

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Kone- ja tuotantotekniikka

Automaatiotekniikka

INSINÖÖRITYÖ

LÄMPÖLAAJENEMISLAITTEISTON MODERNISOINTI

**Työn tekijä: Tommi Heikkinen
Työn valvoja: FM Veijo Pulkkanen
Työn ohjaaja: FM Veijo Pulkkanen**

Työ hyväksytty: __. __. 2007

**FM Veijo Pulkkanen
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä insinööryö tehtiin Helsingin ammattikorkeakoulun tekniikan ja liikenteen yksikölle. Haluan kiittää projektissa mukana olleita työn ohjaajaa ja valvojaa lehtori Veijo Pulkasta sekä DI Markku Kvistiä.

Helsingissä 19.11.2007

Tommi Heikkinen

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Tommi Heikkinen	
Työn nimi: Lämpölaajenemislaitteiston modernisointi	
Päivämäärä: 19.11.2007	Sivumäärä: 36 s. + 7 liitettä
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio	
Työn valvoja: lehtori FM Veijo Pulkkanen	
Työn ohjaaja: lehtori FM Veijo Pulkkanen	
<p>Insinööriyön lähtökohtana oli suunnitella ja kehittää fysiikan laboratoriotyökurssilla käytettävää mittalaitetta, jolla tutkitaan lämpölaajenemisiä. Vanhassa laitteessa on kolme eri materiaalista valmistettua ympäristöstä lämpöeristettyä putkea. Putkia lämmitetään vesijohtovedellä. Aluksi putkien läpi johdetaan mahdollisimman kylmää vettä ja sen jälkeen mahdollisimman kuumaa. Lämpötilaero mitataan termojännitteen avulla ja lämpölaajeneminen mittakellon avulla. Tällä menetelmällä putkia on mahdollista lämmittää maksimissaan n. 40–50 °C. Putket ovat aivan liian lyhyitä, joten niiden lämpölaajeneminen jää maksimissaan alle 1 mm:n. Lämpölaajeneminen on siis koemateriaaleilla vähäistä ja mitausvirheiden vaikutus suhteellisen suuri. Lisäksi mittakellon kiinnitysmekanismi mahdollistaa mittakellon rikkoutumisen. Työn lähtökohtana oli se, että opiskelijoiden tekemät putkien lämpötilakertoimien määrittäykset epäonnistuivat liian usein.</p> <p>Lämpölaajenemislaitetta kehitettiin muuttamalla putkien lämmitys sähkövastuksella tapahtuvaksi. Näin mahdollistui jopa 150 °C:n lämpötilaeron saavuttaminen. Laitesuunnittelussa 710 mm putki korvattiin 1090 mm putkella ja mittakellon kiinnitysmekanismi uusittiin. Lisäksi huomattiin että putkea ei tarvitse lämpöeristää.</p> <p>Uudistetulla laitteella mittaukset onnistuivat. Teräksen lämpölaajenemiskertoimen arvoksi saatiin $\alpha_{Fe} = (11,9 \pm 0,4) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}C}$ ja virheprosentiksi n. 3,5 %. Vanhalla laitteella teräksen lämpölaajenemiskertoimen arvoksi saatiin $\alpha_{Fe} = (10,7 \pm 1,4) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}C}$ ja virheprosentiksi n. 13 %. Kirjallisuusarvo teräkselle on $\alpha_{Fe} = 11,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}C}$ MAOL. Uudistetun laitteiston tarkkuus on näin ollen liki neljä kertaa parempi.</p>	
Avainsanat: Lämpölaajeneminen, termoelementti	

ABSTRACT

Name: Tommi Heikkinen	
Title: Thermal expansion device's modernization	
Date: 19.11.2007	Number of pages: 36
Department: Machine and production engineering Study Programme: Machine automation	
Instructor: lecturer Veijo Pulkkanen, MSc (Physics) Supervisor: lecturer Veijo Pulkkanen, MSc (Physics)	
<p>The main purpose of this final thesis was to develop the device which is being used in laboratory course of physics to study the thermal expansion phenomenon. The device consists of three pipes which are different material each. The pipes are being warmed up by water from water tap. With this method the pipes can be warmed up only about 40–50°C from starting situation which is room temperature. The pipes are only 700 mm long. These matters causes very minimal expansion with test materials and measurement errors are relatively high. Experiments made by students are constantly failed. Also measurement clock's fastening mechanism caused easily break of the measurement clock.</p> <p>The device was developed by changing the warming method from tap water warming to electric resistors which allowed even 150°C temperature difference and enhancing isolation. The 700 mm pipes were replaced with 1090 mm pipes and measurement clock's fastening mechanism was replanned.</p> <p>With developed device the experiments are being succeeded. For example the value α_{Fe} cleared up for steel was $\alpha_{Fe} = (11,9 \pm 0,4) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}C}$ and prosentual error was ca. 3,5 % with old device the value was $\alpha_{Fe} = (10,7 \pm 1,4) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}C}$ and prosentual error was ca. 13 %.</p> <p>The literary value for steel is $\alpha_{Fe} = 11,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}C}$.</p>	
Keywords: Thermal expansion, thermo element	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	1
2 TEORIA	3
3 PITUUDEN LÄMPÖTILAKERTOIMIEN MÄÄRITYS VANHALLA LAITTEISTOLLA	4
3.1 Mittavälineet	7
3.2 KytKentä	9
3.3 Mittaukset	10
3.4 Tulokset	11
3.5 Virhetarkastelu	13
3.6 Johtopäätökset	16
4 TERMOELEMENTIN KALIBROINTI	18
4.1 Mittavälineet	19
4.2 KytKentä	21
4.3 Mittaukset	22
4.4 Tulokset	23
5 PITUUDENLÄMPÖTILAKERTOIMIEN MÄÄRITYS UUDELLA LAITTEISTOLLA	25
5.1 Mittavälineet	26
5.2 KytKentä	28
5.3 Mittaukset	29
5.4 Tulokset	29
5.5 Virhetarkastelu	31
5.6 Johtopäätökset	32
6 LAITTEEN RAKENTAMINEN	33
7 YHTEENVETO	35
VIITELUETTELO	36

1. JOHDANTO

Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia on jakautunut kolmeen alaan ; kulttuuri- ja palveluala, sosiaali- ja terveysala sekä tekniikka ja liikenne. Tekniikan ja liikenteen koulutusohjelmat ovat auto- ja kuljetustekniikka, kone- ja tuotantotekniikka, laboratorioala, rakennustekniikka, sähkötekniikka, tietotekniikka ja tuotantotalous. Tämän insinööryön lähtökohdiana oli suunnitella ja kehittää insinöörikoulutuksen fysiikan laboratoriotyökurssilla käytettävää mittalaitetta, jolla tutkitaan lämpölaajenemisilmiötä.

Useimmat aineet laajenevat, kun lämpötila nousee. Lämpölaajenemisilmiö on hyvin tärkeä ilmiö, joka on otettava huomioon lähes kaikessa suunnittelussa ja rakentamisessa. Lämpölaajeneminen aiheuttaa rakenteisiin jännityksiä. Siltoihin ja rakennuksiin on asennettava liikuntasaumia. Putkistojen lämpömutkat ja lämpöpalkeet sallivat putken pituuden vaihtelun lämpötilan vaihtuessa. Moottori tai laakeri leikkautuu kiinni, jos se pääsee kuumenemaan liikaa. Lämpölaajenemisen avulla kulutusrengas kiristetään rautatievaunun pyörään. Työstettäessä kappaleen lämpötila nousee ja mitat kasvavat. Ilmiötä käytetään hyväksi koneenrakennuksen liitoksissa, joissa ei tarvitse tarkasti laskea momentinsiirtokykyä. Näitä kutsutaan nimellä kutistus- tai ahdistusliitos. Keskuslämmitysjärjestelmään on tehtävä paisuntasäiliö, jotta laajeneva vesi ei rikkoisi putkistoa. Laboratorion mitta-astiat on kalibroitu näyttämään oikeaa tilavuutta tietyssä lämpötilassa, joka ilmoitetaan astian kyljessä (yleensä 20 °C). Monien tavallisten nestelämpömittareiden toiminta perustuu nesteen lämpölaajenemiseen. Muun muassa näistä asioista johtuen insinööriopiskelijat tekevät lämpölaajenemisilmiöstä laboratorion kokeen fysiikan laboratoriotyö -kurssilla.

Laite, jolla koe on suoritettu, koostuu kolmesta eri materiaalia olevasta putkesta, joita lämmitetään vesijohtovedellä. Putkien pituuden muutokset on mitattu mittakelloilla ja läm-

pötila on mitattu termoelementeillä. Putkien lyhydestä, lämpöeristyksen huonoudesta ja vesijohtovedellä saavutettavasta pienestä lämpötilaerosta johtuen kokeet ovat usein epäonnistuneet. Lisäksi mittakellojen kiinnitysmekanismi on helposti rikkonut mittakellon.

Työn tavoitteena oli korjata nämä ongelmat suunnittelemalla laitteistoa paremmaksi ja muuttamalla putken lämmitystekniikkaa. Suunnittelu toteutettiin CATIA-suunnitteluohjelmistolla. Lämmitys muutettiin sähkövastuksella tehtäväksi.

Työ rakentuu vanhan laitteen ongelmien ratkaisusta uuden laitteen rakentamiseen ja termoelementtien kalibroimisesta. Työ aloitettiin tutustumalla ongelmaan. Päätettiin kokeilla sähkövastuksella tapahtuvaa lämmittämistä. Netistä löytyi Elfoil OY helsingistä, joka valmistaa vastuskaapelia, joilla pidetään talvisin putket sulina. Tilattiin tällaisnn kaapeli, jonka kaupallinen nimi oli itserajoittuva lämpövastus. Kokeita tehtäessä havaittiin, että kyseessä oli NTC-vastus, joka asettui noin 60 asteenn lämpötilaan. Vastuksen geometria ei kuitenkaan ollut sylinterimäinen, joten lämpötila ei jakautunut tasaisesti putken sisällä ja haluttiin korkeampi lämpötila. Löydettiin yritys nimeltä Loval OY loviisasta, joka valmistaa lämpövastuksia. Otettiin Lovaliin yhteyttä ja tilattiin sylinterimäinen vastus. Nyt kyseessä olikin PTC-vastus, joka lämpeni sitä enemmän mitä enemmän jännitettä nostettiin. Tällä vastuksella päästiin riittävään 120 asteen lämpötilaan. Nyt oli ratkaistu lämmitysongelma ja oli laitteen rakentamisen aika. Osien piirustuksia tehtiin ja muokattiin keväällä 2007 ja syksyllä ne olivat lähes valmiit. Nyt vain osat piti valmistaa, jotta laite saataisiin rakennettua ja testattua.

2 TEORIA

Kiinteiden aineiden rakenneosat ovat niin vahvoilla sidoksilla kiinni toisissaan, etteivät ne pääse liikkumaan toistensa ohi. Kiteisissä aineissa rakenneosat ovat järjestäytyneet tietyille paikoille toisiinsa nähden, amorfisissa aineissa ei esiinny tällaista pitkän matkan järjestystä. Kiinteän aineen ominaisuuksiin vaikuttaa kiderakenteen ja kemiallisen koostumuksen lisäksi se muoto, jossa aine on, esim. jauhe, yksittäiskide, kuitu tai ohutkalvo. Eri muodossa olevia aineita tutkitaan erilaisilla menetelmillä.

Nesteen rakenneosat eivät ole yhtä selvästi järjestäytyneet kuin kiteisten kiinteiden aineiden. Nesteet valuvat ja virtaavat, koska niiden rakenneosat pystyvät liukumaan toistensa ohi.

Nesteiden ja kiinteiden aineiden tiheydet ovat selvästi suurempia kuin kaasuilla. Lisäksi nesteet ja kiinteät aineet noudattavat lähes samoja lämpöopin lainalaisuuksia, joten niitä käsitellään lämpöopin yhteydessä yhtäaikaan.

Kun ainetta lämmitetään, sen rakenneosasten lämpöliike kasvaa ja ne vaativat enemmän tilaa ympärilleen. Lämpötilan noustessa aineen tilavuus siis yleensä kasvaa. Jos lämmittämistä jatketaan riittävän kauan, voi tapahtua olomuodon muutos.

Lämpölaajeneminen johtuu siis atomien värähtelystä kidehilassa. Värähtelyn amplitudi kasvaa ja atomien välinen etäisyys suurenee, kun lämpötila nousee. Tämä ilmenee aineen lämpölaajenemisena.

