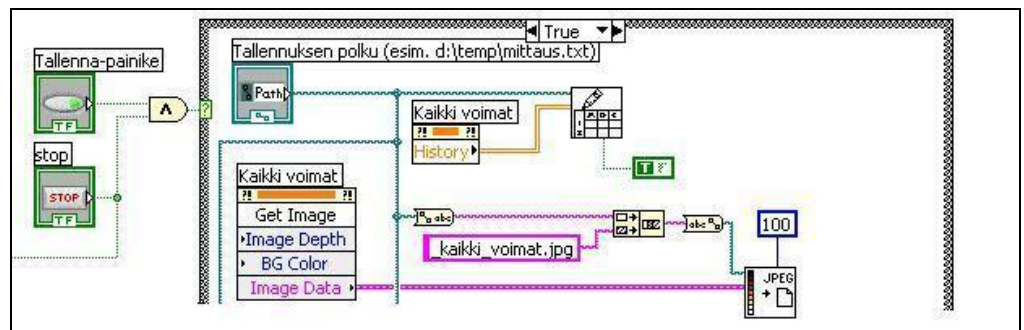
Keskiarvon laskeminen alkaa, kun mittausohjelman käyttäjä painaa etupaneelistä keskiarvopainikkeen päälle. Tällöin *Case Structure*n sisällä olevaan *Build Array* -instrumenttiin tuodaan kaikki napin painamisen jälkeisen mittauskierroksen tulokset ja *Mean*-instrumentti laskee niistä keskiarvot. Sitteen uuden mittauskierroksen taas alkaessa, *Build Array* -instrumenttiin tuodaan edellisen kierroksen tulokset ja lisätään niiden perään uudet tulokset, joista lasketaan uusi keskiarvo. Tämä prosessi jatkuu niin kauan kunnes, ohjelman käyttäjä painaa keskiarvopainikkeen pois päältä.



Kuva 19 Esimerkki päälastuamisvoiman kuvaajasta. Ympyröitynä keskiarvoa vääristävät kohdat.

## 5.5 Mittaustulosten tallentaminen

Mittaustulokset voidaan halutessa tallentaa tietokoneen kovalevyille. Kuvissa 20 ja 22 on esitetty ohjelmassa käytetyt kytkennät ja instrumentit eri mittaus-tietojen tallentamista varten. Jotta tulokset tallentuisivat, on ennen mittauksen käynnistämistä painettava Tallenna-painike päälle ja annettava tallennettavalle tiedostolle nimi sekä polku. Varsinainen tallennus tapahtuu kun ohjelma pysäytetään Stop-painikkeesta. Tällöin ohjelma tallentaa annettuun tiedostoon kaikki saadut mittaustulokset sekä luo omat tiedostot käyrien kuville ja mittaustiedoille. Mittaustietojen tiedostoon tallennetaan saadut maksimi-, minimi- ja keskiarvot.



Kuva 20. Esimerkki mittaustulosten ja yhden kuvan tallentamisesta. Kuva on valmiista ohjelmasta.

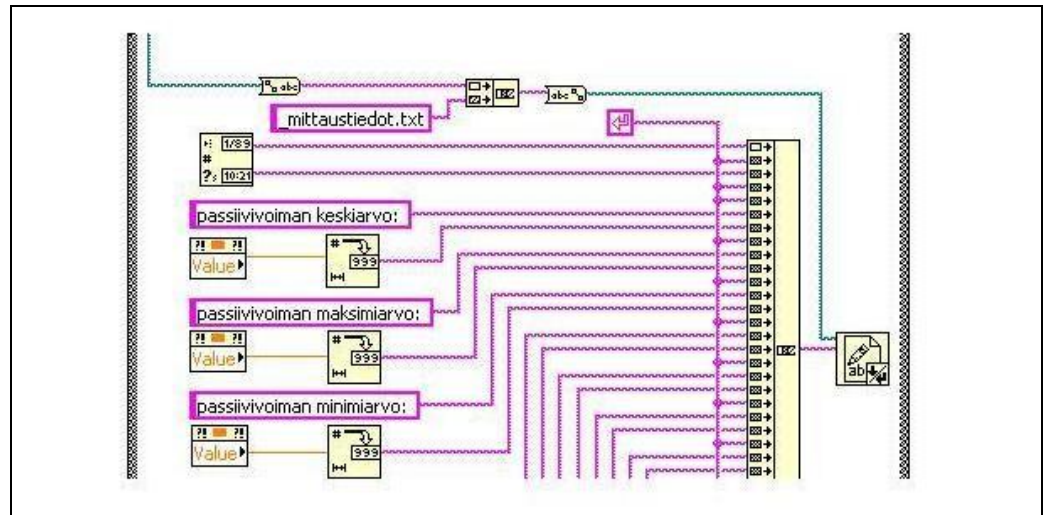
Tallennettavat mittaustulokset ohjelma saa sen piirtämien käyrien historia-tiedoista, jotka haetaan *Property Node* -instrumentin avulla ja viedään *Write to Spreadsheet* -instrumentille, joka puolestaan suorittaa tiedoston luomisen. Esimerkki luodusta mittaustulokset-tiedostosta näkyy kuvassa 21.

File	Edit	Format	View	Help
-2,037	5,279	2,985		
0,685	5,377	-0,903		
0,150	0,711	1,527		
1,851	-0,845	-2,361		
0,344	-0,747	-1,778		
-3,592	2,217	2,888		
-0,579	1,683	0,361		
-0,433	-0,067	-1,486		
-1,551	4,064	0,847		
0,150	2,849	-2,069		
1,803	-4,004	-1,194		
-1,697	-1,622	1,430		
0,101	5,134	0,069		

Kuva 21. Esimerkki mittaustulokset-tiedostosta.

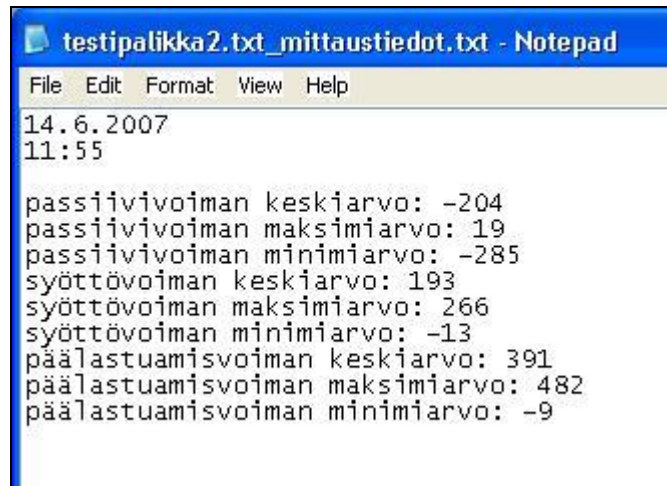
Kuvien tallentaminen onnistuu hakemalla ne *Invoke Node* -instrumentin avulla ja viemällä ne *Write JPEG File* -instrumentille. Kuvassa 20 on näkyvillä yhden kuvan tallentaminen. Tallennettavan kuvanlaadun voi itse määrittää antamalla instrumentille haluttu prosenttilukema, jossa 100 tarkoittaa parasta laatua. Jotta kaikki kuvat voitaisiin tallentaa samaan kansioon ja jotta ne tunnistaisi helposti toisistaan, lisää ohjelma itse annettun tiedostonimen perään sopivan jatkeen. Jos käytetään kuvan 20 tapausta esimerkkinä ja nimeetään mittaustiedot nimellä "mittaus.txt", tulee kaikkia voimia kuvaavan käyrän nimeksi "mittaus\_kaikki\_voimat.jpg". Jotta jatkeen lisääminen olisi mahdollista, tallennuksen polun tiedot on muutettava ensin *Path*-muodosta *String*-muotoon. Kun jatke on lisätty, se muutetaan takaisin *Path*-muotoon.





Kuva 22. Mittaustiedot-tekstitiedoston rakentaminen. Kuva on valmiista ohjelmasta.

Kuvassa 22 on näkyvillä osa mittaustiedot-tiedoston luomisesta. Aluksi siinä annetaan tallennettavalle tiedostolle haluttu jatke, jonka ohjelma siis lisää käyttäjän antaman nimen perään. Tämä tieto viedään *Write to Text File*-instrumenttiin. Kyseisellä instrumentilla luodaan itse varsinainen tekstitiedosto, mutta sen sisältö rakennetaan *Concatenate Strings*-instrumentilla. Sen avulla voidaan liittää yhteen tekstiä pienemmistä osista, ja tämän tekstin väliin voi liittää myös rivinvaihtokomentoja. Ensimmäisenä kuvassa 22 *Concatenate Strings*-instrumenttiin menee sisälle tieto päivämäärästä, jonka jälkeen tulee rivinvaihto ja sitten kellonaika. Tätä seuraa kaksi rivinvaihtoa, joilla saadaan aikaan yksi tyhjä rivi, jonka tarkoituksena on selkeyttää tiedoston ulkoasua. Tämän jälkeen instrumenttiin viedään yksitellen kaikki halutut tiedot, kuitenkin siten että jokainen tulos on omalla rivillään. Kuvassa 23 näkyy esimerkki valmiista mittaustiedot-tiedostosta.



```

testipalikka2.txt_mittaustiedot.txt - Notepad
File Edit Format View Help
14.6.2007
11:55
passiivivoiman keskiarvo: -204
passiivivoiman maksimiarvo: 19
passiivivoiman minimiarvo: -285
syöttövoiman keskiarvo: 193
syöttövoiman maksimiarvo: 266
syöttövoiman minimiarvo: -13
päälastuamisvoiman keskiarvo: 391
päälastuamisvoiman maksimiarvo: 482
päälastuamisvoiman minimiarvo: -9

```

Kuva 23 Esimerkki mittaustiedot-tiedostosta.

