

# FYSP1082 / K3 RESISTANSSIN LÄMPÖTILARIIPPUVUUS

## Työn tavoite

- havainnollistaa resistanssin lämpötilariippuvuutta
- opettaa tekemään Capstonella kalibraatiomuunnoksia sekä kahden ajasta riippuvan suureen kuvaajia toistensa funktiona (ns. x-y -toiminto)

Resistanssi riippuu lämpötilasta, mutta tämä yhteys jätetään usein huomioimatta, sillä muutokset ovat useimmissa tilanteissa pieniä. Työssä tutkitaan kuparilangasta kierretyn kelan resistanssin muuttumista, kun lämpötila kohoaa nestetyypen lämpötilasta huoneen lämpötilaan – tässä lämpötilaerossa resistanssin muutos on jo huomattava. Samalla opitaan Capstonen käytöstä uusia piirteitä eli muunnosten tekeminen (lämpötila-anturin antaman lukeman kalibroiminen) ja kahden ajasta riippuvan suureen (resistanssi ja lämpötila) piirtäminen samanaikaisesti yhteen kuvaajaan.

## 1 Johdanto

Lämpötilan kasvaessa metallien resistiivisyys kasvaa. Metallijohdinta kuumennettaessa metallin rakenneosien liike kasvaa, jolloin elektronien törmäykset niihin lisääntyvät. Täten sähkövirran kulku johtimessa vaikeutuu. Vastaavasti metallia jäähdytettäessä resistiivisyys pienenee.

Johtavuuteen ja resistiivisyyteen liittyvää tietoa on löydettävissä esimerkiksi teoksista

- Randall D. Knight, Physics for Scientists and Engineers, A Strategic Approach, 4<sup>th</sup> ed., luvut 27.4 ja 27.5, Addison-Wesley, 2017
- Young & Freedman, University Physics, kappaleet 25.2 ja 25.3, Addison Wesley Longman, 2006 (2000).
- American Institute of Physics Handbook, s.5-157 ja 9-42, McGraw-Hill Book Company, 1963.
- Ohanian, Physics, s. 683-696, Norton, 1988.

Työhön liittyvät **harjoitustehtävät** ovat työohjeen lopussa. Tehtävät pitää olla laskettuna (ainakin yritetty!) työvuorolle tullessa.

## 2 Teoriaa

Eristeiden resistanssi pienenee lämpötilan kasvaessa, mikä johtuu siitä, että eristeiden atomeista vapautuu lämpötilan noustessa elektroneja sähkön kuljettajiksi. Sen sijaan johteiden lämmitessä atomien lisääntyvä värähtely häiritsee elektronien liikettä.

Kukin aine vastustaa sähkön kulkua sille ominaisella tavalla. Ominaisuutta kuvaa resistiivisyys  $\rho$ . Metallijohteen resistiivisyys riippuu lämpötilasta likimain yhtälön

$$\rho = \rho_{20}(1 + \alpha \Delta t) \quad (1)$$

mukaisesti.  $\rho_{20}$  on johteen resistiivisyyden arvo  $+20^\circ\text{C}$ :ssa (esimerkiksi kuparille  $\rho_{20} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ ) ja  $\Delta t = t - 20^\circ\text{C}$  (lämpötila  $t$  ilmoitetaan celsiusasteina). Resistiivisyyden lämpötilakerroin  $\alpha$  on aineelle ominainen vakio. Metallijohtimen resistanssi  $R$  riippuu lämpötilan lisäksi johtimen pituudesta  $l$  sekä sen poikkipinta-alasta  $A$ :

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

Yhtälö 1 voidaan tämän avulla muokata muotoon

$$R = R_{20}(1 + \alpha \Delta t) \quad (3)$$

missä  $R_{20}$  merkitsee resistanssia  $+20^\circ\text{C}$ :ssa. Joillakin aineilla resistiivisyys katoaa käytännössä kokonaan hyvin matalissa lämpötiloissa. Ilmiötä kutsutaan *suprajohtavuudeksi*.

## 3 Mittausten suorittaminen

Työssä mitataan kuparisen johtimen (halkaisija 0,18 mm) resistanssin riippuvuus lämpötilasta. Johdin on kierretty onton kupariputken ympärille. Mittaus voidaan tehdä kahdella tavalla, joko manuaalisesti tai mittaustietokonetta hyödyntäen.