Nesteillä ja kiinteillä aineilla lämpötilan muutokseen liittyvä tilavuuden muutos ΔV vakio-paineessa voidaan laskea yhtälöstä

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T, \quad (1)$$

missä on γ on aineen tilavuuden lämpötilakerroin ($[\gamma] = \frac{1}{\text{K}}$ tai $\frac{1}{^\circ\text{C}}$), V_0 on kappaleen alkutilavuus ja ΔT lämpötilan muutos ($[\Delta T] = \text{K}$ tai $^\circ\text{C}$).

Tilavuuden lämpötilakerroin $\gamma = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\Delta T} = \frac{\frac{\Delta V}{V_0}}{\Delta T}$ ilmaisee kuinka paljon systeemin tilavuus muuttui alkutilavuuteen nähden, kun systeemin lämpötilaa muutettiin asteen verran.

Yleensä nesteiden tilavuus laajenee huomattavasti enemmän kuin kiinteiden aineiden tilavuus. Vesi on kuitenkin tärkeä poikkeus. Vesi kutistuu sulaessaan, jolloin jää pysyy veden pinnalla. Veden kutistuminen jatkuu aina +4°C asti, jonka jälkeen vesi alkaa laajeta. Tästä johtuen syvien järvien ja merien pohjassa veden lämpötila on aina tasainen +4 °C. Nesteiden tilavuuden lämpötilakertoimet löytyvät taulukkokirjasta.

Tavallinen kiinteä kappale laajenee lämpötilan vaikutuksesta yhtä voimakkaasti kaikkiin suuntiin, kun taas yksittäinen kide voi laajeta eri tavoin eri suuntiin.

Kiinteän kappaleen lämpötilan muutokseen liittyvä pinta-alan muutos ΔA ja pituuden muutos Δl vakioaineessa voidaan laskea yhtälöistä

$$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T \quad (3)$$

missä α ja β ovat aineen pituuden ja pinta-alan lämpötilakertoimet ($[\alpha] = [\beta] = \frac{1}{\text{K}}$ tai $\frac{1}{^\circ\text{C}}$), l_0 ja A_0 kappaleen alkupituus ja alkupinta-ala ja ΔT lämpötilan muutos ($[\Delta T] = \text{K}$ tai $^\circ\text{C}$). Pinta-alan lämpötilakerroin $\beta = 2\alpha$.

Pinta-alan lämpötilakerroin ilmaisee, kuinka paljon systeemin pinta-ala muuttui alkupinta-alaan nähden, kun systeemin lämpötilaa muutettiin asteen verran.

Kiinteille aineille tilavuuden lämpötilakerroin on $\gamma = 3\alpha$.

Tilavuuden lämpötilakerroin ilmaisee, kuinka paljon systeemin tilavuus muuttui alkutilavuuteen nähden, kun systeemin lämpötilaa muutettiin asteen verran.

Pituuden lämpötilakerroin α ilmaisee, kuinka paljon systeemin pituus muuttui alkupituuteen nähden, kun systeemin lämpötilaa muutettiin asteen verran.

Tavallinen kiinteä kappale laajenee yhtä voimakkaasti kaikkiin suuntiin. Kiinteille aineille on määriteltävissä pituuden lämpötilakerroin α . Yleensä α on haettava taulukoista, joissa annetaan α :n keskimääräinen arvo ilmoitetulla lämpötilavälillä. Kappaleen pituuden riippuvuutta lämpötilasta esittää likimäärin yhtälö

$$l = l_0 [1 + \alpha(t - t_0)], \quad (4)$$

jossa l ja l_0 ovat pituudet lämpötiloissa t ja t_0 sekä

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t}. \quad (5)$$

[1, s. 178–179.]

Esimerkiksi alumiinin pituuden lämpötilakerroin on $23 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$, joten metrin pituisen alumiinilangan pituus muuttuu $23 \mu\text{m}$, kun sen lämpötila muuttuu asteen [2, s. 177].

3 PITUUDEN LÄMPÖTILAKERTOIMIEN MÄÄRITYS VANHALLA LAITTEISTOLLA

Alumiini-, kupari- ja rautaputkien pituuden lämpötilakertoimet määritetään juoksuttamalla putkien läpi kraanavettä. Veden lämpötilaa säätämällä voidaan putkien lämpötilaa muuttaa. Putkien pituudet ovat n. 710 mm. Putkien toiset päät on kiinnitetty tukevasti alustaan ja toiset päät ovat vapaita liikkumaan, jotta putket pääsevät laajenemaan. Putkien pituuden muutos mitataan mittakelloilla. Putket ovat lämpöeristettyjä, jotta ympäristöön siirtyvä lämpövirta olisi mahdollisimman pieni. Putkien lämpötilan muutos mitataan termoelementeillä putkien pinnasta. Mittauksessa käytettävä termoelementti on kalibroitava ennen mittauksia. Termoelementin termojännite saadaan muutettua lämpötilaeroksi elementin kalibrointivakion avulla.

3.1 Mittavälineet

Alapuolella on luettelo mittavälineistä, joita käytetään vanhassa laitteistossa pituuden lämpötilakertoimien määrittämisessä. Kuvissa 1–7 ovat vanhan laitteiston mittavälineet ja vanha laitteisto.

Mittakello : Mitutoyo



Kuva 1. Mittakello

Yleismittari : DP100 MULTIMETER



Kuva 2. Yleismittari

Kalorimetri: PHYWE



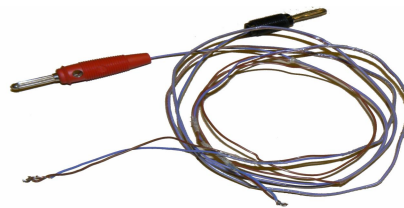
Kuva 3. Kalorimetri

Jääpalateline

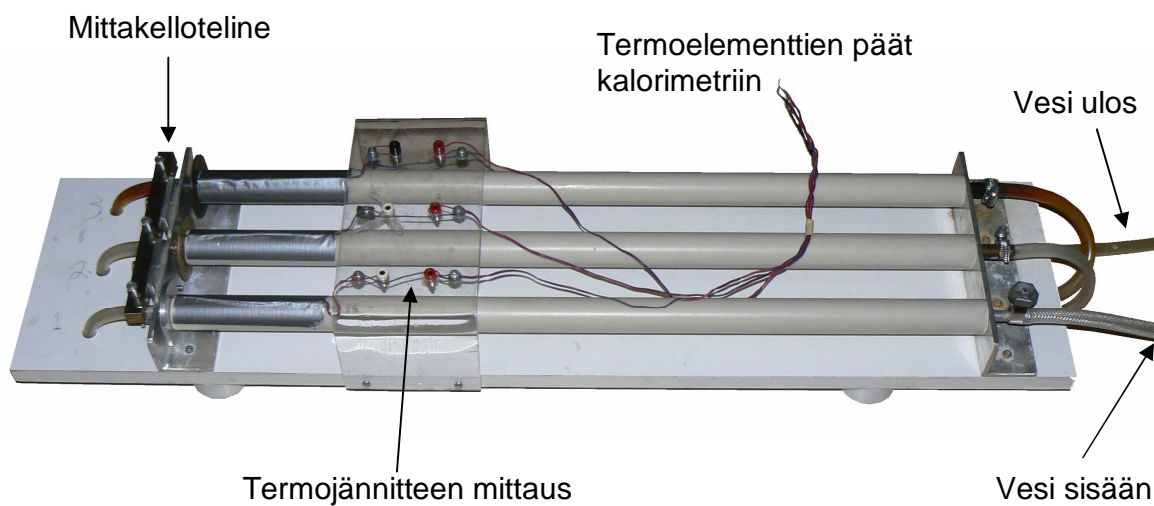


Kuva 4. Jääpalateline

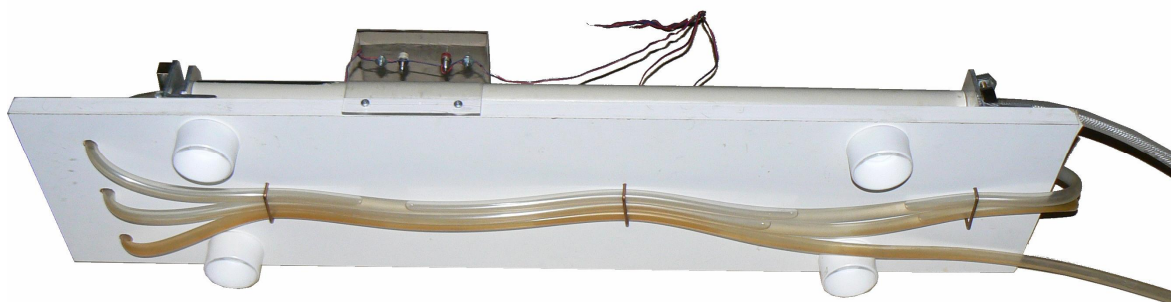
Termoelementti : Type-T (Cu/Cu-Ni)



Kuva 5. Termoelementti



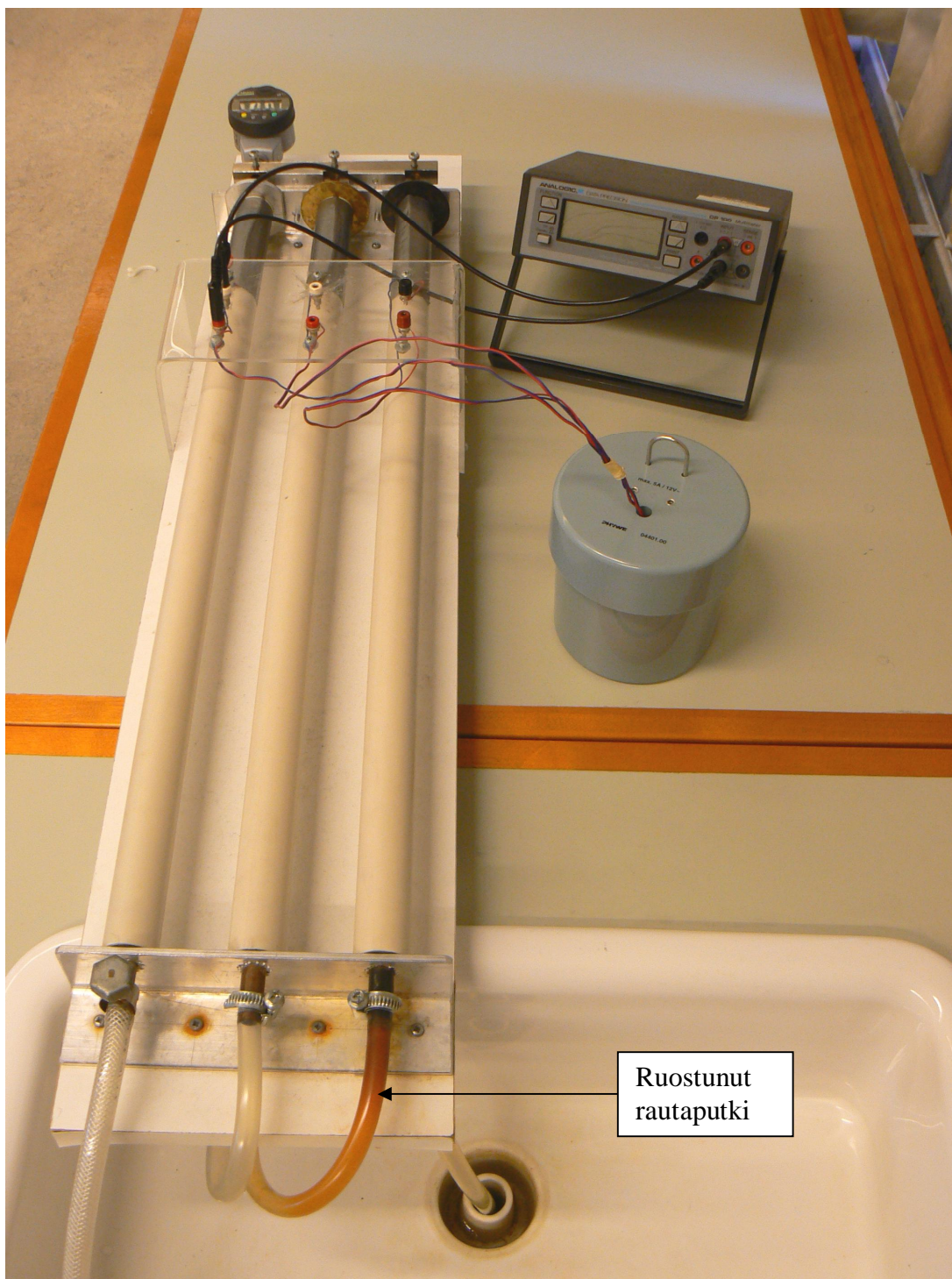
Kuva 6. Vanha laitteisto



Kuva 7. Altpäin katsottuna vanha laitteisto, jossa näkyy rautaputken ruostuminen

3.2 Kytkentä

Vanhan laitteiston kytkentä on esitetty alapuolella olevassa kuvassa, josta näkyy rautaputken ruostuminen (Kuva 8.).