## 6 OHJELMAN TESTAUS

Kun mittausohjelma on vihdoon saatu toimintakuntoon, on sitä tietenkin testattava, jotta havaittaisiin, antaisiko se oikeanlaisia tuloksia. Testikappaleiksi valittiin kaksi mitoiltaan samanlaista mutta materiaaliltaan erilaista kappaletta. Toinen kappaleista oli terästä ja toinen alumiinia. Tarkoituksena oli ajaa sorvilla kumpaakin kappaletta samoilla työstöarvoilla ja verrata keskenään saatuja päälastuamisvoimien keskiarvoja. Näistä arvoista lasketaan myös ominaislastuamisvoimat kaavan 5 avulla:

$$F_c = a \cdot s \cdot k_c \quad (5)$$

jossa  $F_c$  = päälastuamisvoima,  $a$  = lastuamissyvyys,  $s$  = syöttö,  $k_c$  = ominaislastuamisvoima.



Kuva 24. Mittausjärjestelmä valmiina testausta varten

Saatuja tuloksia verrataan kirjallisuudessa taulukoituihin ominaislastuamisvoimiin. Käytän kahta vertailuarvoa. Toinen on Secon työainetaulukosta (liite 2) saatu  $k_{c1.1}$ -arvo. Kyseinen arvo on kokeellisesti taulukoitu ominaislastuamisvoima, jossa on käytetty syöttö- ja lastuamissyvyytenä 1 mm. Toinen käyttämäni vertailuarvo on Sandvikin katalogin (liite 3) työainetaulukosta saatu  $k_{c0.4}$ -arvo. Tämäkin on kokeellisesti taulukoitu arvo ja se on mitattu käyttämällä syötön arvona 0,4 mm:ä.

Sorvaus on suoritettu kovametalliterällä, joten pyörimisnopeus on valittu sen mukaisesti käyttämällä kaavaa 1. Taulukossa 2 on esitetty koeajossa käytetyt työstöarvot ja kappaleiden halkaisijat.

Taulukko 3 Käytetyt työstöarvot.

Ajo #	Halkaisija (mm)	Pyörimisnopeus (r/min)	Syöttö (mm)	Lastuamissyvyys (mm)
1	40,0	840	0,15	1,0
2	39,0	840	0,3	2,0
3	37,0	840	0,5	3,0

Taulukossa 3 on mittauksissa saadut päälastuamisvoimien keskiarvot sekä kaavalla 5 niistä lasketut ominaislastuamisvoimat. Taulukossa ovat myös kirjallisuudesta (liite 2 ja 3) löytyvät  $k_{c1.1}$ - ja  $k_{c0.4}$ -arvot. Kaikki mittaustulokset ovat luettavissa liitteessä 4.

*Taulukko 4. Saadut päälastuamisvoimien keskiarvot ja ominaislastuamisvoimat.*

Aine	Päälastuamisvoiman keskiarvo (N)			Ominaislastuamisvoima (N/mm <sup>2</sup> )			Vertailuarvo 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Vertailuarvo 2 (N/mm <sup>2</sup> )
	Ajo 1	Ajo 2	Ajo 3	Ajo 1	Ajo 2	Ajo 3	$k_{c1.1}$	$k_{c0.4}$
Alumiini	85	308	834	567	513	556	700	600
Teräs	229	669	1373	1526	1115	915	1350	2000

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että saadut tulokset ovat oikeasuuntaisia ja suuruusluokka täsmää vertailuarvojen kanssa. Mittauksessa ei voitu ottaa huomioon terägeometrian vaikutusta mittausvoimiin, sillä kirjallisuuden ominaislastuamisvoimien mittauksissa käytettyjä teräkulmia ei ole ilmoitettu. Tuloksista nähdään myös, että saadut ominaislastuamisvoimat ovat teräksellä n. 2 – 3 kertaa suurempia kuin alumiinilla, mikä on samassa linjassa taulukoitujen vertailutulosten kanssa. Myös itse ohjelma ja mittauslaitteisto toimivat moitteetta, joten tältä osin voin sanoa saavuttaneeni asetetut tavoitteet.

**VIITELUETTELO**

- [1] Aaltonen, Kalevi - Andersson, Paul – Kauppinen, Veijo, *Koneistustekniikat*. Porvoo: WSOY. 1997.
- [2] Ansaharju, Tapani - Maaranen, Keijo, *Koneistus*. Porvoo: WSOY. 2003.
- [3] Tampereen Teknillinen Korkeakoulu, Lastuamisvoimat [verkkodokumentti, viitattu 30.5.2007]. Saatavissa: [http://pe.tut.fi/tvinst/tvinst\\_dokumentit.nsf/99e1edb629230500c225682300314c24/4d5df429de424da8c2256808003ac0d6/\\$FILE/Lastuamisvoimat.pdf](http://pe.tut.fi/tvinst/tvinst_dokumentit.nsf/99e1edb629230500c225682300314c24/4d5df429de424da8c2256808003ac0d6/$FILE/Lastuamisvoimat.pdf).
- [4] Ansaharju, Tapani, *Lastuava Työstö*. Porvoo: WSOY. 1989.
- [5] Wallin, Pekka, *Sähkömittaustekniikan Perusteet*. Espoo: Otatieto. 1996.
- [6] Lahden ammattikorkeakoulu, Anturit [verkkodokumentti, viitattu 14.9.2007]. Saatavissa: <http://ameba.lpt.fi/~ahonjuss/mek02/Antureita.pdf>.

**LIITELUETTELO**

- LIITE 1 OTE VERTAILUPAINOMITTAUKSEN TULOKSISTA
- LIITE 2 MITTAUSOHJELMAN ETUPANEELI
- LIITE 3 MITTAUSOHJELMAN RAKENNE
- LIITE 4 SECON AINERYHMÄT
- LIITE 5 OTE SANDVIKIN KATALOGISTA
- LIITE 6 TESTIMITTAUSTEN TULOKSET JA KUVAAJAT
- LIITE 7 VOIMANMITTAUSOHJELMAN KÄYTTÖOHJE
- LIITE 8 LABORATORIOHARJOITUS: KÄRKISORVIN VOIMANMITTAUS

## OTE VERTAILUPAINOMITTAUKSEN TULOISTA

Passiivivoima	Syöttövoima	Päälastuamisvoima
-2,940	1,474	-114,931
-2,940	1,328	-115,223
-3,086	1,328	-114,931
-3,037	1,279	-115,028
-2,988	1,279	-115,028
-3,037	1,279	-115,223
-3,037	1,231	-114,834
-2,940	1,231	-115,126
-3,086	1,328	-115,028
-2,988	1,231	-115,126
-3,134	1,425	-114,834
-2,988	1,376	-115,126
-3,037	1,279	-115,028
-2,940	1,328	-115,223
-2,940	1,231	-114,834
-2,940	1,425	-114,737
-3,183	1,231	-114,931
-2,891	1,279	-114,931
-2,988	1,279	-114,834
-2,891	1,231	-114,834
-3,086	1,279	-114,834
-2,891	1,231	-115,223
-3,037	1,328	-115,028
-2,843	1,279	-114,834
-3,037	1,279	-114,834
-2,94	1,279	-115,028
-3,086	1,231	-115,028
-2,843	1,279	-115,126
-3,183	1,328	-115,126
-2,891	1,328	-114,737
-3,037	1,522	-115,223
-2,988	1,376	-114,737
-3,037	1,231	-114,931
-2,988	1,425	-114,834

## MITTAUSOHJELMAN ETUPANEELI

Kalibrointi-painike  
Painettuna, ohjelma kalbroi anturin mittauksen alkaessa

Talenna-painike  
Painettuna, ohjelma tallentaa tuolloiset mittauksen päättyttyä

Talennuksen polku (esim. d:\temp\mittaus.txt)

Keskisarvo-painike  
Paina mittauksen aikana aloittaaksesi ja lopettaaksesi keskiarvojen laskeamisen

Lopettaa mittauksen (Lopeta mittaus sorvauksen vielä ollessa käynnissä)

Kalibroiti voimat | Passivi | Syyttö | Päälästämis

Kestler 5019A Multichannel Charge Amplifier  
(Muista ladata vahvistin Operate-tilaan ennen mittauksen aloittamista)

Channel 1: TS: 7,90 pC/N , SC: 3,00E+2 N/V  
LP: Off , TC: 1000s

Channel 2: TS: 7,87 pC/N , SC: 3,00E+2 N/V  
LP: Off , TC: 1000s

Channel 3: TS: 3,86 pC/N , SC: 6,00E+2 N/V  
LP: Off , TC: 1000s

Kanavan 1 maksimiarvo 0  
Kanavan 1 minimiarvo 0  
Kanavan 2 maksimiarvo 0  
Kanavan 2 minimiarvo 0  
Kanavan 3 maksimiarvo 0  
Kanavan 3 minimiarvo 0

Kanava 1: Passiivivoima Keskiarvo 1 0,00  
Kanava 2: Syyttövoima Keskiarvo 2 0,00  
Kanava 3: Päälästämisvoima Keskiarvo 3 0,00

