

N

I

11

A

Vezetési jelenségek

Mérés során használt eszközök:

- Cu-Ni ötvözetek a tiszta Cu-tól a tiszta Ni-ig 10%-os váltásokkal kivéve a 80% Ni 20% Cu (10 db)
- Hőszabályzó
- Feszültségmérő
- Mérési segédlet

A mérés leírása:

A mérés során először felmelegítettük, illetve beállítottuk a vizsgálni kívánt tárgyak (Cu-Ni ötvözetek) hőmérsékletét 20°C-ra majd megvizsgáltuk az egyes ötvözetekben mérhető feszültséget. A kapott értékeket elosztottuk az áramerősséggel (204 mA) így megkapva a 20°C-hoz tartozó ellenállásokat. Ugyanezt elismételtük 10°C-onként egészen 70°C-ig, így megkapva a adott hőmérséklethez tartozó ellenállásokat.

Ezután gyakorlatilag véget ért a mérés, de nem a számolás. Kiszámoltuk az ellenállás-változásokat az egyes Hőmérsékletekhez tartozó ellenállásokból, majd ezt táblázatba foglaltuk. Kiszámoltuk a lineáris hőtágulási együtthatóból (α_1) (ami adott volt) és a kapott értékekből az ellenállások hőfoktényezőjét (α_R), és a fajlagos ellenállást hőfoktényezőjét (α_ρ).

A mérés során nem mértük a 80%-os Ni tartalmú ötvözetet, mert annak a mérése során az atomok ilyen aránynak jó elrendeződése miatt más értékeket kaptunk volna, és a mérési eredményeket ponttalanítottuk volna.

A mérés dátuma:
2009.10.27.

Elméleti háttér:

A fémek vezetési tulajdonságai

A fémeknek, azaz a gyakorlat vezeték és ellenállásanyagainak legalapvetőbb anyagjellemzői a fajlagos ellenállás és ennek hőmérsékleti együtthatója. Ezekon kívül, adott esetben még számos más jellemző figyelembe vétele is indokolt lehet pl termoelemeknél és precíziós ellenállásanyagoknál a termoelektromotoros erő; elektródáknál az érintkezési potenciálkülönbség; üvegbe forrasztott kivezetéseknél a hőtágulási együttható stb.

A fajlagos ellenállás értékét az állandó keresztmetszetű vezetődarab ellenállásából az

alábbi ismert képlettel kapjuk meg: $\rho = R \frac{A}{l}$, ahol: A a vezetődarab keresztmetszete, l a hosszúsága, R az ellenállása. A fajlagos ellenállás SI egysége: m. A fajlagos ellenállás reciprokát fajlagos vezetőképességnek nevezzük $\sigma = 1/\rho$ [1/Ωm].

A fajlagos ellenállás hőmérsékleti együtthatóját (temperatura koefficiens, TK) a következőképpen definiáljuk: $\alpha_\rho = \frac{1}{\rho_0} \frac{d\rho}{dT}$, mértékegysége: [1/°C] ill. [1/K]. A definícióból látható, hogy a hőmérsékleti együttható értéke vonatkoztatási vezetőképességtől is függ, amelyet rendszerint 0 °C-ra vonatkoztatva adnak meg.

Hasonlóképpen definiáljuk az ellenállás hőmérsékleti együtthatóját is: $\alpha_R = \frac{1}{R_0} \frac{dR}{dT}$. Az utóbbi egyaránt tartalmazza az ellenállás geometriai változásaiból (hőtágulás) és a fajlagos ellenállás megváltozásából származó hatást is. Könnyen igazolható, a kétféle együttható között az alábbi összefüggés: $\alpha_R = \alpha_\rho - \beta$, ahol β a lineáris hőtágulási együttható.

A különféle fizikai és technológiai tényezők hatásának hozzávetőleges előrelátásában segítséget nyújt néhány alapelv és félempirikus szabály, amiket a következőkben ismertetünk. Ezek a szabályok csupán közelítőleg érvényesek és nem minden esetre teljesülnek, ezért pontos számításra nem mindig alkalmasak.