Kuva 8. Vanhan laitteiston kytkentä

3.3 Mittaukset

Yleismittarin mittajohdot kytketään ensimmäisen putken termoelementtiin. Yleismittari kytketään päälle painamalla *STANDBY*-nappia. Yleismittarista valitaan tasajännitealue *FUNCTION*-nappia painamalla niin kauan, kunnes näytössä näkyy *DC V*. Mittarista valitaan automaattinen jänniteskaalaus painamalla *RANGE*-painiketta niin kauan, kunnes näyttötaulun oikeassa yläkulmassa lukee *AUTO*.

Digitaalinen mittakello työnnetään mittakellotelineeseen ja kiristetään kiinni. Kiristämisen jälkeen tarkastetaan, että mittakellon mittapää pääsee liikkumaan vapaasti. Mittakello laitetaan päälle painamalla *ON/OFF*-painiketta.

Kalorimetriin kaadetaan kylmää vettä ja veteen laitetaan pakastimesta mahdollisimman paljon jääpaloja. Kalorimetrin kansi suljetaan tiiviisti. Termoelementin vapaana oleva liitoskohta työnnetään kalorimetrin raosta jääveteen.

Mittauksessa kunkin putken tapauksessa mitataan vain kaksi lämpötilaa. Tällöin putkien läpi juoksutetaan ensin mahdollisimman kylmää vettä ja mittarit nollataan. Sen jälkeen avataan pelkästään kuumavesihana ja olosuhteiden vakioituttua mitataan pituuden muutos ja termojännite.

Kylmävesihana avataan ja veden annetaan virrata vapaasti vähintään 5 minuuttia. Viiden minuutin kuluttua putken alkupituus l_0 mitataan metrimitalalla. Mittakellon näyttämä nollataan painamalla *SET*-painiketta. Sormen päällä naputellaan putkea ja tarkastetaan vielä nollakohta. Lisäksi tarkastetaan, että mittakello mittaa lämpölaajenemisen millimetreissä (digitaalinen mittakello). Jännitemittari nollataan painamalla *PRINT*-nappia niin, että näyttöruutuun ilmestyy teksti *REL*.

Kylmävesihana kierretään kiinni ja kuumavesihana avataan. Veden annetaan virrata jälleen vähintään 5 minuuttia. Mittakellon ja jännitemittarin lukemat ΔI ja U otetaan ylös. Samat mittaukset toistetaan kahdella muullakin putkella. Mittaustulokset taulukoidaan taulukkoon 1. Putkien pituuden lämpötilakertoimet α lasketaan virherajoineen.

3.4 Tulokset

Pituuden l_0 virheeksi arvioitiin n. 1 mm. Pituuden muutoksen Δl virheeksi arvioitiin n. 0,03 mm. Termojännitteen U virheeksi arvioitiin n. 0,01 mV. Taulukossa 1. mittaustulokset.

Taulukko 1. Mittaustulokset

Putki	$(l_0 \pm \Delta l_0)$ (mm)	$(\Delta l \pm \Delta(\Delta l))$ (mm)	$(U \pm \Delta U)$ (mV)	ΔT (°C)	$\alpha \left(10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$
1	(714 ± 1)	$(0,53 \pm 0,03)$	$(1,45 \pm 0,01)$		
2	(711 ± 1)	$(0,39 \pm 0,03)$	$(1,50 \pm 0,01)$		
3	(713 ± 1)	$(0,27 \pm 0,03)$	$(1,49 \pm 0,01)$		

Termojännite U voidaan muuttaa lämpötilaeroksi Δt termoelementin kalibroitivakion k avulla. Termoelementin kalibroitivakioksi saatiin $k = (23,8 \pm 0,3) \frac{^\circ\text{C}}{\text{mV}}$ (Luku 4). Lämpötilaerot voidaan nyt laskea kaavalla

$$\Delta T = k \cdot U \quad (6)$$

Esimerkiksi putken 1 lämpötilan muutos on

$$\Delta T = 23,8 \frac{^\circ\text{C}}{\text{mV}} \cdot 1,45 \text{ V} = 34,51^\circ\text{C}$$

Taulukossa 2. on lisätty kaavalla 6 lasketut lämpötilaerot.

Taulukko 2. Mittaustulokset, joihin on lisäksi laskettu lämpötilaerot kaavalla 6.

Putki	$(l_0 \pm \Delta l_0)$ (mm)	$(\Delta l \pm \Delta(\Delta l))$ (mm)	$(U \pm \Delta U)$ (mV)	ΔT (°C)	$\alpha \left(10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$
1	(714 ± 1)	$(0,53 \pm 0,03)$	$(1,45 \pm 0,01)$	34,5	
2	(711 ± 1)	$(0,39 \pm 0,03)$	$(1,50 \pm 0,01)$	35,7	
3	(713 ± 1)	$(0,27 \pm 0,03)$	$(1,49 \pm 0,01)$	35,5	

Metalliputkien pituuden lämpötilakertoimet lasketaan kaavalla 5.

Putken 1 pituuden lämpötilakerroin on

$$\alpha_1 = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,53 \text{ mm}}{714 \text{ mm} \cdot 34,5 \text{ }^\circ\text{C}} = 21,516 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Putken 2 pituuden lämpötilakerroin on

$$\alpha_2 = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,39 \text{ mm}}{711 \text{ mm} \cdot 35,7 \text{ }^\circ\text{C}} = 15,365 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Putken 3 pituuden lämpötilakerroin on

$$\alpha_3 = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,27 \text{ mm}}{713 \text{ mm} \cdot 35,5 \text{ }^\circ\text{C}} = 10,667 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Taulukossa 3. on laskettu kaavalla 5 putkien lämpötilakertoimet.

Taulukko 3. Mittaustulokset, joihin on lisäksi laskettu putkien pituuden lämpötilakertoimet.

Putki	$(l_0 \pm \Delta l_0)$ (mm)	$(\Delta l \pm \Delta(\Delta l))$ (mm)	$(U \pm \Delta U)$ (mV)	ΔT (°C)	$\alpha \left(10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$
1	(714 ± 1)	$(0,53 \pm 0,03)$	$(1,45 \pm 0,01)$	34,5	21,516
2	(711 ± 1)	$(0,39 \pm 0,03)$	$(1,50 \pm 0,01)$	35,7	15,365
3	(713 ± 1)	$(0,27 \pm 0,03)$	$(1,49 \pm 0,01)$	35,5	10,667

3.5 Virhetarkastelu

Virhetarkastelussa käytettiin suhteellisen virheen menetelmää.

Putken alkupituuden l_0 mittausvirheeksi Δl_0 arvioitiin metrimittan mittaustarkkuus eli 1 mm. Pituuden muutoksen Δl mittausvirheeksi $\Delta(\Delta l)$ arvioitiin 0,03 mm mittakellon lukeman vaihteluiden takia. Termojännitelukeman U virheeksi ΔU arvioitiin 0,01 V jännitemittarin lukeman vaihteluiden takia. Termoelementin kalibrointivakion k virheeksi saatiin $\Delta k = 0,3 \frac{^\circ\text{C}}{\text{mV}}$ (Luku 4).

Putkien pituuden lämpötilakertoimien α suhteelliset virheet lasketaan kaavalla

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta l_0}{l_0} + \frac{\Delta(\Delta l)}{\Delta l} + \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta U}{U} \quad (7)$$

Putki 1: Pituuden lämpötilakertoimen suhteellinen virhe on

$$\frac{\Delta\alpha_1}{\alpha_1} = \frac{1}{714} + \frac{0,03}{0,53} + \frac{0,3}{23,8} + \frac{0,01}{1,45} = 0,0649$$

Suhteellinen virhe prosentteina on noin 6,5 %, mikä on aivan liian suuri. Suhteellisen virheen avulla lasketaan lämpötilakertoimen absoluuttinen virhe. Putken 1 pituuden lämpötilakertoimen absoluuttinen virhe on

$$\Delta\alpha_1 = 21,516 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 0,0649 = 1,05 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \approx 1 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Näin ollen putken 1 pituuden lämpötilakerroin virherajoinen on

$$\alpha_1 = (\alpha_1 \pm \Delta\alpha_1) = (22 \pm 1) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Putki on alumiinia ja alumiinin kirjallisuusarvo on $23,2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$.

Putki 2: Pituuden lämpötilakertoimen suhteellinen virhe on

$$\frac{\Delta\alpha_2}{\alpha_2} = \frac{1}{711} + \frac{0,03}{0,39} + \frac{0,3}{23,8} + \frac{0,01}{1,50} = 0,0976$$

Suhteellinen virhe prosentteina on noin 10 %, mikä on aivan liian suuri. Putken 2 pituuden lämpötilakertoimen absoluuttinen virhe on

$$\Delta\alpha_2 = 15,365 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 0,0976 = 1,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Näin ollen putken 2 pituuden lämpötilakerroin virherajoinen on

$$\alpha_2 = (\alpha_2 \pm \Delta\alpha_2) = (15,4 \pm 1,5) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Putki on kuparia ja kuparin kirjallisuusarvo on $16,8 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$.

Putki 3: Pituuden lämpötilakertoimen suhteellinen virhe on

$$\frac{\Delta\alpha_3}{\alpha_3} = \frac{1}{713} + \frac{0,03}{0,27} + \frac{0,3}{23,8} + \frac{0,01}{1,49} = 0,132$$

Suhteellinen virhe prosentteina on noin 13 %, mikä on aivan liian suuri. Putken 3 pituuden lämpötilakertoimen absoluuttinen virhe on

$$\Delta\alpha_3 = 10,667 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 0,132 = 1,408 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \approx 1,4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Näin ollen putken 3 pituuden lämpötilakerroin virherajoinen on

$$\alpha_2 = (\alpha_2 \pm \Delta\alpha_2) = (10,7 \pm 1,4) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Putki on rautaa ja raudan kirjallisuusarvo on $11,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$.

Taulukossa 4. on saadut pituuden lämpötilakertoimet ja niitä vastaavat kirjallisuusarvot.

Taulukko 4. Lasketut pituuden lämpötilakertoimet sekä niitä vastaavat kirjallisuusarvot.

Putki	$(\alpha \pm \Delta\alpha) (10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}})$	$\alpha_{\text{kirj.}} (10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}})$ MAOL
1	(22 ± 1)	$\alpha_{\text{alumiini}} = 23,2$
2	$(15,4 \pm 1,5)$	$\alpha_{\text{kupari}} = 16,8$
3	$(10,7 \pm 1,4)$	$\alpha_{\text{teräs}} = 11,7$

3.6 Johtopäätökset

Vanhalla laitteistolla suoritettujen putkien lämpötilakertoimien määritykset epäonnistuvat. Lämpötilakertoimien arvot ovat liian pieniä ja mittauksen virheprosentti vaihtelee välillä 6,5 - 13 %.

Alumiiniputken pituuden lämpötilakertoimeksi saatiin $\alpha_{Al} = (22 \pm 1) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$ ja mittauksen virheprosentiksi n. 6,5%. Määritetty arvo on $\frac{23,2 - 22}{23,2} \cdot 100\% = 5,17\% \approx 5\%$ liian pieni verrattuna kirjallisuusarvoon.

Kupariputken pituuden lämpötilakertoimeksi saatiin $\alpha_{Cu} = (15,4 \pm 1,5) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$ ja mittauksen virheprosentiksi n. 10%. Määritetty arvo on $\frac{16,8 - 15,4}{16,8} \cdot 100\% = 8,33\% \approx 8\%$ liian pieni verrattuna kirjallisuusarvoon.

Rautaputken pituuden lämpötilakertoimeksi saatiin $\alpha_{Fe} = (10,7 \pm 1,4) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$ ja mittauksen virheprosentiksi n. 13%. Määritetty arvo on $\frac{11,7 - 10,7}{11,7} \cdot 100\% = 8,55\% \approx 9\%$ liian pieni verrattuna kirjallisuusarvoon.