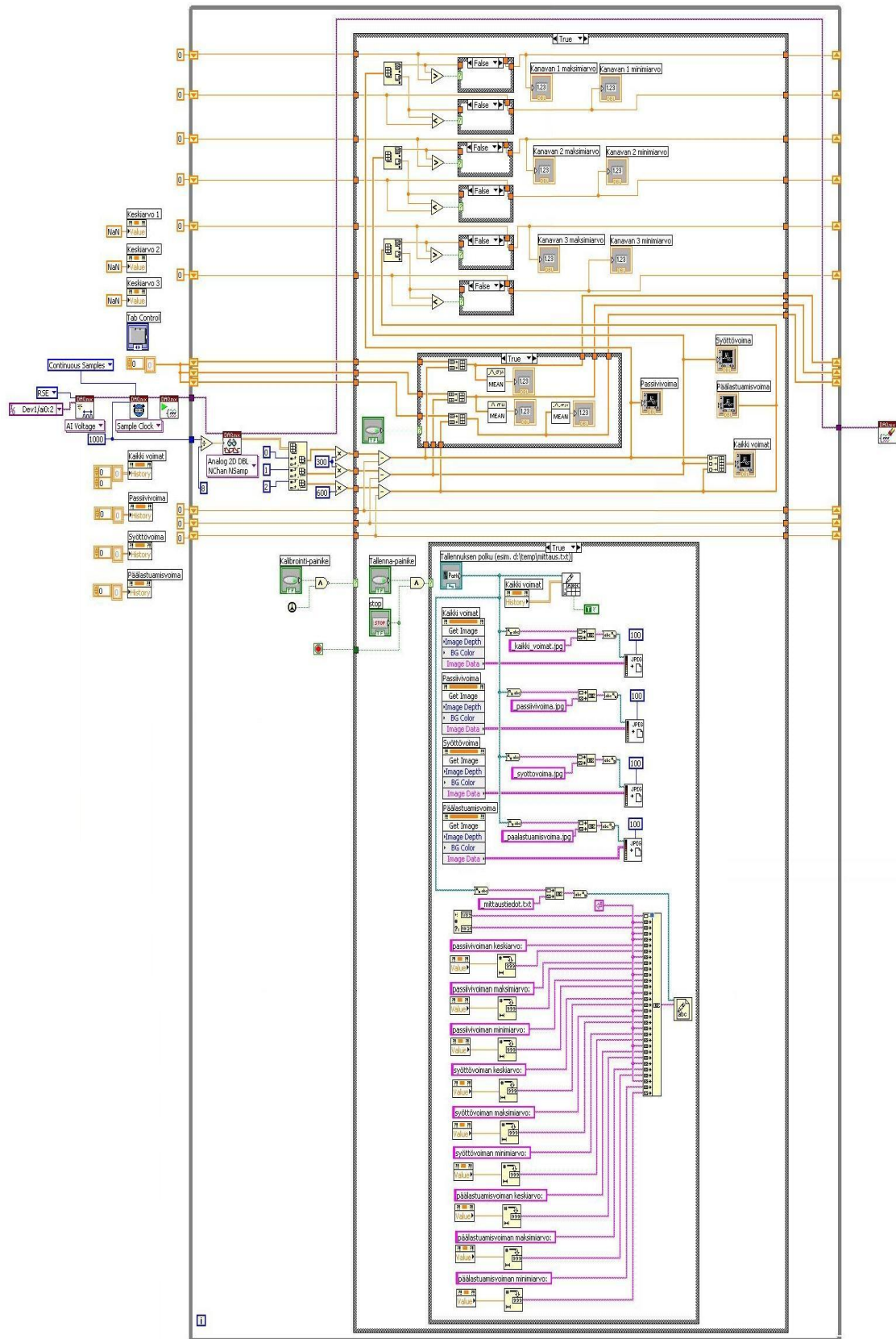
Voima (N)

Aika (ms)

13999



MITTAUSOHJELMAN RAKENNE



## SECON AINERYHMÄT

## Työkappaleaineet - Secon aineryhmät



## Teräkset

		$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	$k_{c1.1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$m_c$
1	Erittäin pehmeät niukkahilliset teräkset. Puhtaasti ferrittiset teräkset.	<450	1350	0,21
2	Kevyesti lastuttavat teräkset.	400 <700	1500	0,22
3	Koneteräkset. Tavalliset niukka- ja keskihilliset teräkset, joiden hillipitoisuus (< 0.5%C).	450 <550	1500	0,25
4	Runsasihilliset teräkset (>0,5%). Keskikovat nuorrutusteräkset. Niukkaseosteiset teräkset. Ferrittiset ja martensiittiset ruostumattomat teräkset.	550 <700	1700	0,24
5	Normaalit työkaluteräkset. Kovemmat nuorrutusteräkset. Martensiittiset ruostumattomat teräkset.	700 <900	1900	0,24
6	Valkeat työkaluteräkset. Runsasseosteiset, erittäin kovat teräkset. Martensiittiset ruostumattomat teräkset.	900 <1200	2000	0,24
7	Valkeat erittäin lujat teräkset, erittäin kovat teräkset. Karkaistut teräkset aineryhmistä 3-6. Martensiittiset ruostumattomat teräkset.	>1200	2900	0,22

## Ruostumattomat teräkset

8	Helpot austeniittiset ruostumattomat teräkset. Kevyesti lastuttavat ruostumattomat teräkset, kalsiumkäsitellyt ruostumattomat teräkset.		1750	0,22
9	Keskivalkeat ruostumattomat teräkset. Austeniittiset ruostumattomat teräkset ja duplex-teräkset.		1900	0,20
10	Valkeat ruostumattomat teräkset. Austeniittiset ruostumattomat teräkset ja duplex-teräkset.		2050	0,20
11	Erittäin valkeat ruostumattomat teräkset. Austeniittiset ruostumattomat teräkset ja duplex-teräkset.		2150	0,20

## Valuraudat

12	Keskikova valurauta. Harmaavalurauta.		1150	0,22
13	Niukkaseosteinen valurauta. Adusoitu valurauta. Nodulaarinen valurauta.		1225	0,25
14	Keskivalkea seostettu valurauta. Keskivalkea adusoitu rauta. Nodulaarinen valurauta.		1350	0,28
15	Valkea runsasseosteinen valurauta. Valkea adusoitu valurauta. Nodulaarinen valurauta.		1470	0,30

## Muut aineet

16	Helposti lastuttavat ei-rautametalliseokset. Alumiini, kun <16% Si. Messinki, sinkki ja magnesium.		700	0,25
17	Ei-rautametalliseokset. Alumiini, kun >16% Si. Alumiini, pronssi ja kupari-nikkeli.		700	0,27
20	Nikkeli-, koboltti- ja rautasuperseokset, joiden kovuus on < 30 HRC. Incoloy 800 ja Inconel 601, 617 ja 625. Monel 400.		2600	0,24
21	Nikkeli-, koboltti- ja rautasuperseokset, joiden kovuus > 30 HRC. Inconel 718 ja 750-X ja Incoloy 925, Monel K-500.		3300	0,24
22	Titaanipohjaiset seokset. Ti-6Al-4V.		1450	0,23

$k_{c1.1}$ -arvot tehollisen rintakulman ollessa 0°. Lisää  $k_{c1.1}$ -arvoa muilla rintakulmilla 1% jokaista 1° nousua kohden ja päinvastoin.  $m_c$  on tehon laskemisessa käytettävä eksponentti. Todettakoon, että  $R_m$ -arvot ovat vain apuna oikean materiaalityypin valinnassa, kun materiaali on käsitelty valsaamalla, vetämällä, lämpökäsittelemällä tai muilla

OTE SANDVIKIN KATALOGISTA

### Cutting speed recommendations

The recommendations are valid for use with cutting fluid.

ISO	CMC No.	Material	Specific cutting force $k_c$ 0.4	Hardness Brinell	WEAR RESISTANCE			
					CT5005	CT5015	GC1525	
					$h_{ex}$ , mm $\approx$ feed, $f_n$ mm/r at $\kappa_r$ 90°-95°			
			N/mm <sup>2</sup>	HB	0.05 - 0.1 - 0.2	0.05 - 0.1 - 0.2	0.05 - 0.1 - 0.2	
					Cutting speed, $v_c$ m/min			
<b>P</b>  <b>Steel</b>	01.1	Unalloyed steel	C = 0.1-0.25%	2000	125	700 - 570 - 430	650 - 540 - 440	560 - 465 - 380
	01.2		C = 0.25-0.55%	2100	150	650 - 530 - 420	570 - 480 - 385	495 - 415 - 335
	01.3		C = 0.55-0.80%	2200	170	560 - 480 - 390	510 - 425 - 340	430 - 365 - 295
	02.1	Low-alloy steel, (alloying elements $\leq$ 5%)	Non-hardened	2150	180	545 - 460 - 370	480 - 400 - 320	375 - 320 - 255
	02.12		Ball bearing steel	2300	210	- - -	- - -	- - -
	02.2		Hardened and tempered	2550	275	335 - 275 - 210	285 - 235 - 190	200 - 165 - 135
	02.2		Hardened and tempered	2850	350	295 - 235 - 170	230 - 190 - 150	160 - 135 - 110
03.11	High-alloy steel (alloying elements $>$ 5%)	Annealed	2500	200	- - -	395 - 330 - 250	260 - 215 - 175	
03.21		Hardened tool steel	3900	325	- - -	195 - 165 - 130	145 - 115 - 90	
06.1	Steel castings	Unalloyed	2000	180	- - -	260 - 215 - 175	225 - 185 - 145	
06.2		Low-alloy (alloying elements $\leq$ 5%)	2100	200	- - -	270 - 225 - 170	175 - 145 - 105	
06.3		High-alloy, alloying elements $>$ 5%	2650	225	- - -	200 - 165 - 125	140 - 115 - 85	