### 3.1 Manuaalinen mittaus

Johtimen resistanssia mitataan Megger LCR-mittarilla tai digitaali-pöytämittarilla. Lämpötila-anturi (termoelementti) on kiinnitetty kelan onton kupari-sydämen sisään,

ja se kytketään yleismittariin. Kytkennän jälkeen nestemäistä typpeä kaadetaan varovasti kelaan varten styrokseen tehtyyn syvennykseen sen avoimesta päädyistä siten, että nestetyppi kutakuinkin täyttää putken. Kela peitetään styroksilevyllä ja annetaan typen kiehua hetkisen. Kela jäähtyy nestemäisen typen lämpötilaan ja typen haihduttua alkaa hitaasti lämmetä. Mittauspöytäkirjaan merkitään muistiin noin minuutin välein lämpötila ja johtimen resistanssi. Kelan annetaan lämmetä rauhassa noin +20 celsiusasteeseen, mikä kestää noin tunnin, jonka jälkeen kytkentä voidaan purkaa.

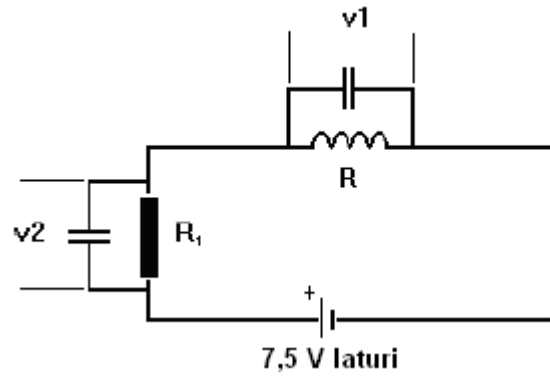
Ennen kuin piirretään kuvaaja resistanssista lämpötilan funktiona, lämpötila-anturin lukemat täytyy kalibroida. Lämpötila-anturin antamissa lukemissa on nimittäin systemaattista virhettä, kun lämpötila on reilusti alle 0°C. Kalibroidut lämpötilan arvot  $t_K$  saadaan mitatuista lämpötilan arvoista  $t$  seuraavan yhtälön avulla

$$t_K = 0,364 + 1,235 \cdot t \cdot (1 - 0,00174 \cdot t \cdot (1 + 0,0119 \cdot t \cdot (1 + 0,00788 \cdot t))) \quad (4)$$

Kalibrointilaskut voit tehdä helpoimmin Excelissä (ks. Excel-ohjeen luku 1.2) tai Originissa (ks. ohjeen luku 5.2). Siirrä tämän jälkeen kalibroidut ( $t_K$ ,  $R$ ) -arvot piirto- ja sovitushjelmaan ja piirrä niistä kuvaaja. Tee pistejoukkoon suoransovitus, merkitse sovituksen parametrit muistiin ja tulosta kuvaaja.

### 3.2 Tietokoneavusteinen mittaus

Kelan onton kuparisydämen sisään sijoitettu lämpötila-anturi liitetään mittalaitteeseen (Temperature sensor CL-6526), joka puolestaan kytketään PASCO:n interface-lisälaitteen porttiin C. Kelan resistanssi  $R$  mitataan kuvan 1 mukaisella kytkennällä. Jänniteanturit  $v_2$  (tunnetun etuvastuksen  $R_1$  yli) ja  $v_1$  (kelan yli) kytketään lisälaitteen kahteen muuhun porttiin (A ja B). Sopiva etuvastus  $R_1$  on väliltä 50-300  $\Omega$ . Virtapiiriin voidaan sijoittaa myös kondensaattorit (huomaa kondensaattorien napaisuus) kuvan 1 mukaisesti hillitsemään piirissä mahdollisesti esiintyvää kohinaa. Kondensaattorit voidaan yleensä jättää pois kytkennästä. Capstonen käyttöä varten määritetään antureiden asetukset tähän mittaukseen sopiviksi. Tarkemmat ohjeet löytyvät erillisestä työpaikkaohjeesta.