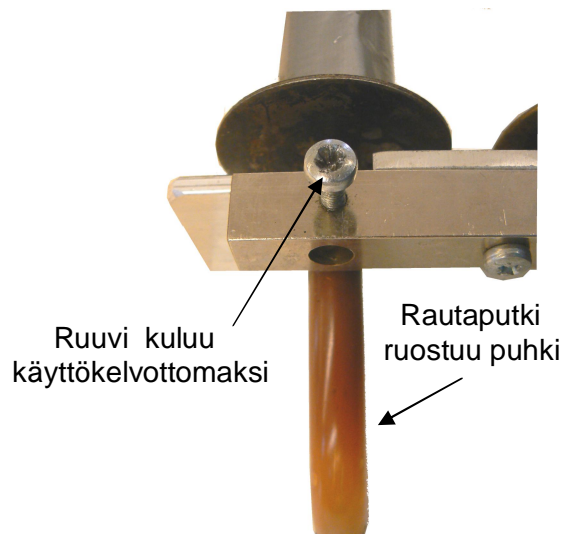
Määritetyt pituuden lämpötilakertoimet ovat liian pieniä luultavasti sen takia että laitteistossa tapahtuu lämpövuotoa eli putkien eristykset ovat huonot.

Kun laitteistossa käytetään yleistä käyttövetä niin kylmän veden ja lämpimän veden lämpötilat riippuvat voimakkaasti yleisen veden käyttöasteesta. Esimerkiksi työn suorittaminen keskipäivällä yleisen ruokailun aikana aiheuttaa sen että lämpötilaero kylmän ja kuumman veden välillä jää hyvin alhaiseksi. Tämä aiheuttaa sen että lämpölaajeneminen jää vähäiseksi ja virheprosentti kasvaa.

Mittakello kiristetään ruuvimeisselillä telineeseen kiinni. Mittakellon kiinnitysmekanismi mahdollistaa mittakellon rikkoutumisen, jos ruuvia kiristetään liikaa. Ruuvien kanta pyöristyy käytössä (Kuva 9.), mikä mahdollistaa mittakellon liiallisen kiristämisen.

Keskimmäinen putki on kuparia ja lämpötilaeron mittauksessa käytetään kupari/kuparinikkelitermoelementtiä. Tämä aiheuttaa häiriötä termojännitteen mittauksessa. Kupariputken lämpötilaeron mittauksessa pitäisi käyttää termoelementtinä jotain muuta metallia kuin kuparia. Luultavasti termoelementti tulkitsee koko kupariputken toiseksi liitoskohdaksi.

Kaiken lisäksi rautaputki ruostuu puhki (Kuva 9.), kun sen läpi johdettua vettä jää putkeen mittauksen jälkeen.



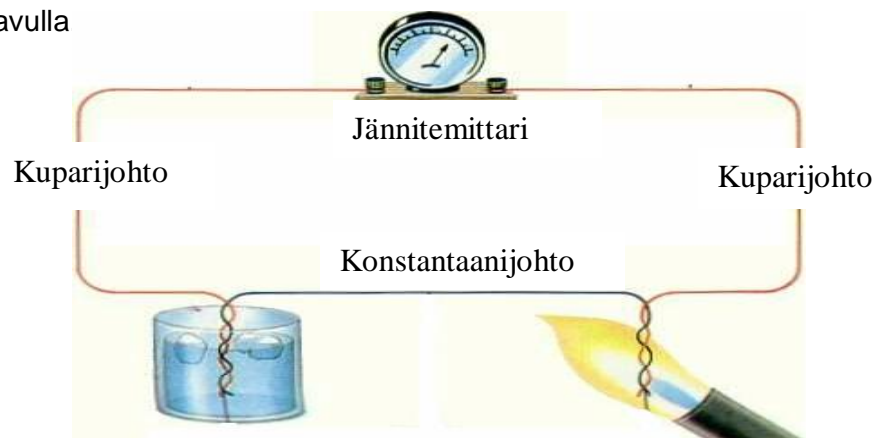
Kuva 9. Vanhan laitteiston ongelmia

4 TERMOELEMENTIN KALIBROINTI

Kun sähköparin yhdistysjohto järjestetään siten, että se ei ole muodostettu yhdestä metallista, vaan kahdesta erilaisesta, toisiinsa juotetusta, tai kiinteästi toisiinsa yhdistetystä metallista, esim. kuparista ja raudasta, niin juotoskohdalla esiintyy lämpövaikutuksia, nimittäin lämpeneminen tai jäähtyminen, aina sen mukaan missä suunnassa virta kulkee juotoskohdan läpi. Tätä virran vaikutusta nimitetään keksijänsä mukaan Peltierin ilmiöksi. [3]

Peltierin ilmiössä huomattiin ensi kerran sellainen sähkövirran ilmiö, joka voi palautua, siis tapahtua myöskin päinvastaisessa järjestyksessä. Nimittäin aivan samoin kuin sähkövirta synnyttää kahden metallin juotoskohdalla erityisen lämpenemisen tai kylmenemisen aina suuntansa mukaan, samoin synnyttää päinvastoin kahden suljetuksi piiriksi yhdistetyn metallin juotoskohdan lämmittäminen tai jäädyttäminen sähkövirran. Näitä virtoja nimitetään lämpövirroiksi ja ne keksi Seebeck vuonna 1823. Voimme siis synnyttää sähkövirtoja, jotka eivät ole syntyneet sähköpareissa, vaan ainoastaan yksinkertaisen lämpövaikutuksen kautta. Tätä sanotaan Seebeckin ilmiöksi. Kahden toisiinsa yhdistetyn metallin, joiden molempia liitoskohtia pidetään eri lämpötiloissa, sanotaan muodostavan lämpöelementin eli lämpöparin. [3]

Nykyistä lämpöparia kutsutaan termoelementiksi ja se on siis kahdesta erilaisesta johtimesta muodostuva silmukka, johon on nykyisin kytketty herkkä jännitemittari (Kuva 10.). Johtimet on valmistettu esimerkiksi kuparista ja konstantaanista. Johtimien liitoskohdat kytketään eri lämpötiloihin ja syntynyt silmukan lähdejännite mitataan. Kun lähdejännite on mitattu, saadaan liitoskohtien välinen lämpötilaero taulukkokirjan tai kokeellisesti määritetyn kuvaajan avulla



Kuva 10. Termoelementin kytkentäkaavio

4.1 Mittvälineet

Alapuolella on luettelo mittvälineistä (Kuvat 11–18), joita käytetään termoelementin kalibroinnissa.

Magneettisekoittaja Agimatic-N



Kuva 11. Magneettisekoittaja

Magneettisekoittajan magneetit



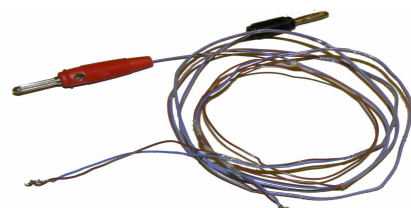
12. Magneetikappale

Mittalasi



Kuva 13. Mittalasi

Termoelementti Type-T (Cu/Cu-Ni)



Kuva 14. Termoelementti

Kalorimetri: Phywe



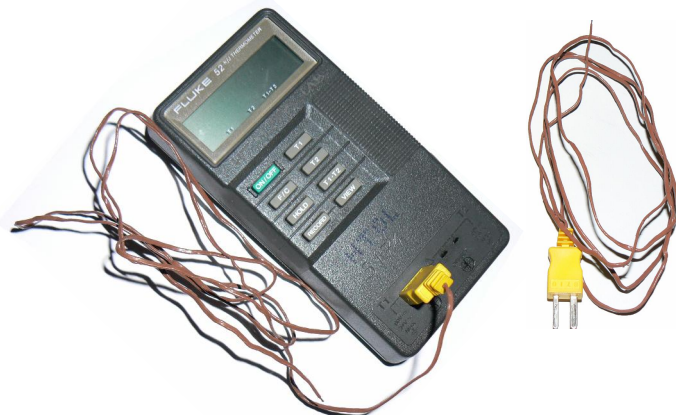
Kuva 15. Kalorimetri

Jääpalateline



Kuva 16. jääpaloja

Lämpömittari: Fluke 52



Kuva 17. Lämpömittari ja mittajohdot

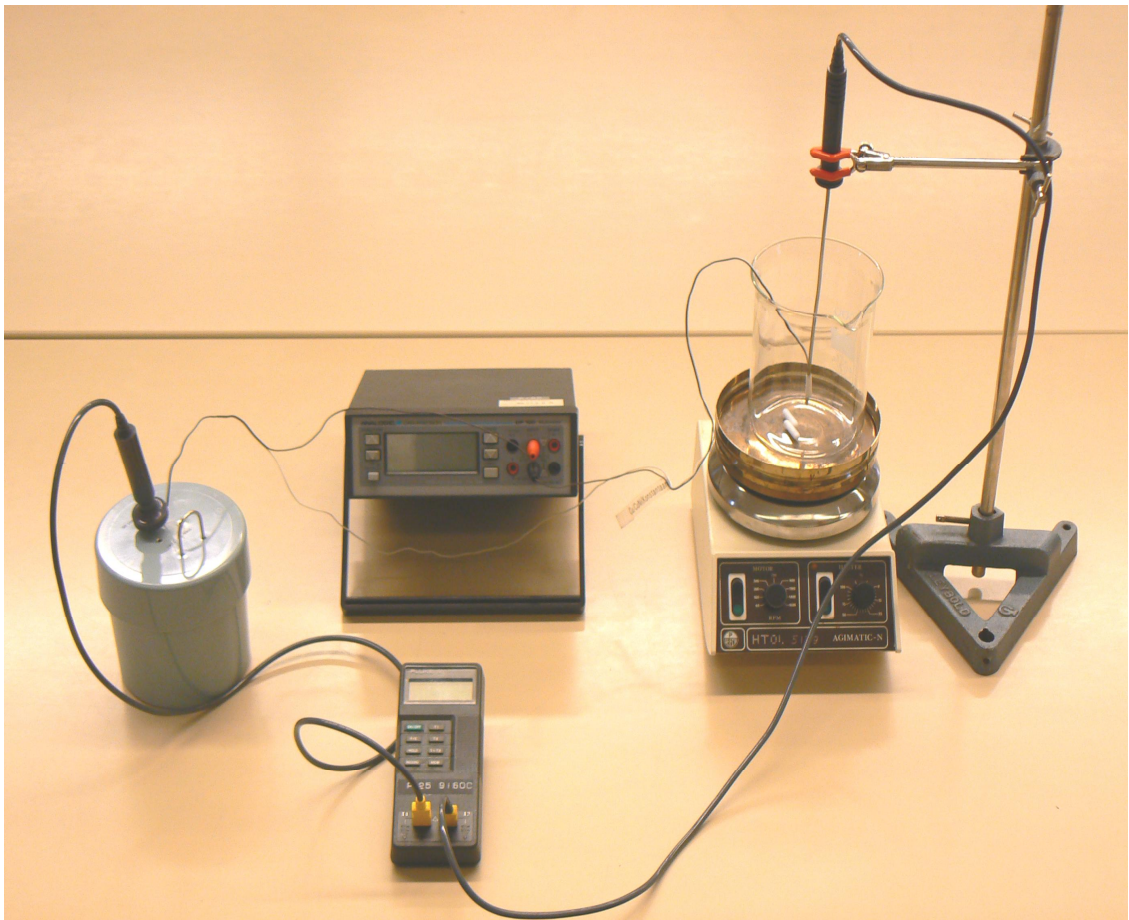
Yleismittari: DP100 MULTIMETER



Kuva 18. Yleismittari

4.2 Kyt Kentä

Alapuolella olevassa kuvassa 19. on esitetty termoelementin kalibroituskyt Kentä.



Kuva 19. Termoelementin kalibroi ti.

4.3 Mittaukset

Termoelementin liitoskohdat teipataan lämpömittarin mittajohtimiin niin, että liitoskohdat jäävät vapaaksi eli eivät jää teipin alle. Lämpömittari kytketään päälle painamalla vihreää *on/off*-nappia. Mittarista valitaan $(T_1 - T_2)$ -mittausalue. Näin lämpömittari mittaa termoelementin liitoskohtien välisen lämpötilaeron ΔT .

Termoelementti kytketään yleismittarin *INPUT*-napoihin. Yleismittari kytketään päälle painamalla *STANDBY*-nappia. Yleismittarista valitaan tasajännitealue *FUNCTION*-nappia painamalla niin kauan kunnes näytössä näkyy *DC V*. Mittarista valitaan automaattinen jänniteskaalaus painamalla *RANGE*-painiketta niin kauan kunnes näyttötaulun oikeassa yläkulmassa lukee *AUTO*.

Kalorimetriin kaadetaan noin 3 dl kylmää vettä. Pakastimesta otetaan levyllinen jääpaloja. Jääpalalevyä vaaleallaan lämpimällä kraanavedellä, jolloin jääpalat irtoavat helpommin. Jääpalat kaadetaan kalorimetriin. Kalorimetrin kansi suljetaan huolellisesti.