ISO	CMC No.	Material	Specific cutting force $k_c$ 0.4	Hardness Brinell	WEAR RESISTANCE			
					CD10	CD1810	H10	
					$h_{ex}$ , mm $\approx$ feed, $f_n$ mm/r at $\kappa_r$ 90°-95°			
			N/mm <sup>2</sup>	HB	0.05 - 0.4	0.15 - 0.8	0.15 - 0.8	
					Cutting speed, $v_c$ m/min			
<b>N</b>  <b>Non-ferrous metals</b>	30.11	Aluminium alloys	Wrought or wrought and coldworked, non-aging	500	60	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>
	30.12		Wrought or wrought and aged	800	100	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>
	30.21	Aluminium alloys	Cast, non-aging	750	75	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>
	30.22		Cast or cast and aged	900	90	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>	2000 (2500 - 250) <sup>1)</sup>
	30.41	Aluminium alloys	Cast, 13-15% Si	950	130	1550 (1950 - 195) <sup>1)</sup>	770 ( 960 - 95) <sup>1)</sup>	450 - (560 - 55) <sup>1)</sup>
	30.42		Cast, 16-22% Si	950	130	770 ( 960 - 95) <sup>1)</sup>	510 ( 640 - 65) <sup>1)</sup>	300 - (375 - 38) <sup>1)</sup>
	33.1	Copper and copper alloys	Free cutting alloys, $\geq$ 1 % Pb	700	110	500 ( 630 - 65) <sup>1)</sup>	500 ( 630 - 65) <sup>1)</sup>	500 ( 630 - 65) <sup>1)</sup>
33.2	Brass, leaded bronzes, $\leq$ 1% Pb		700	90	500 ( 630 - 65) <sup>1)</sup>	500 ( 630 - 65) <sup>1)</sup>	500 ( 630 - 65) <sup>1)</sup>	
33.3	Bronze and non-leadad copper incl. electrolytic copper		1750	100	300 ( 375 - 38) <sup>1)</sup>	300 ( 375 - 38) <sup>1)</sup>	300 ( 375 - 38) <sup>1)</sup>	

## TESTIMITTAUSTEN TULOKSET JA KUVAAJAT

## Koemittaus 1 - Alumiini

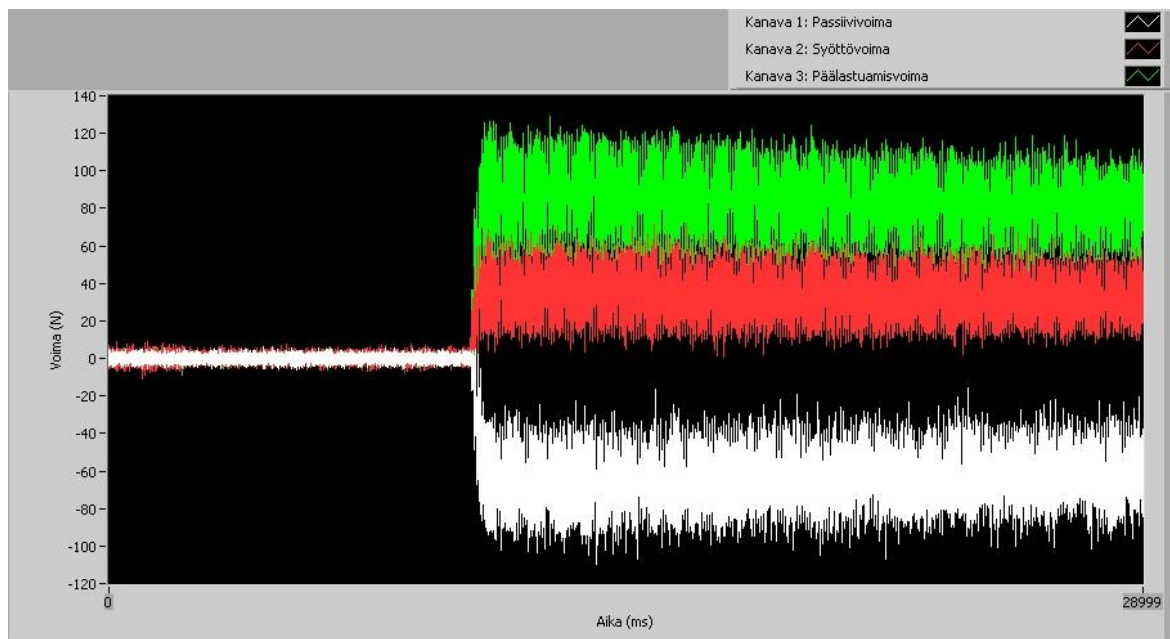
Passiivivoima	Syöttövoima	Päälastuamisvoima
-67,751	26,555	83,787
-65,709	33,991	83,787
-70,861	34,477	88,259
-63,765	36,470	77,177
-70,715	32,144	90,689
-66,244	37,005	92,341
-64,348	18,973	76,886
-74,749	37,588	86,898
-90,399	46,288	91,564
-86,219	58,049	103,131
-90,836	47,600	103,131
-55,649	38,220	96,035
-68,480	40,893	105,269
-68,042	41,573	97,687
-65,126	40,407	98,951
-75,575	47,162	103,520
-70,521	63,152	106,241
-79,804	44,781	110,810

koemittaus1\_alumiini.txt\_mittaustiedot.t...

File Edit Format View Help

5.12.2007  
11:41

passiivivoiman keskiarvo: -64  
passiivivoiman maksimiarvo: 6  
passiivivoiman minimiarvo: -110  
syöttövoiman keskiarvo: 34  
syöttövoiman maksimiarvo: 72  
syöttövoiman minimiarvo: -11  
päälastuamisvoiman keskiarvo: 85  
päälastuamisvoiman maksimiarvo: 129  
päälastuamisvoiman minimiarvo: -9



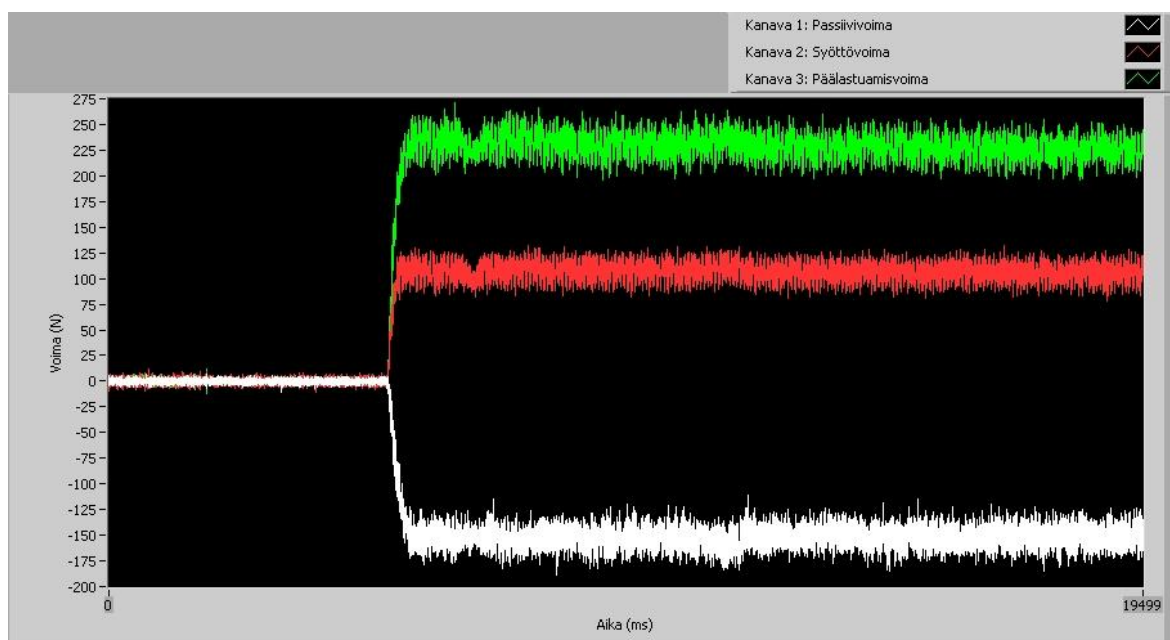
Kuva 1. Koemittaus 1 - alumiini.

#### Koemittaus 1 - Teräs

Passiivivoima	Syöttövoima	Päälastumisvoima
-159,875	110,448	242,611
-161,333	126,389	249,999
-158,125	123,813	252,429
-150,106	112,44	246,597
-134,748	118,613	242,222
-144,274	113,947	242,611
-176,254	118,661	244,555
-158,028	121,918	247,083
-152,536	120,654	234,543
-155,598	114,19	248,638
-157,882	108,844	237,459
-162,111	115,016	241,153
-143,35	119,39	249,027
-170,956	118,758	233,377
-142,524	125,417	244,75
-158,417	111,031	239,112
-152,439	97,665	233,28
-150,203	104,081	235,515

```
koemittaus1_teras.txt_mittaustiedot.txt -...
File Edit Format View Help
5.12.2007
11:19

passiivivoiman keskiarvo: -152
passiivivoiman maksimiarvo: 6
passiivivoiman minimiarvo: -188
syöttövoiman keskiarvo: 107
syöttövoiman maksimiarvo: 133
syöttövoiman minimiarvo: -10
päälastuamisvoiman keskiarvo: 229
päälastuamisvoiman maksimiarvo: 271
päälastuamisvoiman minimiarvo: -11
```



Kuva 2. Koemittaus 1 - teräs.