**Kuva 1.** Tietokoneavusteisen mittauksen kytkentäkaavio.

Kun kuvan 1 mukainen kytkentä on rakennettu ja Capstonen asetukset määritetty, ohjelmoidaan Capstonen laskimella (**Calculator**) kaava, jolla kelan resistanssi  $R$  saadaan kussakin mittauspisteessä määritettyä Ohmin lain mukaisesti eli

$$R = \frac{v1}{I} = \frac{v1}{v2/R_1}. \quad (5)$$

Capstonen laskimella tehdään myös tarvittava lämpötilan kalibraatio (kaava 4), joka korjaa lämpötila-anturin matalissa lämpötiloissa esiintyvän systemaattisen virheen. Työpaikkaohjeesta löytyy tarkempia ohjeita resistanssin laskukaavan ja kalibraatioyhtälön ohjelmoinnista. Kun kytkennät ja määrittelyt on tehty oikein (eli kun Capstone antaa kelan resistanssille huoneenlämpötilassa järkevän arvon – vajaa  $20 \Omega$ ), siirrytään itse mittaukseen.

Nestemäistä tyyppiä kaadetaan varovasti kelaa varten styroksiin tehtyyn syvennykseen sen avoimesta päädyistä siten, että nestetyppi kutakuinkin täyttää putken. Kela peitetään styroksilevyllä ja annetaan tyypin kiehua hetken. Aloita tämän jälkeen mittaus. Piirrä mittauspisteet  $(t_K, R)$  -koordinaatistoon (koordinaatiston luomisesta löytyy apua työpaikkaohjeesta). Tarkkaile, että mittauspisteet osuvat ainakin likimain samalle suoralle. Anna kelan lämmetä rauhassa noin  $+20$  asteeseen ja katkaise sitten mittaus. Tallenna data varmuuden vuoksi, ettei pitkä mittaus katoa vahingossa minnekään. Tee  $(t_K, R)$  -kuvaajaan suoransovitus, siisti kuvaaja Capstonen yleisohjeiden mukaisesti ja tulosta se. Merkitse suoransovituksen parametrit muistiin virheineen.

## 4 Tulosten käsittely

Selvitä ohjelman kuvaajalle laskeman suoransovituksen pohjalta kelan johdinmateriaalin resistiivisyyden lämpötilakerroin  $\alpha$  virheineen. Vertaa saamaasi tulosta kirjallisuusarvoon.

Kuparin resistiivisyyden lämpötilariippuvuuden pitäisi tutkitulla alueella olla lineaarinen. Pohdi, mitä tapahtuisi, jos työssä käytettäisiin nestetyypen sijaan nestemäistä heliumia, jonka kiehumispiste on  $-269\text{ °C}$  eli sangen lähellä absoluuttista nollapistettä (olettaen että laitteisto kestäisi). Mikä olisi kuparin resistiivisyys kyseisessä lämpötilassa, jos lineaarinen riippuvuus olisi edelleen voimassa? Entä absoluuttisessa nollapisteessä? Hahmottele tilanteesta lämpötila-resistanssi -kuvaaja. Miten kuparin resistanssi tietämyksesi mukaan todellisuudessa käyttäytyy hyvin alhaisessa lämpötilassa?

### Harjoitustehtävät

**Tehtävä 1** (Young&Freedman 11<sup>th</sup> tai 12<sup>th</sup> ed. tehtävä 25.27)

- What is the resistance of a Nichrome wire at  $0,0\text{ °C}$  if its resistance is  $100,00\ \Omega$  at  $11,5\text{ °C}$ ? ( $\alpha_{\text{Nichrome}} = 0,0004\ 1/\text{°C}$ )
- What is the resistance of a carbon rod at  $25,8\text{ °C}$  if its resistance is  $0,0160\ \Omega$  at  $0,0\text{ °C}$ ? ( $\alpha_{\text{C(graphite)}} = -0,0005\ 1/\text{°C}$ )

**Tehtävä 2** (Young&Freedman 11<sup>th</sup> tai 12<sup>th</sup> ed. tehtävä 25.28) A carbon resistor is to be used as a thermometer. On a winter day when the temperature is  $4,0\ \text{°C}$ \*) the resistance of the carbon resistor is  $217,3\ \Omega$ . What is the temperature on a spring day when the resistance is  $215,8\ \Omega$ ? (Take the reference temperature  $T_0$  to be  $4,0\text{ °C}$ .)

\*) Brrr. Crisp, isn't it...?