Tökéletesen szabályos fémkristályban a vezetésben résztvevő elektronok akadálytalanul, impulzus és energia veszteség nélkül mozoghatnak. Az ideális fémkristályt 0K hőmérsékleten tehát tökéletes vezetőnek képzeljük. Az ellenállás okozója a kristályrácsban jelenlévő szabálytalanságok, kristályhibák, amiken az elektronok impulzus és energia veszteséggel járó szóródást szenvednek. A fajlagos ellenállás arányos a szóródás valószínűségével, azaz a hibasűrűséggel.

Az alábbi rácsrendezetlenségek számottevően növelik az elektromos ellenállást:

- a rács ionjainak termikus rezgései
- ponthibák (idegen atomok, termikusan generált hibák)
- vonalszerű rácshibák (diszlokációk)
- felületszerű rácshibák (kristályfelület, kristallithatár, idegen fázis határa, stb.)

Sok esetben néhány célszerűen megválasztott, egymástól függetlennek tekinthető tényező eredőjeként felírható a teljes ellenállás, (Matthiesen-szabály).

$$\rho = \rho_{\text{termikus}} + \rho_{\text{ötvöző}} + \rho_{\text{rácsrendezetlenség}} + \dots$$

A termikus tag zérus felé tart ha a hőmérséklet abszolút zérus fokhoz közeledik. Alacsony hőmérsékleten (-250 °C...-50 °C) a termikus tag viselkedése bonyolult, azonban közepes hőmérsékleten viszonylag lassan változik a hőmérséklettel és gyakran megengedhető a lineáris közelítés viszonylag széles hőmérséklet-tartományban:

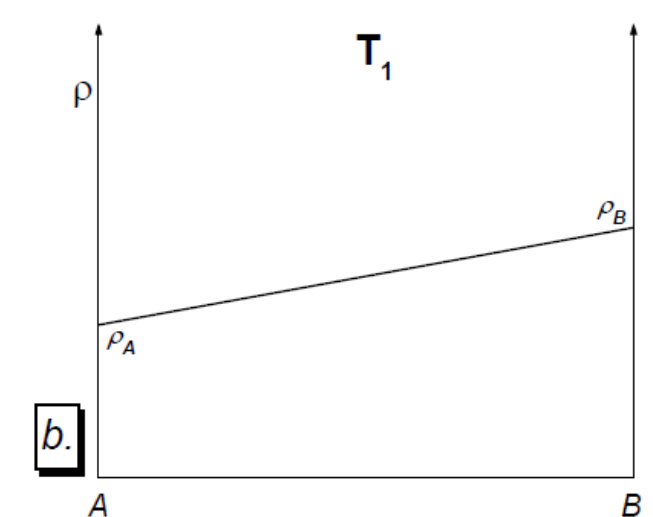
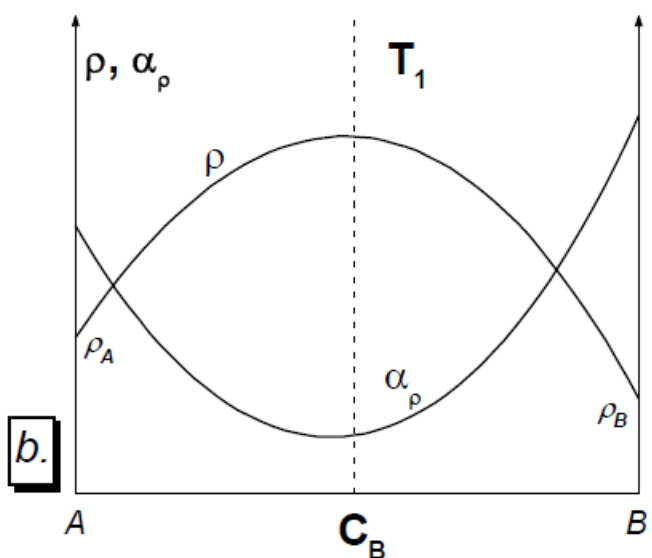
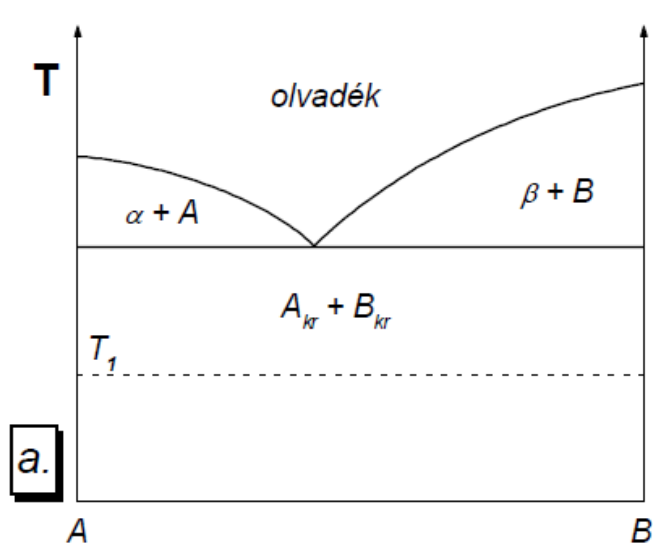
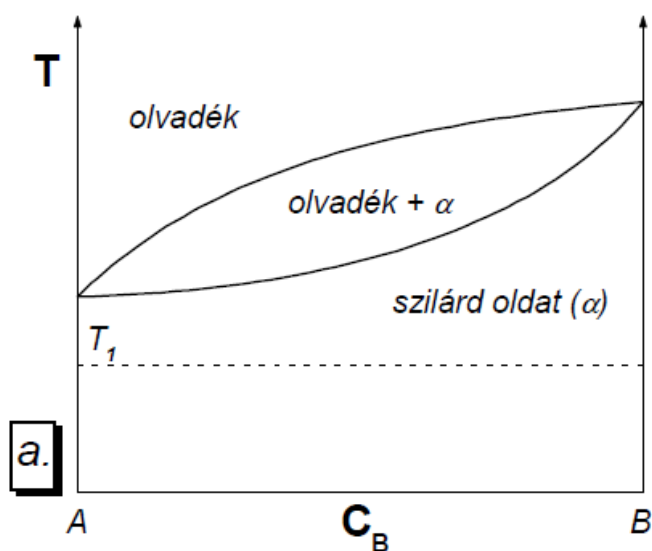
$$\rho(T) = \rho(0 \text{ °C}) (1 + \alpha_\rho \Delta T)$$

A legtöbb fém olvadásakor a fajlagos ellenállás ugrásszerűen változik (két- háromszorosára növekszik). Ez a hirtelen változás a szerkezeti rendezettség ugrásszerű csökkenésének tulajdonítható.

Az idegen atomok hatása igen különböző lehet aszerint, hogy ezek az ötvöző vagy szennyező atomok milyen fázisban vannak jelen a fémben. Két szélső esetet érdemes megkülönböztetni. Ha két fém minden összetételben szilárd oldatot alkot egymással (**1/a. ábra**) és a különböző atomok véletlenszerű rendezetlenséggel foglalják el a különböző rácspontokat, akkor bármilyen idegen atom jelenléte jelentősen növeli a fajlagos ellenállást a tiszta féméhez képest. A koncentráció függvényében a fajlagos ellenállás jellegzetes maximumos görbét ad. A maximum közelében a fajlagos ellenállás többszöröse a tiszta fémének. Ugyanitt a fajlagos ellenállás hőfoktényezőjének minimuma van (**1/b. ábra**). Ez a tény különösen a precíziós ellenállás-ötvözetek szempontjából fontos.