## Koemittaus 2 - Alumiini

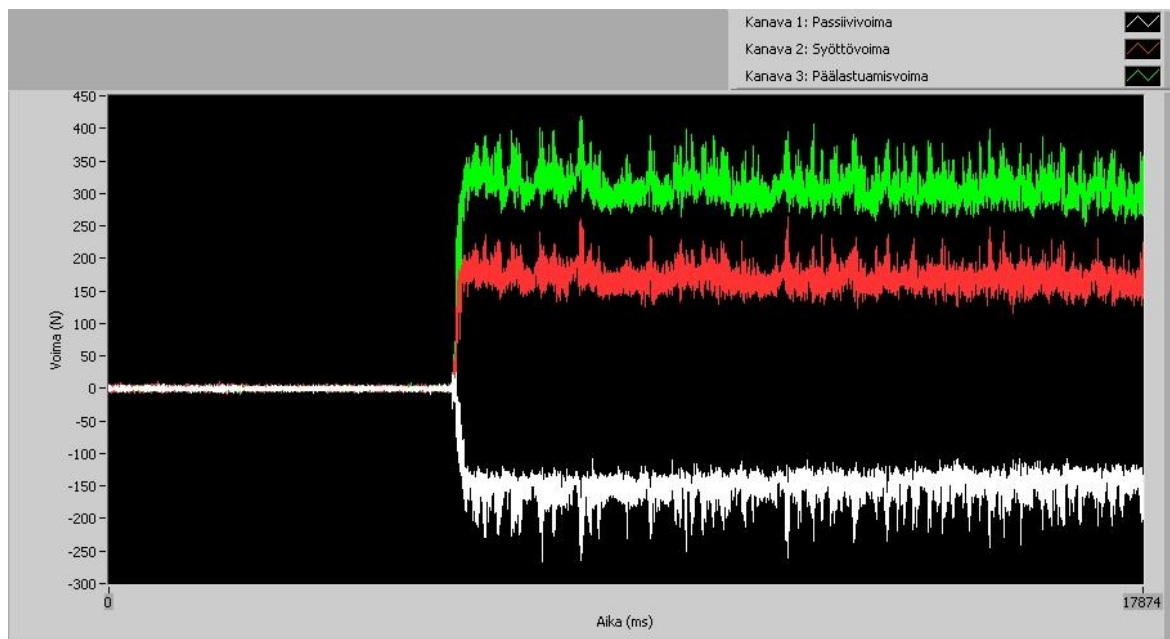
Passiivivoima	Syöttövoima	Päälastuamisvoima
-143,711	177,767	312,631
-149,446	179,517	312,631
-145,218	173,976	310,298
-153,869	174,948	319,532
-155,862	179,662	323,518
-153,772	176,552	313,894
-152,605	191,521	312,922
-154,598	189,723	330,419
-141,864	183,259	316,811
-135,303	182,433	317,88
-129,957	182,87	324,781
-129,519	186,564	317,783
-135,303	183,113	307,868
-139,872	184,863	308,937
-151,876	177,767	315,741
-149,592	182,919	328,183
-143,322	180,246	329,739
-148,426	185,786	322,448

```

koemittaus2_alumiini.txt_mittaustiedot.t...
File Edit Format View Help
5.12.2007
11:44

passiivivoiman keskiarvo: -150
passiivivoiman maksimiarvo: 24
passiivivoiman minimiarvo: -266
syöttövoiman keskiarvo: 169
syöttövoiman maksimiarvo: 265
syöttövoiman minimiarvo: -13
päälastuamisvoiman keskiarvo: 308
päälastuamisvoiman maksimiarvo: 418
päälastuamisvoiman minimiarvo: -15

```



Kuva 3. Koemittaus 2 - alumiini.

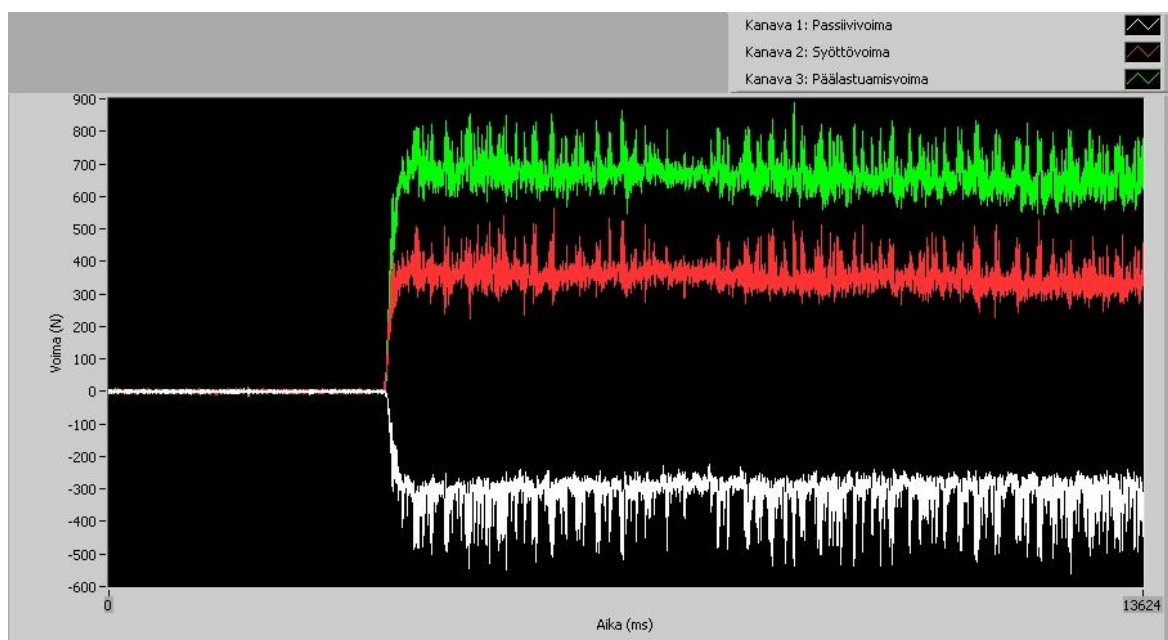
#### Koemittaus 2 - Teräs

Passiivivoima	Syöttövoima	Päälastuamisvoima
-285,621	335,92	624,17
-263,216	323,38	631,169
-258,404	325,859	638,265
-279,692	347,682	644,972
-247,615	354,243	657,998
-277,894	338,982	644,389
-279,255	350,209	671,606
-304,187	357,11	685,02
-307,784	345,349	678,994
-301,66	342,092	679,48
-287,031	349,091	669,273
-299,327	365,664	662,469
-278,04	365,519	669,759
-291,648	366,685	666,843
-281,928	349,966	660,136
-275,123	346,466	653,332
-271,381	353,611	637,293
-277,553	371,983	655,179



```
koemittaus2_teras.txt_mittaustiedot.txt -...
File Edit Format View Help
5.12.2007
11:24

passiivivoiman keskiarvo: -309
passiivivoiman maksimiarvo: 9
passiivivoiman minimiarvo: -560
syöttövoiman keskiarvo: 354
syöttövoiman maksimiarvo: 563
syöttövoiman minimiarvo: -11
päälastuamisvoiman keskiarvo: 669
päälastuamisvoiman maksimiarvo: 887
päälastuamisvoiman minimiarvo: -15
```



Kuva 4. Koemittaus 2 - teräs.

## Koemittaus 3 - Alumiini

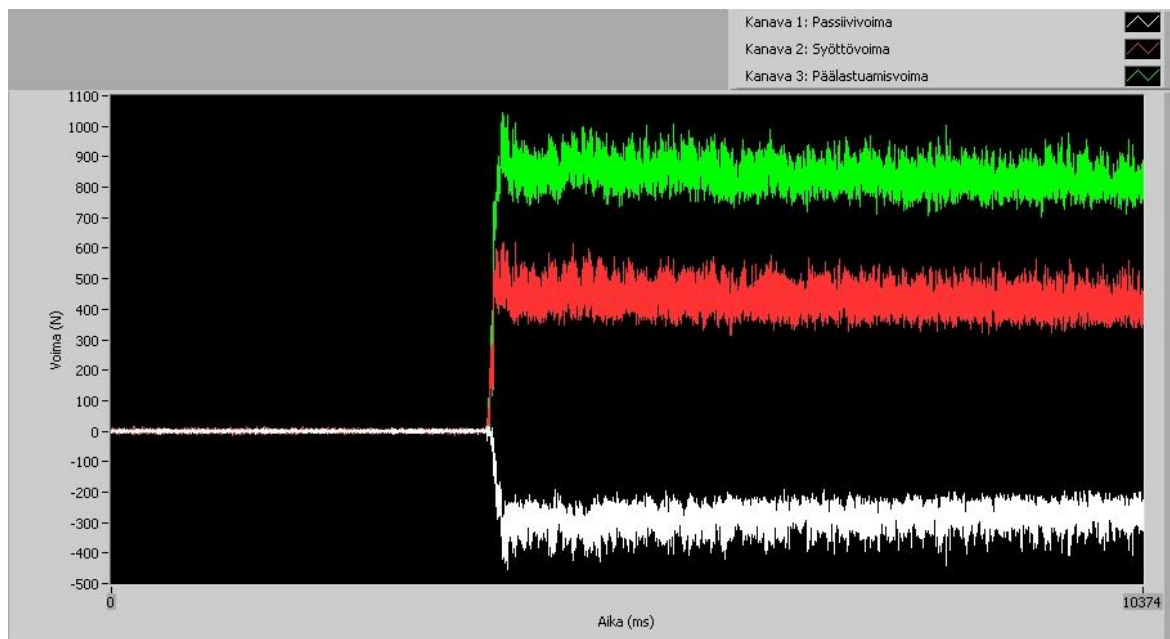
Passiivivoima	Syöttövoima	Päälastuamisvoima
-378,646	530,612	931,584
-261,322	393,554	820,577
-309,34	469,082	835,546
-286,158	456,883	918,17
-259,572	498,34	906,214
-244,652	352,096	799,483
-248,054	399,24	840,795
-295,197	441,865	846,239
-295,732	459,118	843,906
-298,162	470,394	885,12
-277,749	416,591	881,232
-317,068	469,908	866,457
-250,727	419,07	848,183
-304,286	490,175	864,707
-230,12	396,762	858,583
-341,855	485,315	928,765
-340,786	535,521	963,564
-267,349	427,089	864,902

```

koemittaus3_alumiini.txt_mittaustiedot.t...
File Edit Format View Help
5.12.2007
11:48

passiivivoiman keskiarvo: -280
passiivivoiman maksimiarvo: 17
passiivivoiman minimiarvo: -455
syöttövoiman keskiarvo: 429
syöttövoiman maksimiarvo: 621
syöttövoiman minimiarvo: -13
päälastuamisvoiman keskiarvo: 834
päälastuamisvoiman maksimiarvo: 1047
päälastuamisvoiman minimiarvo: -9