Termoelementin toinen liitoskohta työnnetään kalorimetrin kannen reiästä jääveteen.

Lämmönkestävä lasiastia laitetaan magneettisekoittajan päälle. Lasiastiaan kaadetaan vettä noin 200 ml. Magneettisekoittajan lämmitys kytketään päälle *HEATER*-katkaisijasta ja moottori *MOTOR*-katkaisijasta. Valkoinen magneetikappale pudotetaan veteen. Lämmitys säädetään 50 %:iin ja kierrosluku (*RPM*) 900:aan, jolloin magneetikappale alkaa pyöriä.

Termoelementin toinen liitoskohta asetetaan statiivin kouraan ja upotetaan lasiastiaan niin ettei se kosketa lasiastiaa.

Lämpötilaero ΔT_i ja sitä vastaava termojännite U_i luetaan minuutin välein. Mittauksia suoritetaan 10 kappaletta ja mittaustulokset taulukoidaan taulukkoon 5.

4.4 Tulokset

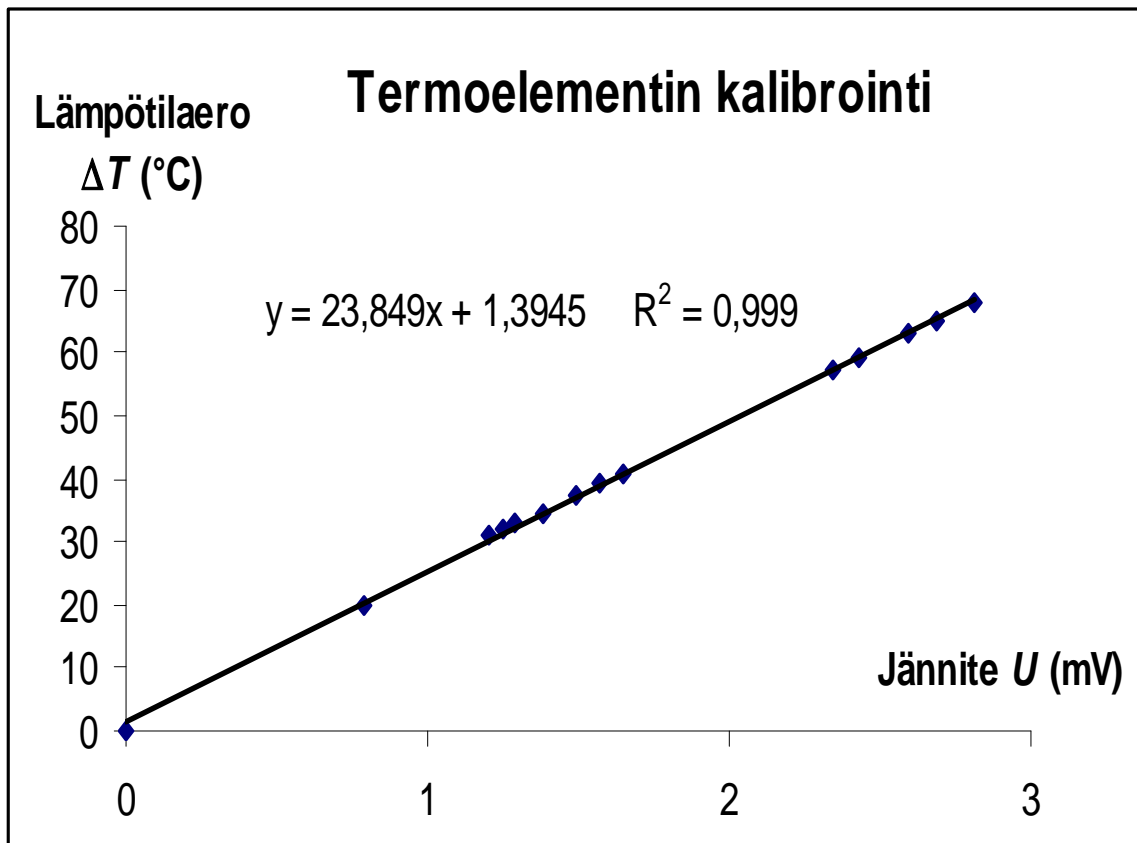
Mittaustulokset eli termoelementin liitoskohtien väliset lämpötilaerot ΔT_i ja niitä vastaavat termojännitteet U_i taulukoidaan Excel taulukko-ohjelmaa käyttäen (taulukko 5).

Taulukko 5. Termoelementin mittaustulokset.

U (mV)	ΔT (°C)
0,0	0,0
0,79	20,0
1,20	30,9
1,25	31,9
1,29	32,8
1,38	34,5
1,49	37,1
1,57	39,1
1,65	40,9
2,34	57,3
2,43	59,3
2,59	62,9
2,69	65,0
2,81	67,8

Piirretään (x,y)-koordinaatistossa eli (U , ΔT)-koordinaatistossa mittauspisteisiin parhaiten sopiva suora ja määritetään suoran kulmakerroin virherajoihin $k = (k \pm \Delta k)$.

Kulmakerroin on tässä tapauksessa sama kuin termoelementin kalibroitivakio ja sen yksikkö on $[k] = 1 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{mV}}$. Termoelementtiä käytettäessä termojännitteet U voidaan siis muuttaa lämpötilaeroiksi ΔT kertomalla ne kalibroitivakiolla k eli $\Delta T = k \cdot U$.



Kuva 20. Kalibrointikäyrä.

Kalibrointikäyrästä saadaan kalibrointivakioksi $k = (k \pm \Delta k) = (23,8 \pm 0,3) \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{mV}}$.

5 PITUUDENLÄMPÖTILAKERTOIMIEN MÄÄRITYS UUDELLA LAITTEISTOLLA

Pituuden lämpötilakerroin määritetään putkien sisällä olevilla PTC-vastuksilla, joiden avulla muutetaan lämpötilaa. Putkien pituudet ovat 1090 mm. Putkien toiset päät kiinnitetään tukevasti ja toiset päät jäävät vapaiksi, jotta putket pääsevät laajenemaan. Lämpötilan mittausta suoritetaan termoelementillä putken pinnasta. Pituuden muutos mitataan mittakellolla.

Työnnetään PTC-vastus putken sisään. Kytetään PTC-vastus suojaerotusmuuntajaan. Asennetaan mittakello mittakellon pidikkeeseen (kuva 28) ja pidike asetetaan telineeseen (kuva 33) ja kiristetään kiinni. Kalorimetriin kaadetaan noin 3 dl kylmää vettä. Pakastimesta otetaan levyllinen jääpaloja. Jääpalalevyä valellaan lämpimällä kraanavedellä, jolloin jääpalat irtoavat helpommin. Jääpalat kaadetaan kalorimetriin. Kalorimetrin kansi suljetaan huolellisesti. Termoelementin vapaana oleva pää laitetaan kalorimetriin ja termoelementti kytketään DP100 MULTIMETER -yleismittarin *INPUT*-napoihin. Yleismittari kytketään päälle painamalla *STANDBY*-nappia. Yleismittarista valitaan tasajännitealue *FUNCTION*-nappia painamalla niin kauan kunnes näytössä näkyy *DC V*. Mittarista valitaan automaattinen jänniteskaalaus painamalla *RANGE*-painiketta niin kauan, kunnes näyttötaulun oikeassa yläkulmassa lukee *AUTO*. Kytetään virta suojaerotusmuuntajaan ja säädetään sähkövirta 1,2 ampeeriin. Katsotaan putken pitenemä mittakellosta n. 0,5 mA:n välein ja kirjataan lukema ylös.

5.1 Mittavälineet

Kuvissa 21–28 ovat uudella laitteella tehtävien mittausten tarvikkeet.

Mittakello : Mitutoyo



Kuva 21. Mittakello

Yleismittari : DP100 MULTIMETER



Kuva 22. Yleismittari

Kalorimetri: PHYWE



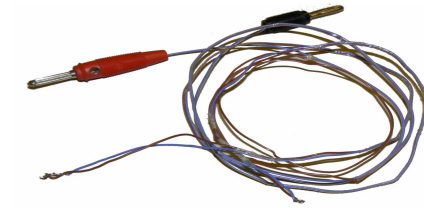
Kuva 23. Kalorimetri

Jääpalateline



Kuva 24. Jääpaloja

Termoelementti : Type-T (Cu/Cu-Ni)



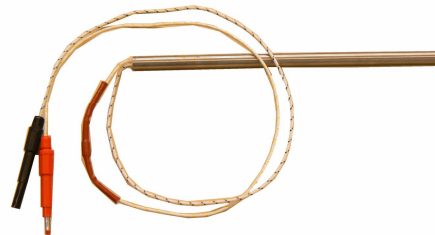
Kuva 25. Termoelementti

Suojaerotusmuuntaja:



Kuva 26. Suojaerotusmuuntaja

PTC-vastus



Kuva 27. PTC-vastus

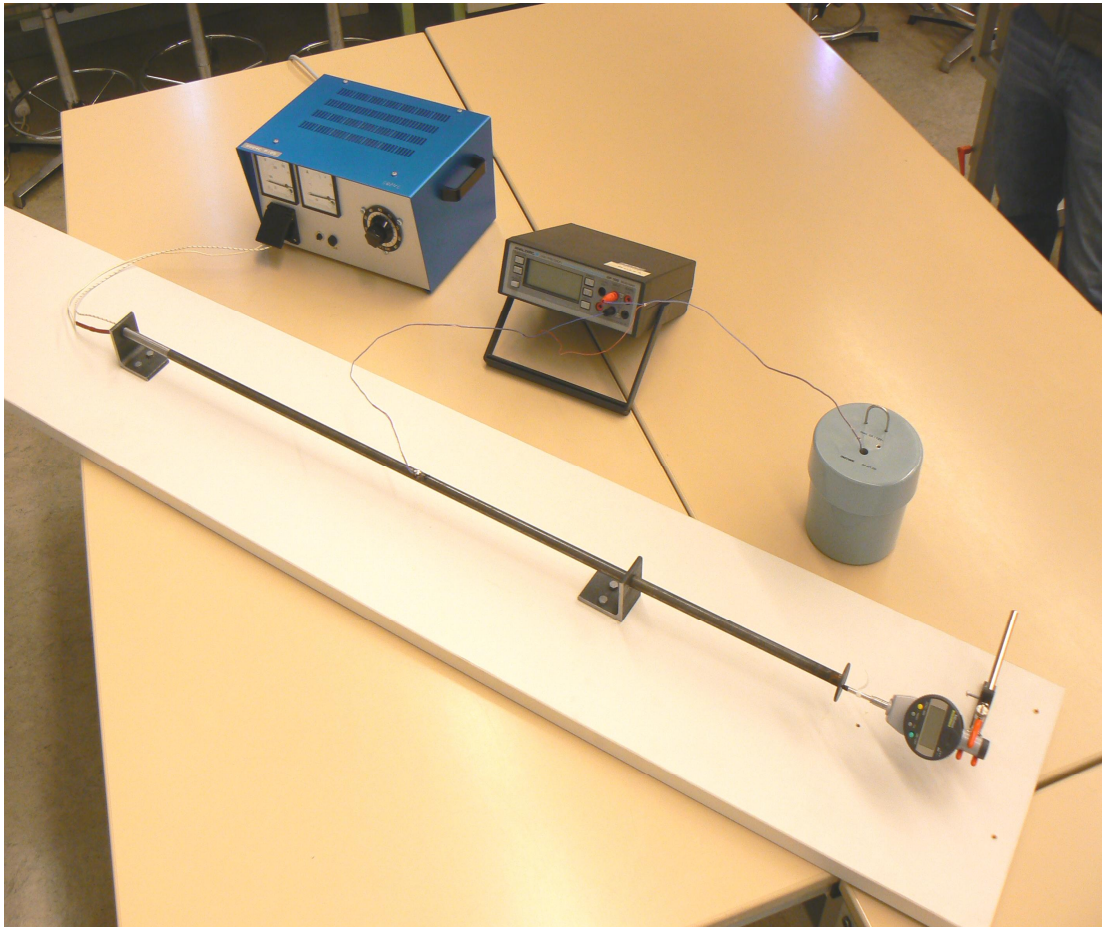
Mittakellon pidike



Kuva 28. Mittakellon pidike

5.2 Kyt Kentä

Alapuolella olevassa kuvassa 34 on esitetty uuden laitteen kytkentä.



Kuva 34. Uuden laitteen kytkentä.