Általában az említett maximumos görbe jól közelíthető parabolával. Így az egy-vegyértékű fémekre érvényes Nordheim-szabály értelmében, a fajlagos ellenállás hőmérséklettől független része:

$\rho_a = Ac(1-c)$ összefüggés szerint változik a koncentrációval. Ahol: A a fém párra jellemző konstans, c pedig a "B" fém atomszázalékban megadott koncentrációja.

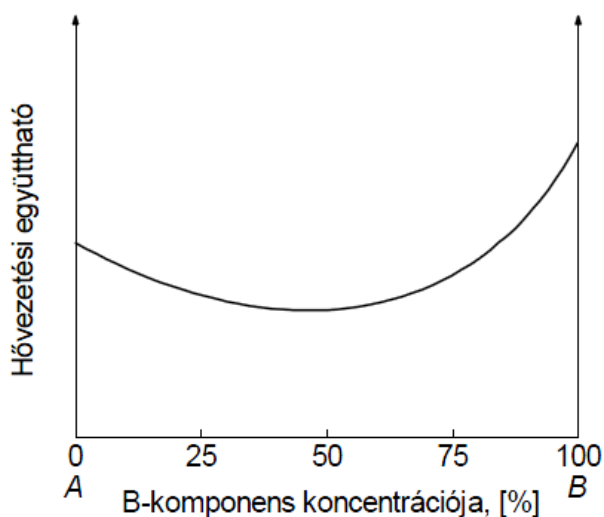


1/a és 1/b. ábrák

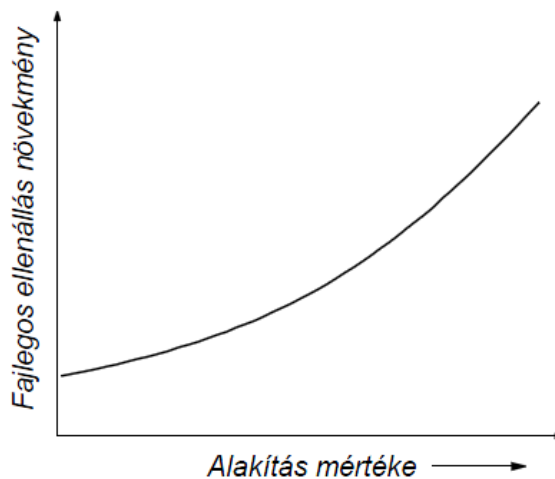
2/a és 2/b. ábrák

A fémek hővezetőképessége csökken az ötvözés vagy szennyezés hatására. Az ötvöző atomok – főként a szilárd oldatokban – jelentősen növelik a szórócentrumok számát amivel a szabad elektronok mozgását lassítják. Az ötvözetek hővezetőképessége a fajlagos ellenállás hőmérsékleti együtthatójához hasonlóan változik az ötvözőkoncentráció függvényében, azaz közel 50% ötvözőkoncentrációnál minimumot mutat (**3.ábra**).

Képlékeny hideg alakváltozáskor, (pl a vezetékhuza! megnyújtásakor) is változik a fajlagos ellenállás (**4.ábra**) . (Nem tévesztendő össze a geometria változásából származó ellenállás változással.) A fajlagos ellenállás növekedésének oka, hogy a képlékeny alakítás hatására növekszik a kristályban lévő rácsrendezetlenségek száma. Ez döntően a ponthibák és a diszlokációk számának változását jelenti.



3. ábra



4. ábra

A mérés:

A mérés során a következő mérési adatokat kaptuk:

	R20	R30	R40	R50	R60	R70
Cu	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14
10	1,06	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09
20	2,08	2,08	2,09	2,09	2,10	2,10
30	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
40	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84
50	3,91	3,92	3,92	3,93	3,93	3,93
60	3,49	3,52	3,57	3,61	3,63	3,65
70	2,25	2,29	2,37	2,46	2,53	2,60
90	1,38	1,41	1,47	1,53	1,57	1,63
Ni	0,63	0,66	0,70	0,75	0,78	0,82

Az adatokból jól szemmel követhető, hogy az ötvöző elemek arányának változásával milyen látványosan változik az adott hőmérsékleteken mért ellenállása.