```



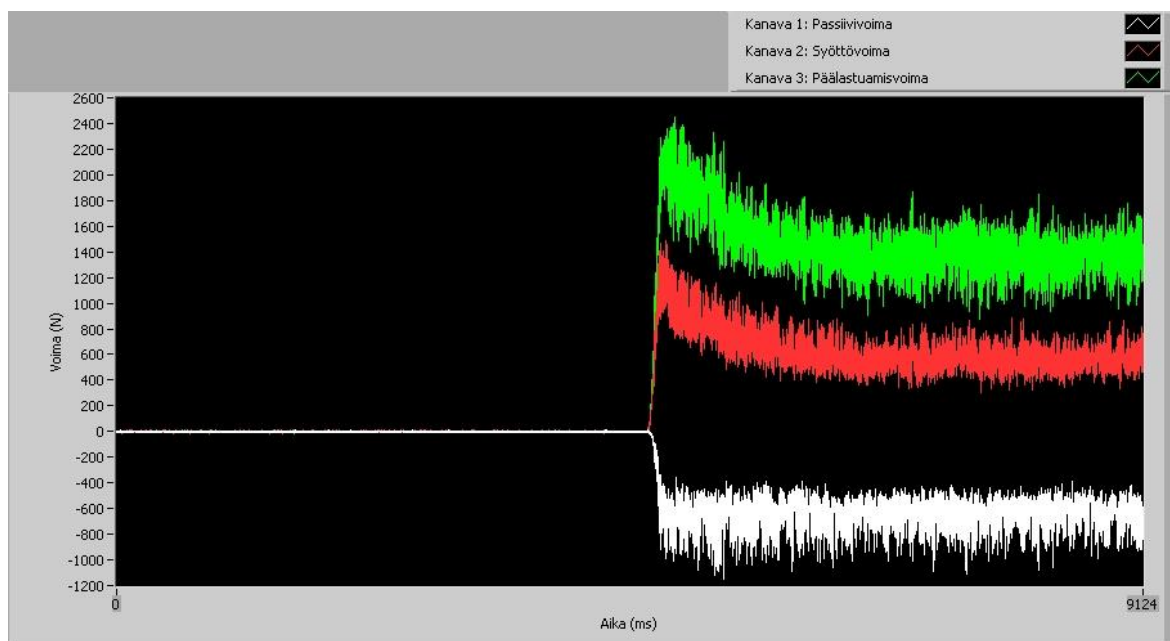
Kuva 5. Koemittaus 3 - alumiini.

#### Koemittaus 3 - Teräs

Passiivivoima	Syöttövoima	Päälastuamisvoima
-993,064	610,723	1427,522
-918,85	837,309	1481,569
-773,775	515,365	1268,495
-790,931	497,14	1188,203
-677,545	701,027	1250,609
-658,055	635,608	1300,281
-626,562	564,016	1344,801
-581,654	672,497	1316,708
-518,229	495,487	1234,278
-556,235	521,246	1344,217
-627,825	633,08	1513,063
-633,998	570,529	1470,39
-621,021	525,329	1309,71
-618,008	512,255	1313,403
-602,941	603,384	1377,073
-533,733	524,405	1393,112
-554,389	524,891	1429,758
-555,215	511,477	1469,904

```
koemittaus3_teras.txt_mittaustiedot.txt -...
File Edit Format View Help
5.12.2007
11:30

passiivivoiman keskiarvo: -631
passiivivoiman maksimiarvo: 9
passiivivoiman minimiarvo: -1151
syöttövoiman keskiarvo: 566
syöttövoiman maksimiarvo: 1484
syöttövoiman minimiarvo: -15
päällastuamisvoiman keskiarvo: 1373
päällastuamisvoiman maksimiarvo: 2453
päällastuamisvoiman minimiarvo: -14
```

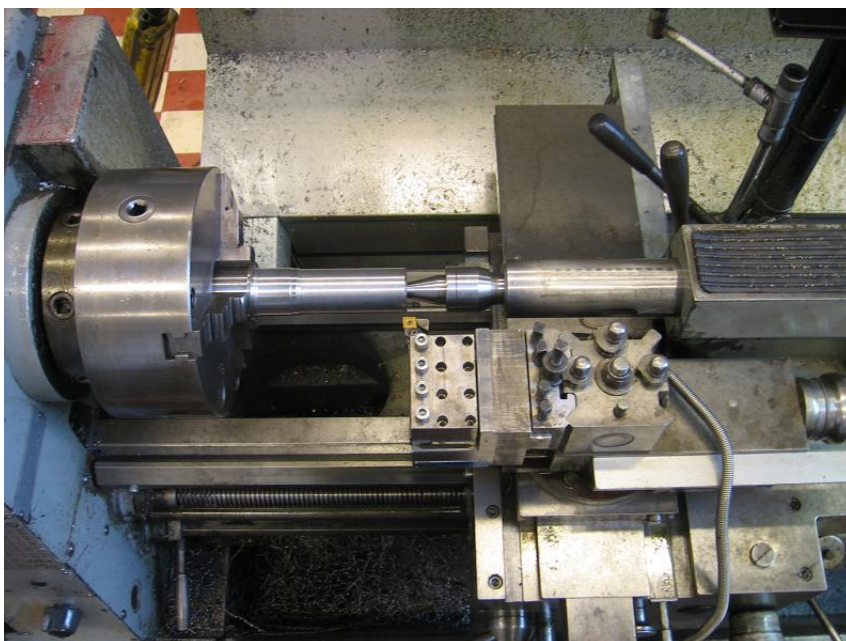


Kuva 6. Koemittaus 3 - teräs.

## VOIMANMITTAUSOHJELMAN KÄYTTÖOHJE

### 1. Valmistelevat toimenpiteet

Tarkista terän kunto ja sen kiinnityksen pitävyys. Kiinnitä Kistler 9121 voimadynamometri sorviin. Aseta dynamometrin kaapeli kulkemaan siten, ettei se ole sorvattaessa teräkelkan tiellä (Kuva 1).



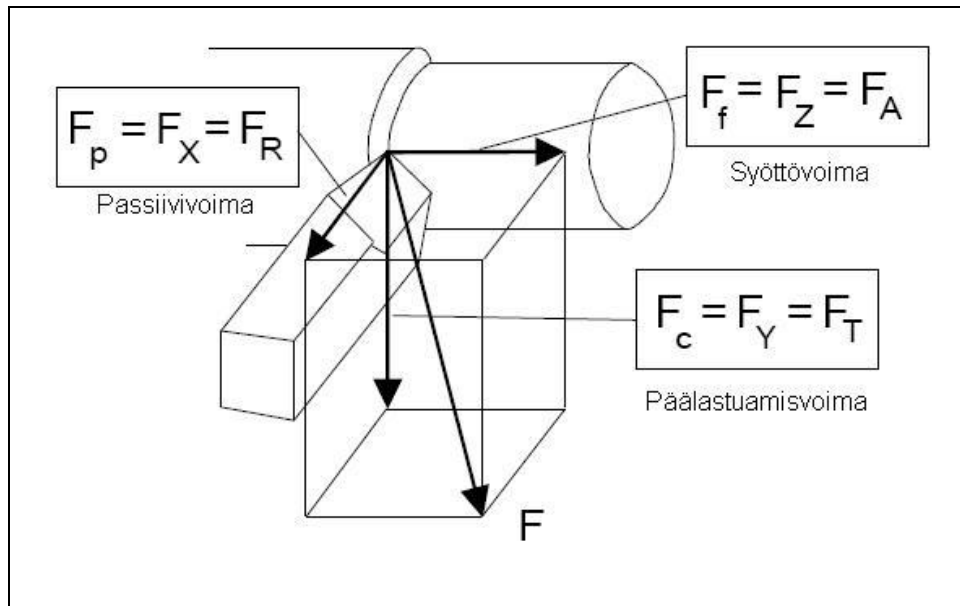
Kuva 1. Sorviin kiinnitetty Kistler 9121 voimadynamometri.