5.3 Mittaukset

Mitattiin termoelementillä jännitettä putken pinnasta ja sitä vastaavaa putken pitenemää mittakellolla. Mitattiin putken alkupituus $l_0 = 1090\text{mm}$. Putkien lämpötilaa muutetaan $10\text{ }^\circ\text{C}$ välein mittaamalla samalla lämpötilaeroa Δt vastaavat putkien pituuden Δl muutokset. Pituuden lämpötilakerroin saadaan näin graafisesti, kun esitetään pituuden suhteellinen muutos $\Delta l / l_0$ lämpötilan muutoksen Δt funktiona. Koska α on mittaustarkkuuden rajoissa vakio, saadaan kuvaajaksi suora, jonka fysikaalinen kulmakerroin on α . Taulukossa 6. on mittaustulokset.

Taulukko 6. Mittaukset uudella laitteella

$U(\text{mV})$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
$\Delta l(\text{mm})$	0,19	0,35	0,49	0,65	0,77	0,91	1,07	1,24	1,36	1,51	1,65

Jännitteet on muutettava lämpötiloiksi, jotta päästään eteenpäin. Uudella laitteella lämpötila nousee jopa $130\text{ }^\circ\text{C}$:seen, joten ei voida käyttää vanhan laitteen kalibroitikerrointa, koska kerroin pienenee lämpötilan kasvaessa, vaan uusi kerroin on selvítettävä termoelementin valmistajan antamasta taulukosta (LIITE 2).

5.4 Tulokset

Määritetään jännitteitä vastaavat lämpötilat käyttämällä määritettyä kerrointa lämpötilavälillä $0^\circ\text{C} - 126^\circ\text{C}$. Kerroin $k = 22$, joten nyt muutetaan mitatut jännitteet lämpötilaeroiksi kaavalla 6. Suhteellinen pitenemä lasketaan kaavalla

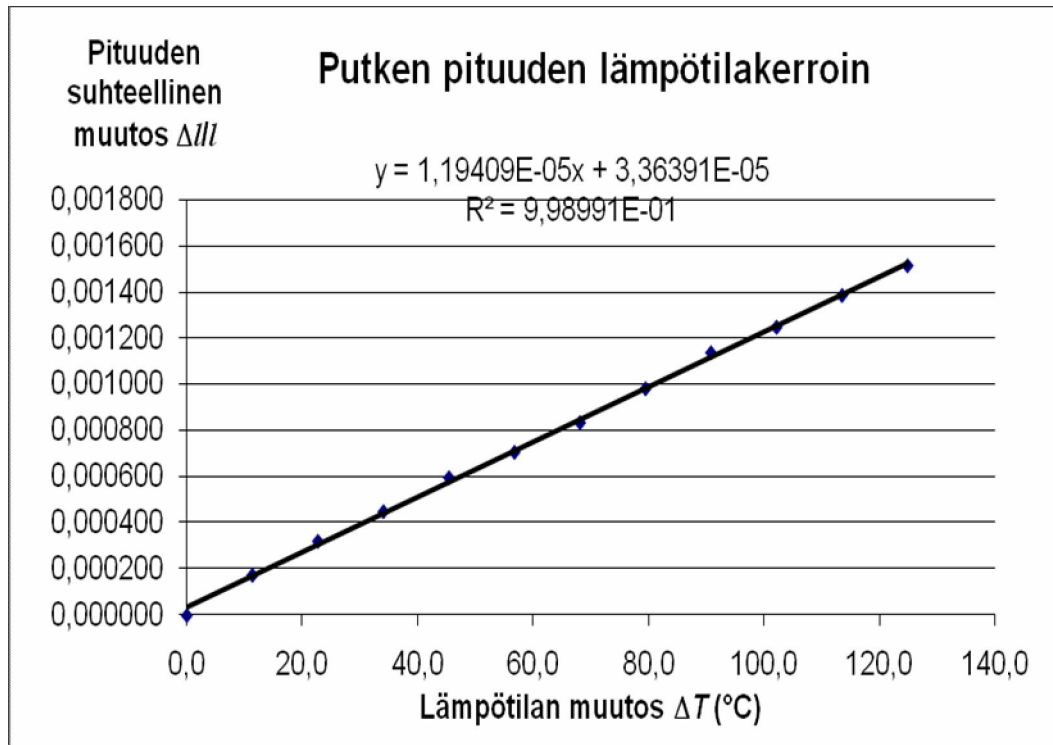
$$x = \frac{\Delta l}{l} \quad (8)$$

Taulukoidaan tulokset. Taulukossa 7. on mitattu putken pitenemä sekä jännite ja laskettu suhteellinen pitenemä sekä lämpötila.

Taulukko 7. Putken pitenemä, suhteellinen pitenemä, termojännite ja lämpötila.

Δl (mm)	$\Delta l/l$	U (mV)	ΔT (°C)
0	0,000000	0	0,0
0,19	0,000174	0,5	11,4
0,35	0,000321	1,0	22,7
0,49	0,000450	1,5	34,1
0,65	0,000596	2,0	45,4
0,77	0,000706	2,5	56,8
0,91	0,000835	3,0	68,1
1,07	0,000982	3,5	79,5
1,24	0,001138	4,0	90,8
1,36	0,001248	4,5	102,2
1,51	0,001385	5,0	113,5
1,65	0,001514	5,5	124,9

Nyt piirretään kuvaaja, jossa x-akselilla on lämpötila ΔT ja y-akselilla suhteellinen pitenemä $\Delta l/l$. Kuvaajan kulmakerroin on mitatun kappaleen lämpötilakerroin α .



Putken lämpötilakerroin $\alpha = (11,9 \pm 0,2) 1/^\circ\text{C}$.

5.5 Virhetarkastelu

Virhetarkastelussa käytettiin suhteellisen virheen menetelmää.

Putken alkupituuden l_0 mittausrvirheeksi Δl_0 arvioitiin metrimitan mittaustarkkuus eli 1 mm. Pituuden muutoksen Δl mittausrvirheeksi $\Delta(\Delta l)$ arvioitiin 0,03 mm mittakellon lukeman vaihteluiden takia. Termojännitelukeman U virheeksi ΔU arvioitiin 0,01 V jännitemittarin lukeman vaihteluiden takia. Termoelementin kalibrointivakion k virheeksi saatiin $\Delta k = 0,3 \frac{^\circ\text{C}}{\text{mV}}$ (Luku 4).

Putken pituuden lämpötilakertoimen α suhteellinen virhe lasketaan kaavalla 6.

$$\frac{\Delta\alpha_1}{\alpha_1} = \frac{1}{1090} + \frac{0,03}{1,65} + \frac{0,3}{22,0} + \frac{0,01}{5,5} = 0,0346$$

Suhteellinen virhe prosentteina on noin 3,5 %. Suhteellisen virheen avulla lasketaan lämpötilakertoimen absoluuttinen virhe. Putken pituuden lämpötilakertoimen absoluuttinen virhe on

$$\Delta\alpha_1 = 11,941 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 0,0346 = 0,413 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \approx 0,4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Näin ollen putken pituuden lämpötilakerroin virherajoinen on

$$\alpha_1 = (\alpha_1 \pm \Delta\alpha_1) = (11,9 \pm 0,4) \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

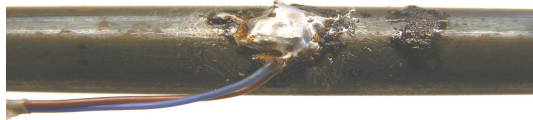
Putki on terästä ja teräksen kirjallisuusarvo on $11,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$.

5.6 Johtopäätökset

Putken pituuden lämpötilakertoimen määrittäminen onnistuu uudella laitteella hyvin. Kirjallisuusarvo on virherajojen sisällä ja suhteellinen virhe on vain noin 3,5 %. Sähkövastuksella lämmittäminen on suhteellisen nopeaa, saadaan tarpeeksi korkea lämpötila, ja putken lämpölaajenema on huomattavasti suurempi kuin vanhalla laitteella. Näin ollen virheprosentti pienenee verrattuna vanhaan laitteeseen ja päästään haluttuihin tuloksiin.

6 LAITTEEN RAKENTAMINEN

Laitteeseen tarvitaan 1090 mm pitkä putki, jonka sisähalkaisija on 10,5–11 mm ja ulkohalkaisija 13 mm. Putken sisään on mahduttava PTC-vastus, jonka halkaisija on 10 mm, pituus 1090 mm ja tehonkesto on 1000 W. Putken pintaan keskikohtalle juotetaan termoelementti. Jos juotos ei tahdo onnistua, niin putken pintaa voi juotoskohdasta karhentaa raaputtamalla.

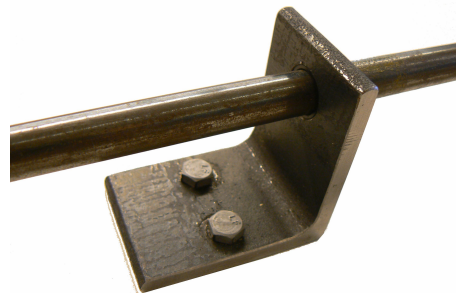


Kuva 29. Tutkittavan teräsputken keskikohtaan on juotettu kiinni termoelementin toinen liitoskohta.

Putken tuet (LIITE 4 ja 5) ja mittakellon tuki (LIITE 3) valmistetaan 60mm x 40mm kulma-raudasta, jonka paksuus on 4 mm. Eristepalikat eli holkit (LIITE 6 ja 7) valmistetaan materiaalista nimeltä pommi. Päätyholkki tulee päätytuen sisään ja väliholkki toisen tuen sisään. Holkit voidaan naputella vasaralla varovasti paikoilleen.



Kuva 30. Tutkittavan teräsputken toinen pää, joka on kiinnitetty tiivisteellä kiinteästi päätytukeen.



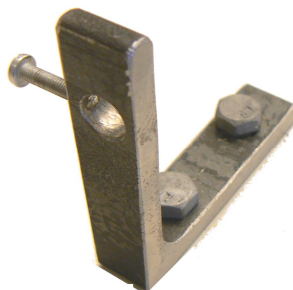
Kuva 31. Tutkittavan kappaleen keskikohta, joka on kiinnitetty tiivisteellä vapaasti keskitukeen.

Vapaana olevaan putken päähän hitsataan tai juotetaan putken kanssa samaa materiaalia oleva päätylaippa, jonka halkaisija on n. 50 mm ja paksuus 1–2 mm.



Kuva 32. Tutkittavan teräsputken toiseen päähän on juotettu kiinni metallilevy, josta mitatetaan putken lämpölaajeneminen mittakellolla.

Kuvassa 28 oleva mittakellon pidike työnnetään kuvan 33 mittakellon tuen läpi. Pidike on standardiosa, ja niitä pystyy tilaamaan valmistajalta. Ruuvi, jolla pidike kiristetään tukeen, on M3.



Kuva 33. Mittakellon kiinnitysmekanismi.

Laite voidaan rakentaa puualustalle tai muulle, kestäväälle ja tukevalle alustalle, johon kaikki tuet ruuvataan kiinni (kuva 34).

7 YHTEENVETO

Työssä muutettiin putkien lämmitys vesijohtovedellä tapahtuvasta sähköisellä vastuksella tapahtuvaksi. Näin päästiin huomattavasti korkeampaan lämpötilaan ja mittaukset saadaan tehtyä vanhaa laitetta nopeammin. Uudessa laitteessa on pitempi putki. Näistä syistä johtuen uudella laitteella lämpölaajeneminen on suurempaa ja virheprosentti pienempi. Mittakellon rikkova kiristystapa muutettiin ottamalla käyttöön standardiosa, jota kiristetään. Näin mittakello ei rikkoudu.

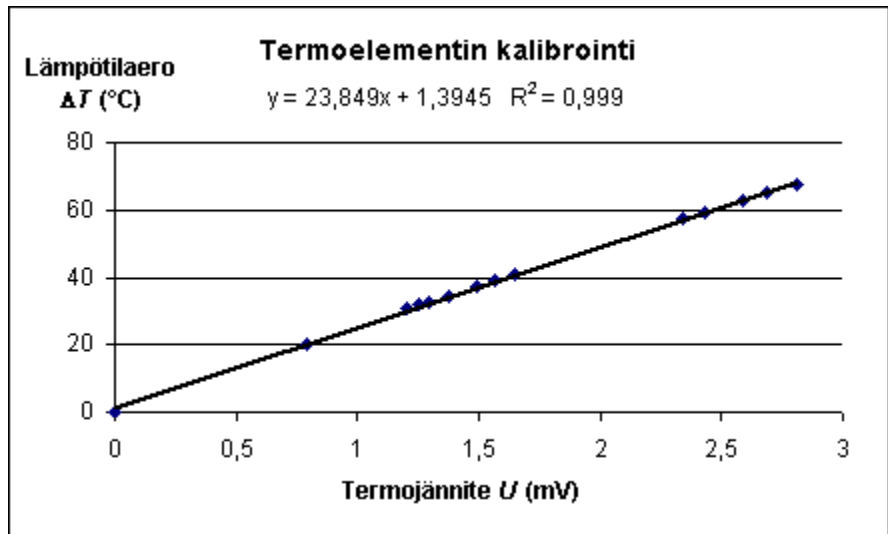
Uuden laitteen suunnittelussa ja rakentamisessa onnistuttiin, sillä laite toimii ja mittaukset onnistuvat. Tuloksissa päästään lähelle kirjallisuusarvoa. Lähtökohdat, joissa ongelmina olivat vanhan laitteiston liian alhainen saavutettu lämpötila, putkien lyhydet, mittakellon rikkova kiinnitysmekanismi ja rautaputken ruostuminen ovat ratkaistu uudelleen suunnitellulla ja muuttamalla lämmitys sähkövastuksella tehtäväksi.