A fenti méréseredményekből kiszámítottuk az ellenállás változás értékét a következő módon:

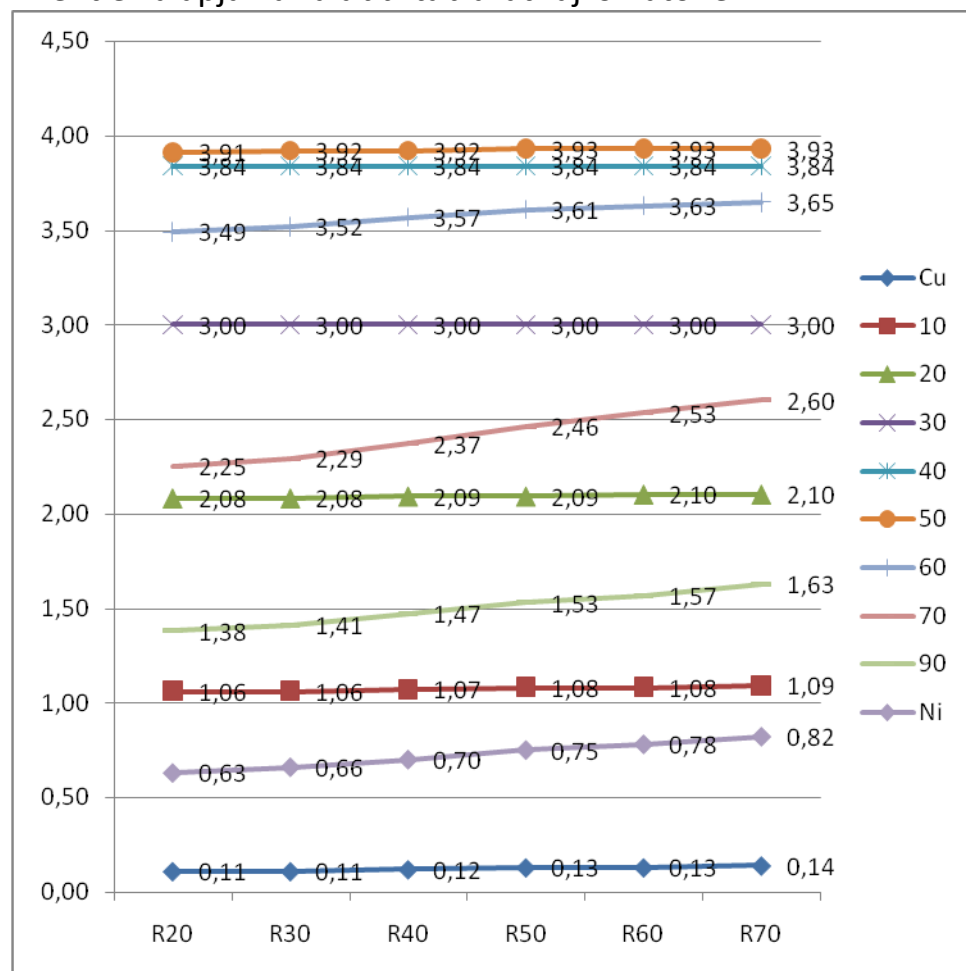
$$\Delta R_T = R_T - R_{20}$$

Az így kapott értékekről az alábbi táblázat ad képet:

	ΔR_{20}	ΔR_{30}	ΔR_{40}	ΔR_{50}	ΔR_{60}	ΔR_{70}
Cu	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03
10	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03
20	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
60	0,00	0,03	0,08	0,12	0,14	0,16
70	0,00	0,04	0,12	0,21	0,28	0,35
90	0,00	0,03	0,09	0,15	0,19	0,25
Ni	0,00	0,03	0,07	0,12	0,15	0,19

Jól látható, hogy a hőmérséklet ilyen kis mértékű változtatásával komoly ellenállás változás nem érhető el, de az azért még így is jól látható, hogy a hőmérséklet befolyásolja az ellenállást. Az is megfigyelhető még, hogy a nagyobb Ni koncentrációval rendelkező ötvözet sokkal jobban reagál a hőváltozásra, mint a réztöbbletű minták.