### 2. Kistler 5019A signaalivahvistimen kytkeminen mittakorttiin.

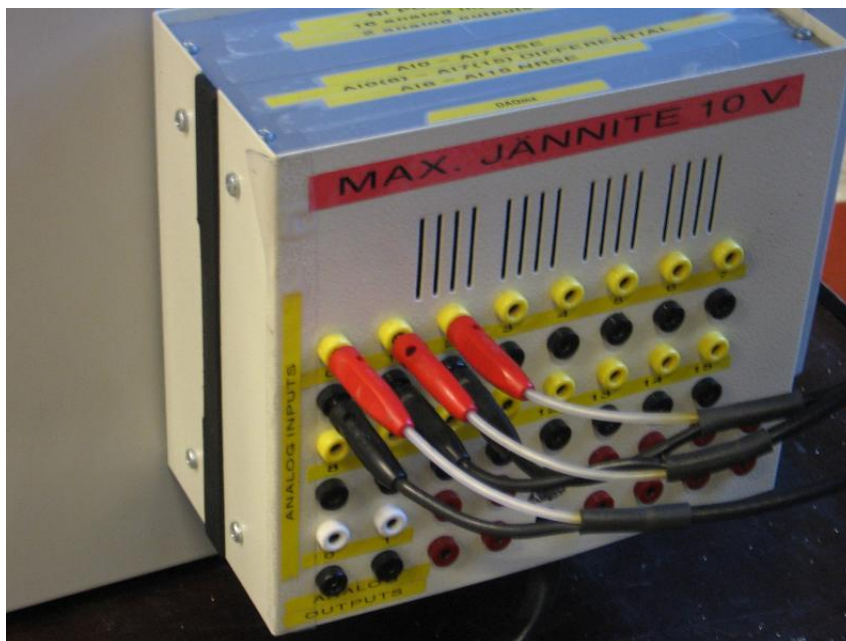
Kistler voimadynamometri mittaa voimaa kolmessa suunnassa (kuva 2). Näiden kolmen voiman mittaustiedot siirtyvät kukin omaa kanavaansa pitkin anturilta signaalivahvistimelle yhteistä kaapelia pitkin. Ensimmäinen kanava on tarkoitettu *passiivivoimalle*, toinen kanava *syöttövoimalle* ja kolmas kanava *päälastuamisvoimalle*. Signaalivahvistimen, kanavien numeroita vastaavat, ulostulot liitetään RSE-kytkennällä mittakorttiin, käyttäen sopivia johtoja (kuva 3). Avaa tietokoneelta mittausohjelma ja kytke Kistler signaalivahvistimeen virta (virtakytkin löytyy laitteen takaa).

HUOM Kistler signaalivahvistimen ohjekirjassa on voimille käytetty eri merkintöjä, kuin muussa kirjallisuudessa. Tässä käyttöohjeessa käytetään kirjallisuuden merkintöjä.

HUOM. Kistler signaalivahvistimen virran on oltava pois päältä kytkentöjä tehdessä tai niitä purettaessa.



Kuva 2. Lastuamisvoiman suorakulmaiset komponentit.



Kuva 3. Esimerkki RSE-kytkennästä.

### 3. Kistler 5019A signaalivahvistimen asetusten tarkistaminen

Päästäksesi tarkastelemaan ja muuttamaan signaalivahvistimen asetuksia, on aluksi avattava vahvistimen lukitus vetämällä Cursor Lock-kytkin oikealle. Menu-näppäintä painamalla, ilmestyy vahvistimen näytölle anturin yhden kanavan asetukset. Select-nuolilla pystyt liikkumaan riviltä toiselle ja kolmella Edit-nuolella pystyt liikkumaan rivin sisällä ja muuttamaan sen arvoja. Tarkista, että kaikkien kolmen kanavan TS- ja SC-arvot vastaavat mittausohjelman paneelissa annettuja arvoja.

TS-arvo on tehtaalla määritetty voimadynamometrikohtainen kalibrointi-arvo.  
SC-arvo määrittää mittausalueen.

Kanava 1 (passiivivoima): TS: 7,90 pC/N  
SC:  $3,00 \cdot 10^2$  N/V

Kanava 2 (syöttövoima): TS: 7,87 pC/N  
SC:  $3,00 \cdot 10^2$  N/V

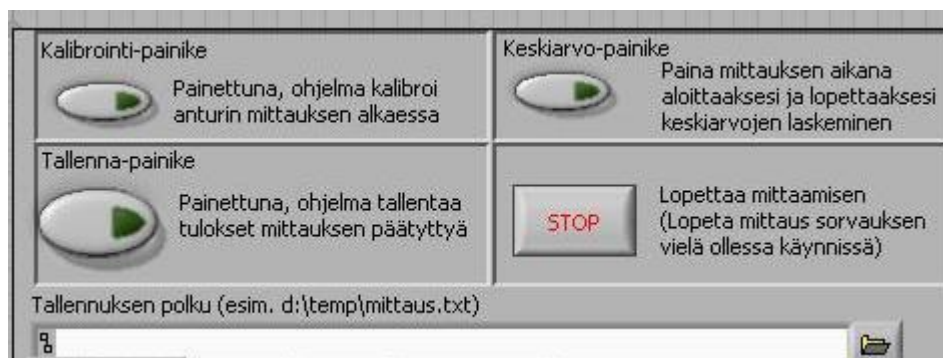
Kanava 3 (päälastuamisv.): TS: 3,86 pV/N  
SC:  $6,00 \cdot 10^2$  N/V

Kun olet suorittanut tarkistuksen, paina Menu-näppäintä poistuaksesi valikosta ja kytke Cursor Lock päälle. Laita vahvistin mittaus tilaan painamalla Operate-nappia.



Kuva 4. Kistler signaalivahvistimen etupaneeli.

#### 4. Mittausohjelman käyttäminen



Kuva 5. Mittausohjelman painikkeet.

Tallenna-painike: mikäli mittaustulokset halutaan tallentaa, on tämä painike kytkettävä päälle ennen mittauksen aloittamista. Ohjelma tallentaa mittaustulokset kahteen tekstitiedostoon. Toiseen tiedostoon tulee kaikki mittaustulokset ja toiseen voimien maksimi-, minimi- ja keskiarvot. Tämän lisäksi ohjelma tallentaa kuvat jokaisesta neljästä käyrästä jpg-muodossa.

Tallennuksen polku: tähän kohtaan kirjoitetaan se tiedostopolku, johon mittaustulokset halutaan tallentaa, sekä tallennettavan tiedoston nimi. Tiedoston päätteen on oltava txt-muotoa (esim. d:\temp\mittaus.txt). Annetun tiedostonimen perusteella ohjelma luo itse muut tarvittavat tiedostonimet (esim. mittaus\_mittaustiedot.txt ja mittaus\_passiivivoima.jpg). Myös tallennuksen polku on annettava ennen mittauksen aloittamista.

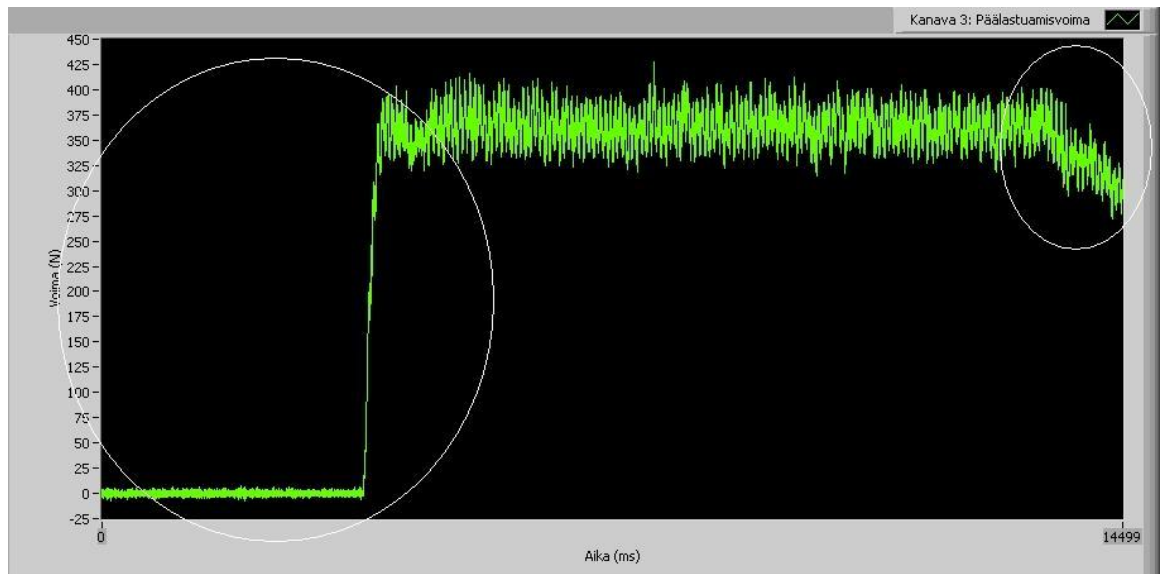
Kalibroi-painike: teränvarren kiinnityksestä johtuva puristus aiheuttaa Kistler voimadynamometrin tuloksiin pientä virhettä. Tämä virhe voidaan poistaa painamalla kalibroi-painike päälle ennen mittauksen aloittamista. Tällöin ohjelma vähentää automaattisesti kiinnityksestä johtuvan virheen lopullisista mittaustuloksista.