VIITELUETTELO

- [1] Mäkelä, Mikko - Mäkelä Riitta - Siltanen Olavi, *Insinöörikoulutuksen Fysiikka 1*. Tampere: Tammertekniikka. 2001.
- [2] *Tekniikan kaavasto* . Tampere: Tammertekniikka. 2001.
- [3] *Graetz, L. Sähkö ja sen käyttö*. Porvoo: WSOY. 1922.

Termoelementin kalibrointi vanhalla laitteella

U (mV)	ΔT (°C)
0	0
0,79	20
1,2	30,9
1,25	31,9
1,29	32,8
1,38	34,5
1,49	37,1
1,57	39,1
1,65	40,9
2,34	57,3
2,43	59,3
2,59	62,9
2,69	65
2,81	67,8



$$k = (k \pm \Delta k)$$

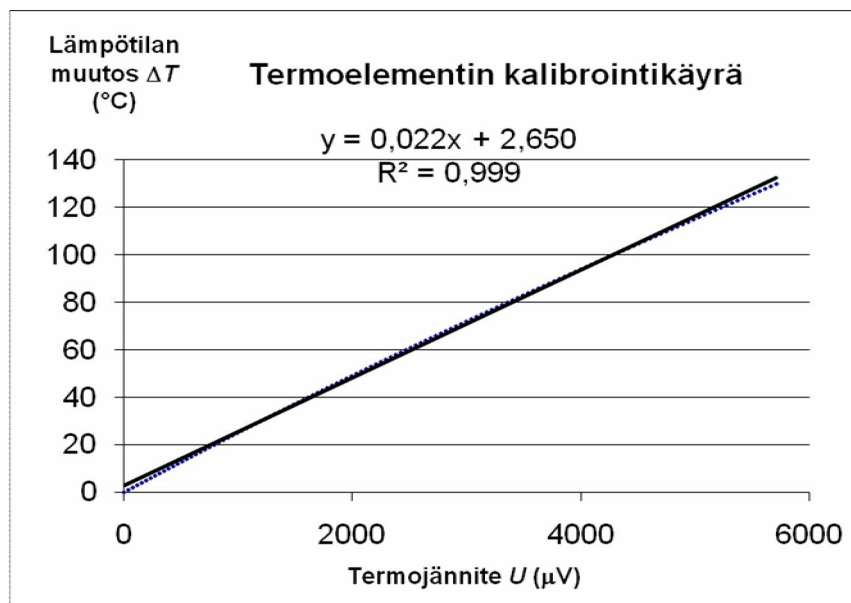
$$(23,8 \pm 0,3)$$

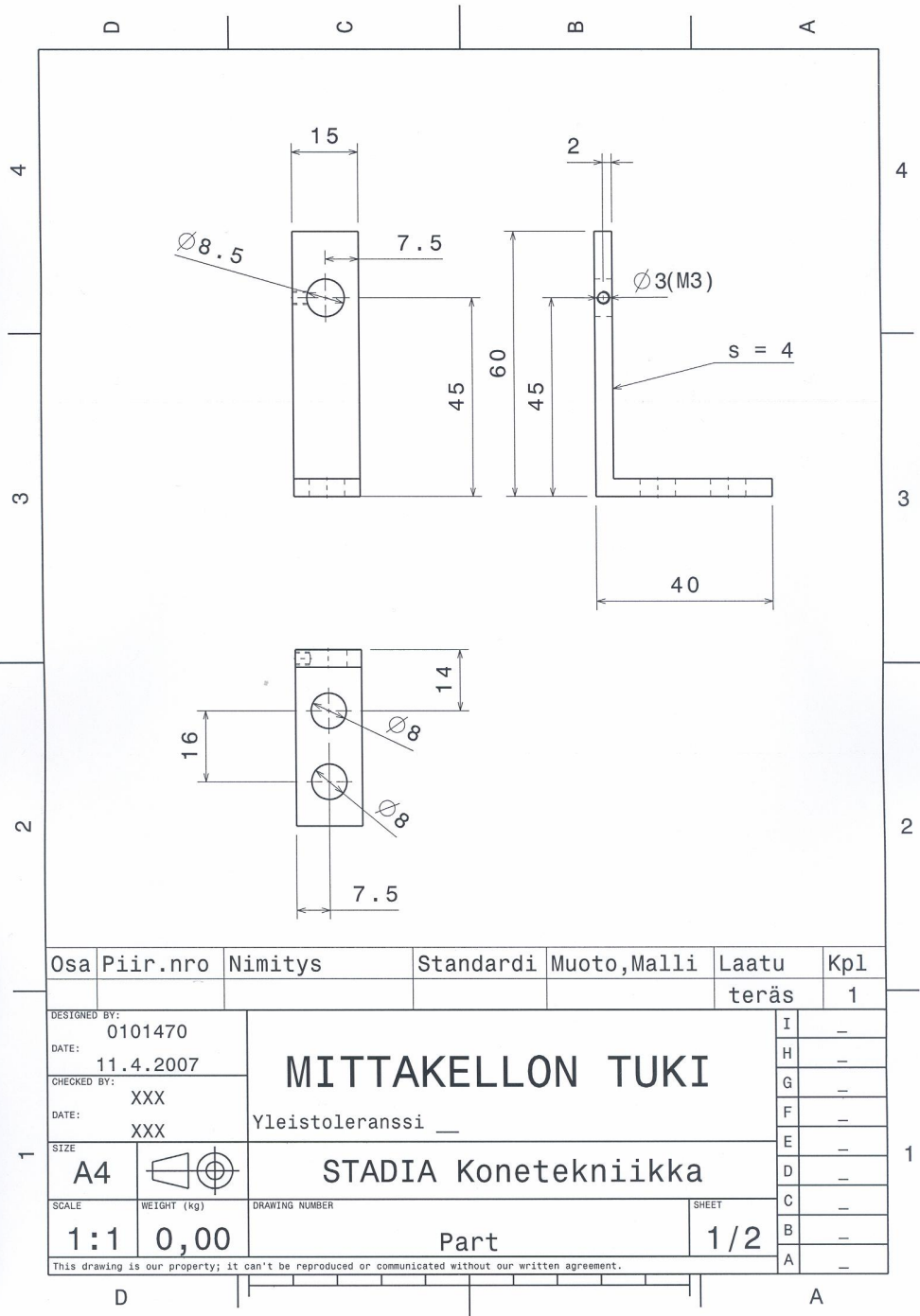
$$^{\circ}\text{C}/\text{mV}$$

23,84908457	1,394535	#N/A
0,212880816	0,393453	#N/A
0,999044797	0,618604	#N/A
12550,7701	12	#N/A
4802,817232	4,592053	#N/A

Termoelementin kalibrointi uudella laitteella

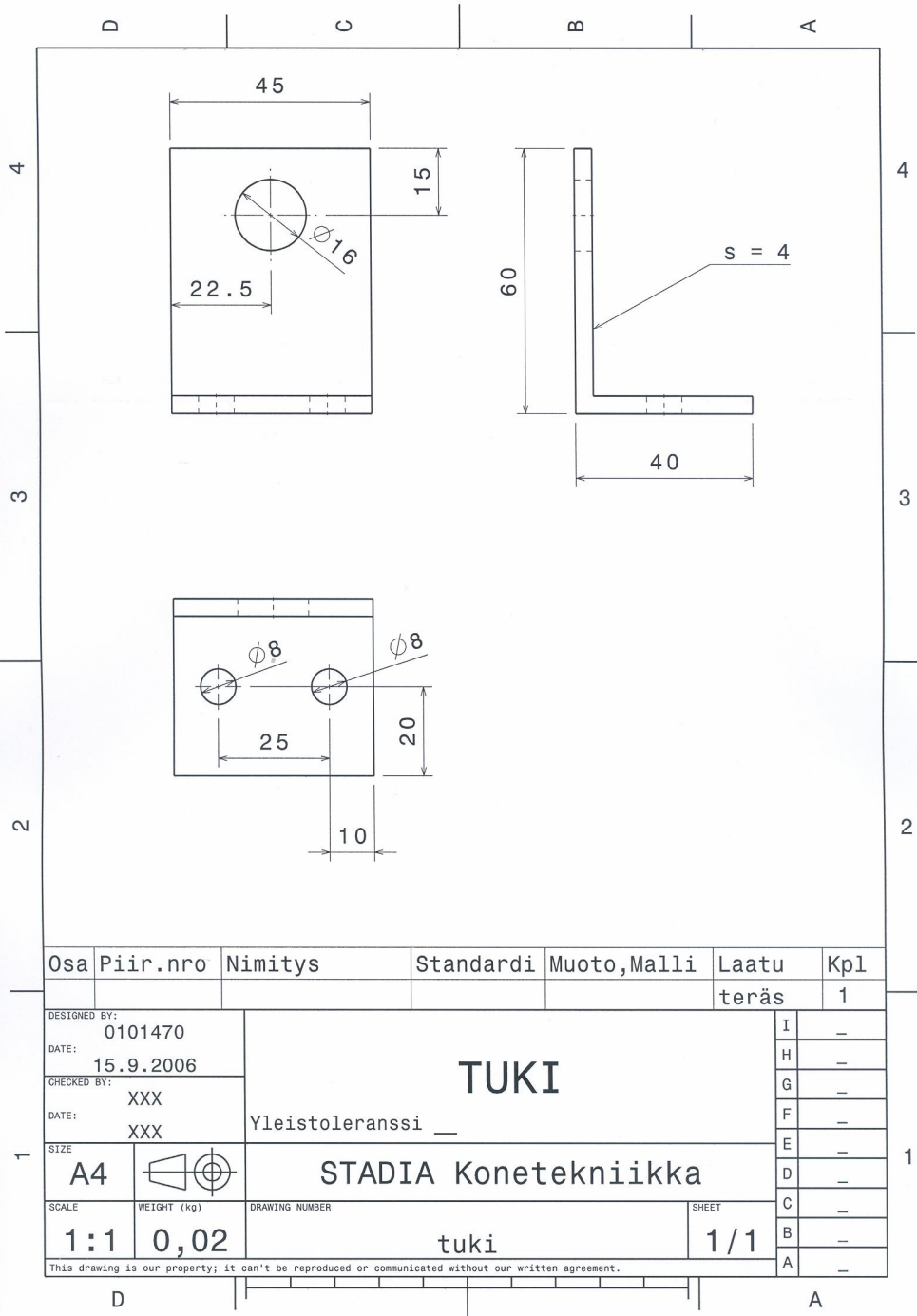
T(C)	U(μV)								
0	0								
1	39	31	1238	61	2512	91	3860	121	5277
2	78	32	1279	62	2556	92	3907	122	5325
3	117	33	1320	63	2600	93	3953	123	5373
4	156	34	1362	64	2643	94	3999	124	5422
5	195	35	1403	65	2687	95	4046	125	5470
6	234	36	1445	66	2732	96	4092	126	5519
7	273	37	1486	67	2776	97	4138	127	5567
8	312	38	1528	68	2820	98	4185	128	5616
9	352	39	1570	69	2864	99	4232	129	5665
10	391	40	1612	70	2909	100	4 279	130	5714
11	431	41	1654	71	2953	101	4325	131	5763
12	470	42	1696	72	2998	102	4372	132	5812
13	510	43	1738	73	3043	103	4419	133	5861
14	549	44	1780	74	3087	104	4466	134	5910
15	589	45	1823	75	3132	105	4513	135	5959
16	629	46	1865	76	3177	106	4561	136	6008
17	669	47	1908	77	3 222	107	4608	137	6057
18	709	48	1950	78	3267	108	4655	138	6107
19	749	49	1993	79	3312	109	4702	139	6156
20	790	50	2036	80	3358	110	4750	140	6206
21	830	51	2079	81	3403	111	4798	141	6255
22	870	52	2122	82	3 448	112	4845	142	6305
23	911	53	2165	83	3494	113	4893	143	6355
24	951	54	2208	84	3539	114	4941	144	6404
25	992	55	2251	85	3585	115	4988	145	6454
26	1033	56	2294	86	3631	116	5036	146	6504
27	1074	57	2338	87	3677	117	5084	147	6554
28	1114	58	2381	88	3722	118	5132	148	6604
29	1155	59	2425	89	3768	119	5180	149	6654
30	1196	60	2468	90	3814	120	5228	150	6704