A fentiek alapján az alábbi táblázat rajzolható fel:



A grafikonból jól szemmel követhető a bizonyos ötvözetek egymáshoz viszonyított változása a hőmérsékletváltozás függvényében. Ha a vonalakat meghosszabbítanánk az abszolút 0 hőmérséklet felé haladva akkor egy pontból induló egyeneseket látnánk, és ez az egy pont az $R=0\Omega$.

Az eddig kapott értékekből kiszámítható továbbá az az ellenállások hőfoktényezőjét (α_R), és a fajlagos ellenállás hőfoktényezőjét (α_ρ). Kiszámítási módjuk a következő:

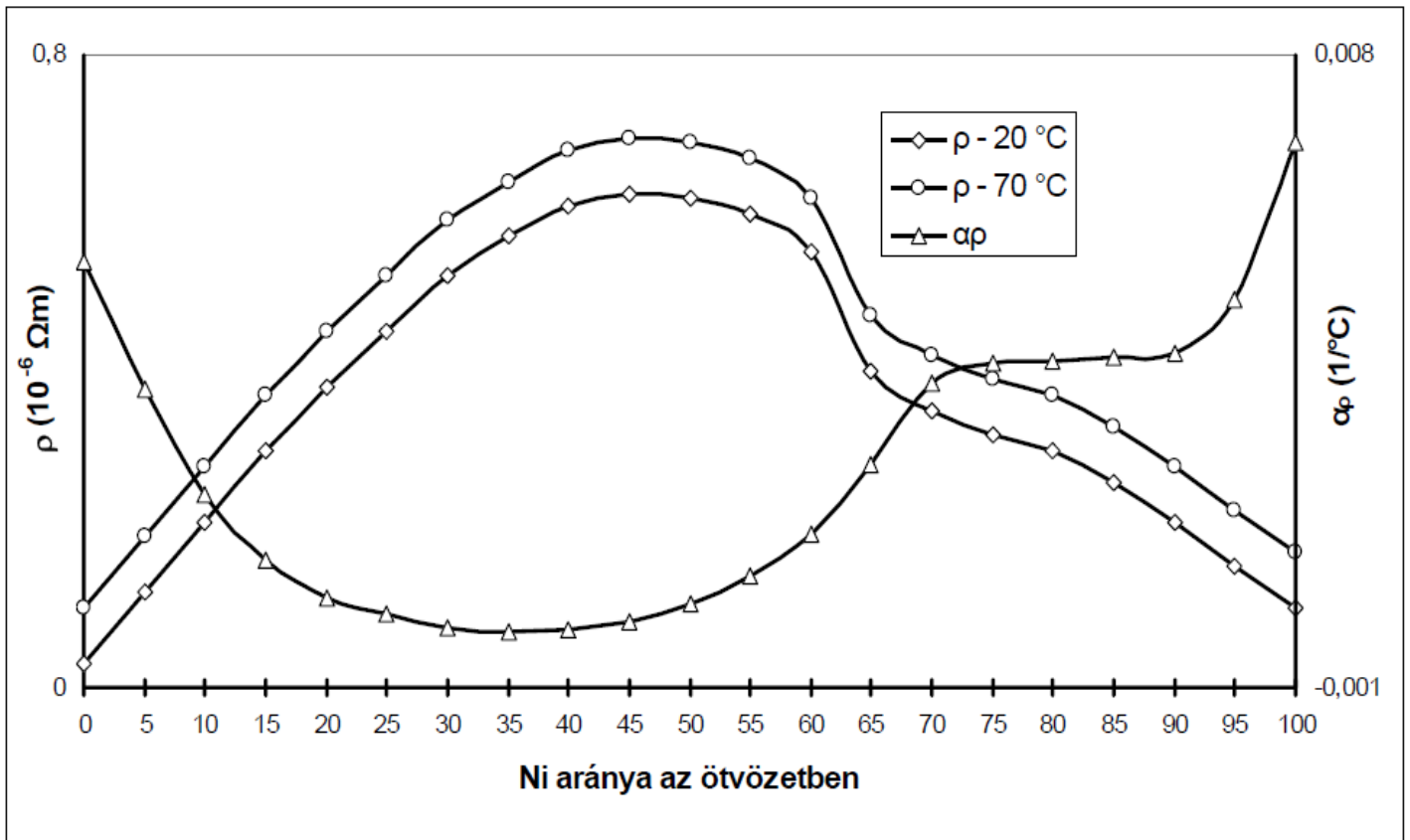
$$\alpha_R = \frac{1}{R_0} \frac{dR}{dT} \quad \text{vagy másképp} \quad \alpha_R = \frac{1}{R_{20}} \frac{\Delta R}{\Delta T}$$