Keskiarvo-painike: tämän avulla voidaan laskea voimien keskiarvot. Tämä painike kytetään päälle ja pois mittauksen aikana. Eli se painetaan päälle sen jälkeen kun terä on kohdannut työkappaleen ja pois päältä se painetaan ennen kuin syöttö pysäytetään tai terä irrotetaan työkappaleesta. Tämän toiminnan tarkoituksena on ehkäistä lastuamisvoimien keskiarvoa vääristävien mittaustulosten pääseminen laskentaan mukaan. Näitä ovat mm. mittaustulokset ennen kontaktia, ensimmäisen kosketuksen mahdollisesti aiheuttama voimapiikki, syöttöliikkeen lopettaminen, tai terän irrottaminen työkappaleesta (kyseiset kohdat on ympyröity kuvassa 6).

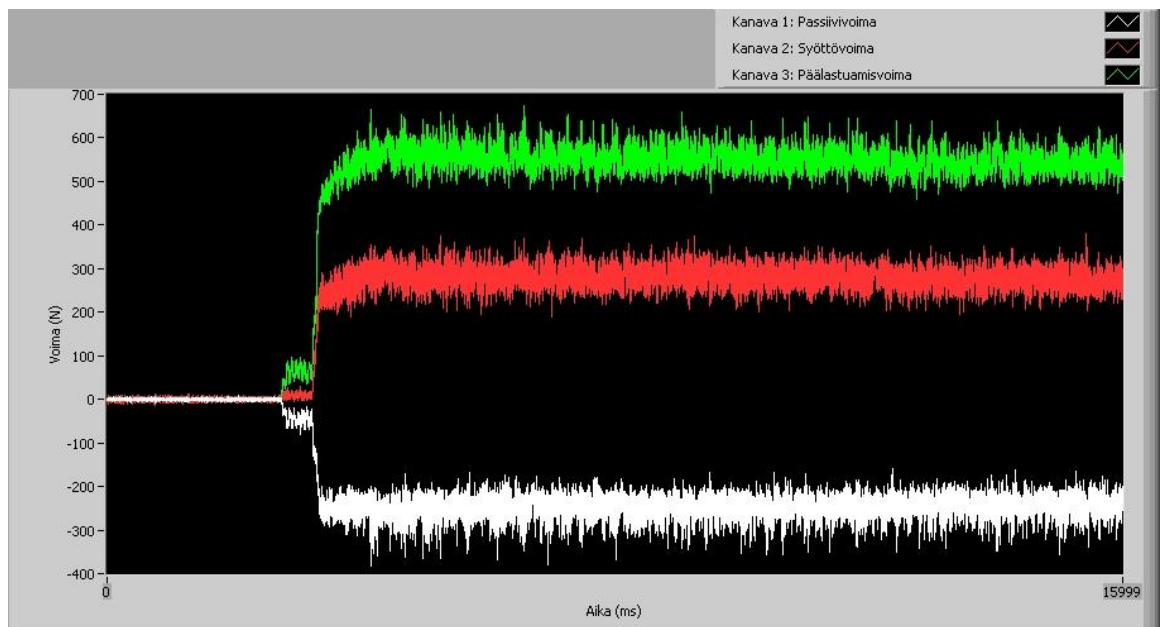
Stop-painike: paina tätä lopettaaksesi mittaaminen.

Mittauskäyrä. ohjelma piirtää jokaisen voiman kuvaajaa omalle välilehdelleen. Tämän lisäksi yhdessä välilehdessä on kuvattu kaikki voimat samanaikaisesti.





Kuva 6. Päälastuamisvoiman kuvaaja. Ympyröitynä keskiarvoa vääristävät kohdat.



Kuva 7. Tavallinen, mittauksessa syntyvä kuvaaja.

## LABORATORIOHARJOITUS: KÄRKISORVIN VOIMANMITTAUS

Tehtävänä on tutustua kärkisorvin, sekä voimanmittauslaitteiston toimintaan ja suorittaa yksinkertainen koemittausarja.

## TYÖN TAVOITE

Tavoitteena on, että oppilas:

- tuntee sorvin perusosat ja osaa käsitellä sorvia turvallisesti.
- osaa valita sopivat lastuamisarvot.
- ymmärtää sorvauksessa vaikuttavat lastuamisvoimat.
- osaa käyttää voimanmittauslaitteistoa ja ohjelmistoa.

## TEHTÄVÄN KULKU:

Tehtävän periaate:

”Valitaan lastuttaviksi kohteiksi kaksi samankokoista ja eri materiaalia olevaa kappaletta. Valitaan kolme lastuamissyvyyden ja syötön arvoa. Sorvataan näillä arvoilla kumpaakin kappaletta ja mitataan samalla lastuamisvoimat. Lasketaan kummankin kappaleen päälastuamisvoimista ominaislastuamisvoimat ja verrataan tuloksia keskenään, sekä kirjallisuudesta saatuihin tietoihin.”

Eli, valitaan aluksi työstettävät kappaleet.

Kappaleen 1 materiaali on \_\_\_\_\_

Kappaleen 2 materiaali on \_\_\_\_\_

Kummankin halkaisija on \_\_\_\_\_ mm

Seuraavaksi lasketaan tarvittava pyörimisnopeus, joka riippuu sorvinterän materiaalista (kysykää opettajalta, mitä materiaalia käytettävä terä on).

$$n[1/\text{min}] = \frac{30000}{\phi[mm]}, \text{ pyörimisnopeuden nyrkkisääntö kovametalliterille.}$$

$$n[1/\text{min}] = \frac{6000}{\phi[mm]}, \text{ pyörimisnopeuden nyrkkisääntö pikaterästerille.}$$

Seuraavaksi valitaan sopiva syöttö ja lastuamissyvyys

Syöttö on matka, jonka terä liikkuu yhden karan kierroksen aikana. Lastuamissyvyydellä tarkoitetaan matkaa, kun terä siirretään kappaleen pinnasta sisäänpäin. Syöttö ja lastuamissyvyys valitaan yleensä yhdessä ja niiden välinen suhde on tärkeä ottaa huomioon. Jotta lastu taipuisi helposti rintapintaa vasten, olisi syötön ja lastuamissyvyyden välisen suhteen hyvä olla välillä

$$s : a = 1 : 6 - 1 : 10$$

s = syöttö, a = lastuamissyvyys.

(esim. jos lastuamissyvyudeksi valitaan 1,5 mm, niin syöttö on valittava väliltä  $s = 1,5/6$  ja  $s = 1,5/10$  eli väliltä 0,15 mm/r ja 0,25 mm/r). Kysykää opettajalta turvallisia lastuamissyvyvyyksiä.

Ajo 1:  $a_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  mm,  $s_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  mm/r

Ajo 2:  $a_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  mm,  $s_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  mm/r

Ajo 3:  $a_3 = \underline{\hspace{2cm}}$  mm,  $s_3 = \underline{\hspace{2cm}}$  mm/r

Nyt ensimmäinen kappale voidaan kiinnittää sorvin istukkaan ja sorvin asetukset voidaan laittaa kuntoon ensimmäistä ajoa varten.

Tässä vaiheessa tutustutaan voimanmittausjärjestelmään. Lukekaa HUOLELLISESTI voimanmittausohjelman käyttöohje. Erityisesti kiinnittäkää huomiota missä vaiheessa ja järjestyksessä ohjelman eri kytkimiä on painettava (kalibrointi-, tallennus-, stop- ja keskiarvo-painikkeet).

**MUISTAKAA LAITTA A SIGNAALINVAHVISTIN OPERATE-TILAAN ENNEN MITTAAMISTA.**

**MUISTAKAA VAIHTAA TALLENNETTAVAN TIEDOSTON NIMI JOKAISEN AJON JÄLKEEN.**

Nyt voitte suorittaa mittauksen.

Mittaustuloksista poimitaan mittauspöytäkirjaan päälastuamisvoimien keskiarvot.

Ominaislastuamisvoimat voidaan laskea seuraavan kaavan avulla:

$$F_c = a \cdot s \cdot k_c$$

$F_c$  = päälastuamisvoima

$a$  = lastuamissyvyys

$s$  = syöttö

$k_c$  = ominaislastuamisvoima

Voitte vertailla, kumpi materiaaleista on pehmeämpi ja voitte etsiä mitä tuloksia kirjallisuus (esim. terävalmistajien katalogit) antavat ominaislastuamisvoimille. Kirjallisuus käyttää usein merkintöjä kuten  $K_{c1.1}$  ja  $K_{c0.4}$ .

$K_{c1.1}$  = kokeellisesti taulukoitu ominaislastuamisvoima kun  $s$  ja  $a$  ovat 1 mm ( $N/mm^2$ )

$K_{c0.4}$  = kokeellisesti taulukoitu ominaislastuamisvoima kun  $s$  on 0,4 mm ( $N/mm^2$ )

Kirjoittakaa tehdystä mittauksista lyhyt raportti ja etsikää kirjasta vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

1. Esitelkää lyhyesti sorvin pääosat?
2. Mitkä asiat vaikuttavat lastuamisvoimiin?
3. Mitä hyötyä lastuamisvoimien mittauksesta voi olla?

**MITTAUSPÖYTÄKIRJA**  
**RYHMÄ:**

	d (m)	n (r/min)	s (mm/r)	a (mm)	Materiaali 1		Materiaali 2	
					Fc1	kc1	Fc2	kc2
Ajo 1								
Ajo 2								
Ajo 3								

d = kappaleen halkaisija

n = pyörimisnopeus

s = syöttö

a = lastuamissyvyys

Fc = päälastuamisvoima (keskiarvo)

kc = ominaislastuamisvoima