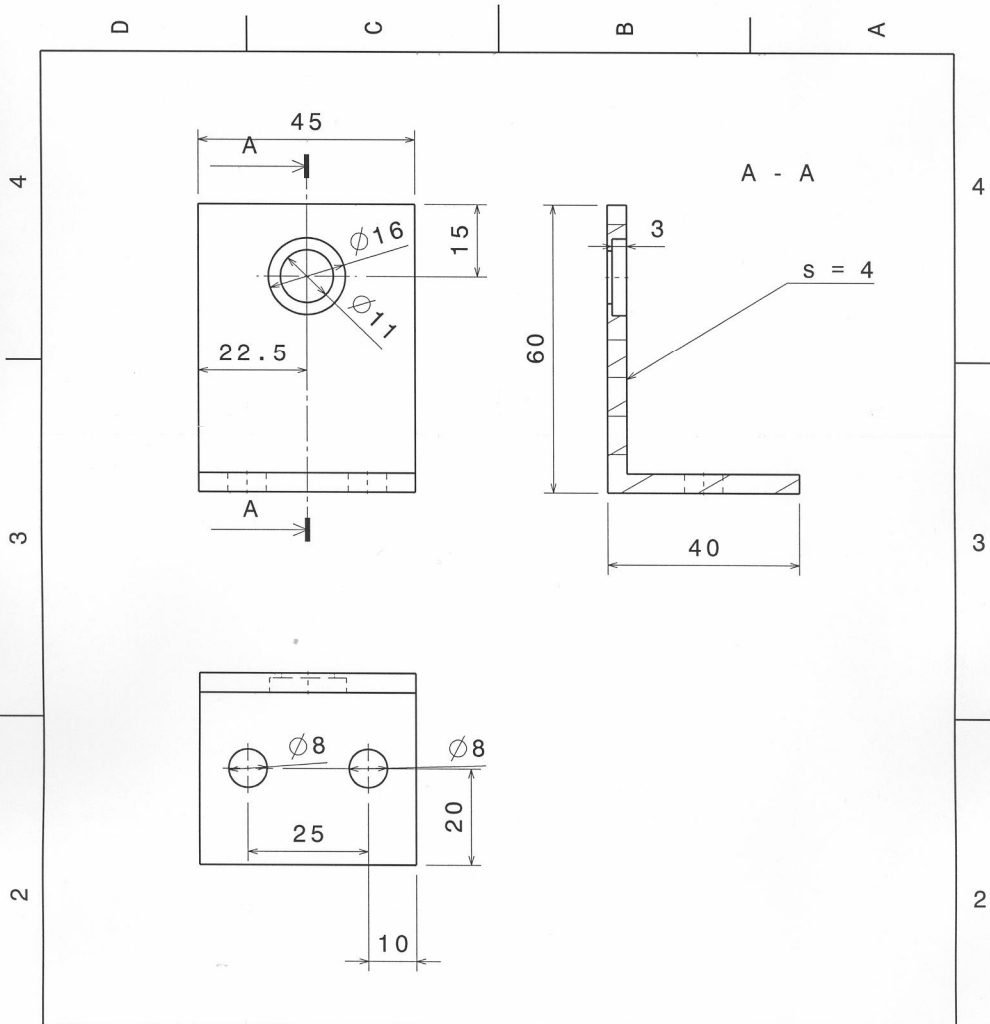




Osa	Piir.nro	Nimitys	Standardi	Muoto, Malli	Laatu	Kpl		
					teräs	1		
DESIGNED BY:	0101470	MITTAKELLON TUKE				I	-	
DATE:	11.4.2007							
CHECKED BY:	XXX	Yleistoleranssi _				G	-	
DATE:	XXX							
SIZE	A4	STADIA Konetekniikka				E	-	
SCALE	1:1							
WEIGHT (kg)	0,00	Part				C	-	
DRAWING NUMBER								
					SHEET	1/2	A	-

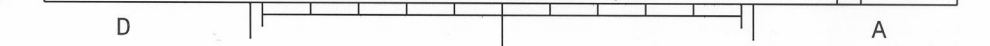
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

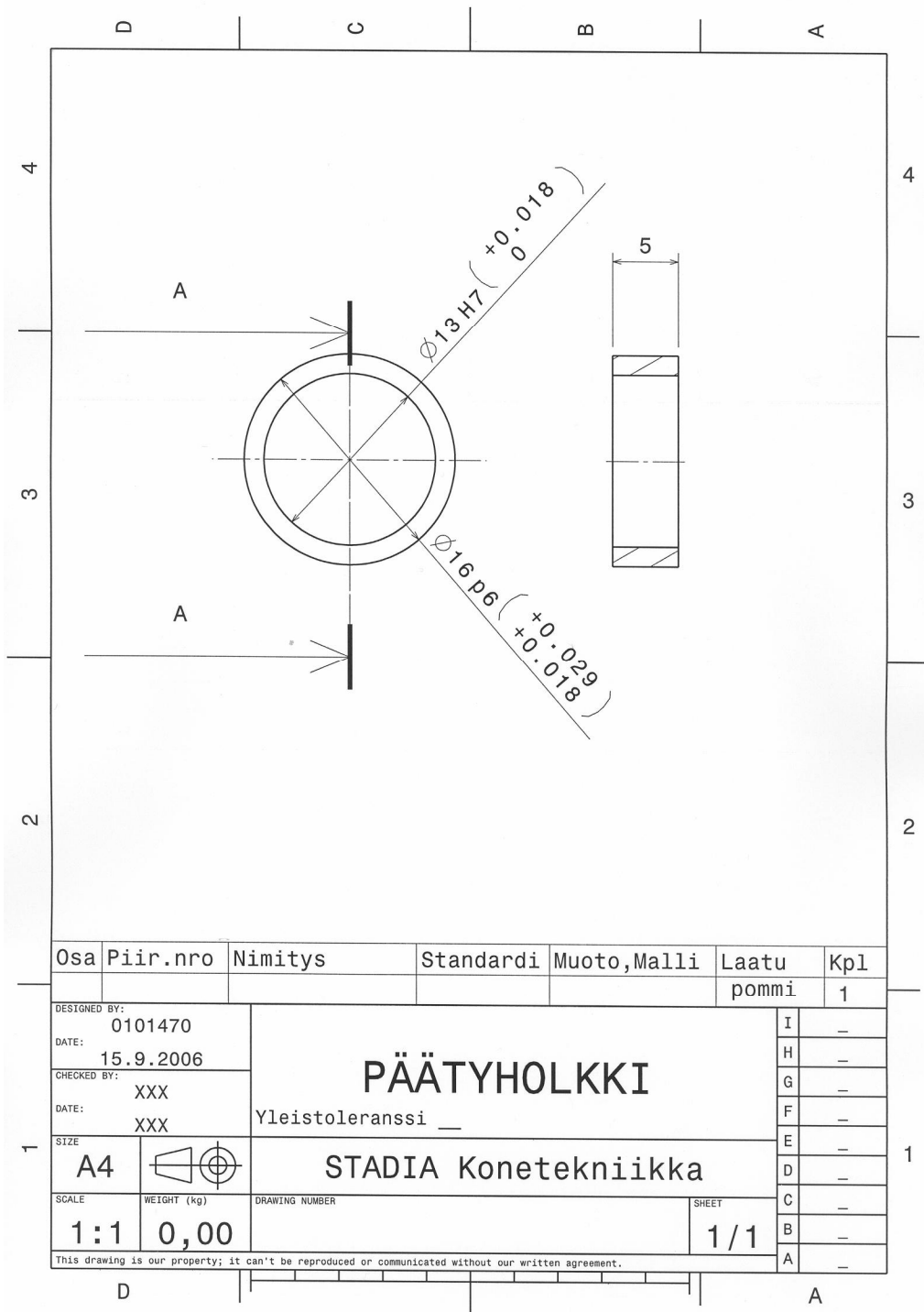


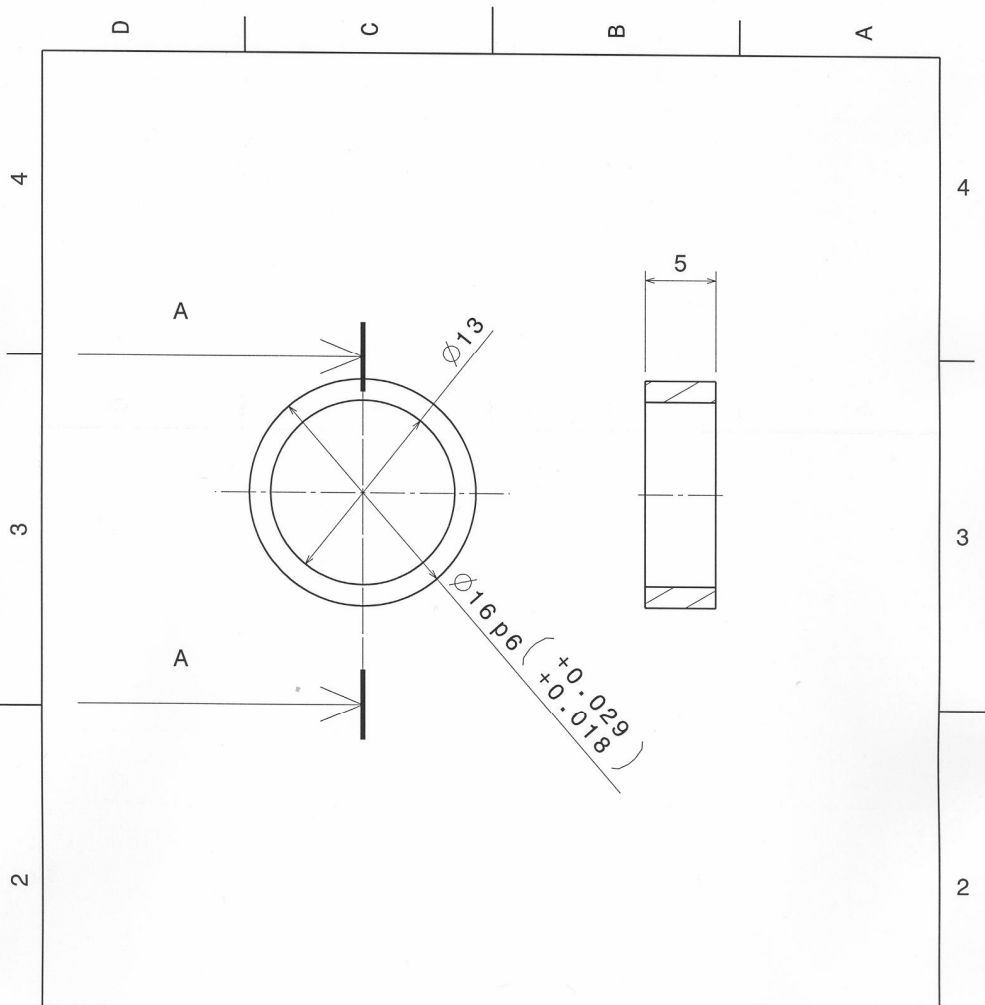


Osa	Piir.nro	Nimitys	Standardi	Muoto,Malli	Laatu	Kpl	
					teräs	1	
DESIGNED BY: 0101470		PÄÄTYTUKI				I	-
DATE: 15.9.2006						H	-
CHECKED BY: XXX						G	-
DATE: XXX		Yleistoleranssi _				F	-
SIZE	A4	STADIA Konetekniikka				E	-
SCALE	1:1					WEIGHT (kg)	0,03
						C	-
						B	-
						A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.







Osa	Piir.nro	Nimitys	Standardi	Muoto,Malli	Laatu	Kpl
					pommi	1

DESIGNED BY: 0101470	VÄLIHOLKKI	I	-
DATE: 15.9.2006		H	-
CHECKED BY: XXX		G	-
DATE: XXX	Yleistoleranssi _	F	-
SIZE: A4	STADIA Konetekniikka	E	-
SCALE: 1:1		D	-
WEIGHT (kg): 0,00	DRAWING NUMBER	C	-
		B	-
		A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

1

1