és $\alpha_\rho = \alpha_R + \alpha_l$.

Az eddigi adatokkal felírt teljes táblázat:

	R20	R30	R40	R50	R60	R70	ρ_{20}	ρ_{70}	
Cu	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,01727	0,02198	
10	1,06	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	0,16642	0,17113	
20	2,08	2,08	2,09	2,09	2,10	2,10	0,32656	0,32970	
30	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,47100	0,47100	
40	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	0,60288	0,60288	
50	3,91	3,92	3,92	3,93	3,93	3,93	0,61387	0,61701	
60	3,49	3,52	3,57	3,61	3,63	3,65	0,54793	0,57305	
70	2,25	2,29	2,37	2,46	2,53	2,60	0,35325	0,40820	
90	1,38	1,41	1,47	1,53	1,57	1,63	0,21666	0,25591	
Ni	0,63	0,66	0,70	0,75	0,78	0,82	0,09891	0,12874	
	ΔR_{20}	ΔR_{30}	ΔR_{40}	ΔR_{50}	ΔR_{60}	ΔR_{70}	$\alpha_1(10^{-6}/C)$	α_R	α_ρ
Cu	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	16,7	0,0054545	0,0054712
10	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	16,1	0,000566	0,0005821
20	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	15,5	0,0001923	0,0002078
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,05	0	0,000001505
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,65	0	0,000001465
50	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	14,3	0,0001023	0,0001166
60	0,00	0,03	0,08	0,12	0,14	0,16	13,45	0,0009169	0,00093035
70	0,00	0,04	0,12	0,21	0,28	0,35	13,6	0,0031111	0,0031247
90	0,00	0,03	0,09	0,15	0,19	0,25	13,4	0,0036232	0,0036366
Ni	0,00	0,03	0,07	0,12	0,15	0,19	13,3	0,0060317	0,006045

A fenti táblázatban helyet foglalt értékek alapján felrajzolható ez az alábbihoz hasonlító grafikon is, mely jól mutatja a fajlagos ellenállások (20 és 70 celsius fokon) és a fajlagos ellenállás hőfoktényezőjének egymáshoz viszonyított képét az ötvözetek különböző kombinációi mellett.



A grafikonon jól látható, hogy a fajlagos ellenállás hőfoktényezőjének csökkenésével nőnek és növekedésével pedig csökkennek a fajlagos ellenállások.

Konklúzió:

A mérés során megvizsgáltuk a különböző Cu-Ni ötvözet ellenállásait különböző hőmérsékleteken. A vizsgálat során megállapíthattuk, hogy az ellenállás nagyobb mértékben változik az ötvözet hőmérsékletétől, mint az összetételétől (ilyen kis hőmérsékletváltozásnál is). Grafikonon ábrázoltuk a különböző ötvözetek egymáshoz viszonyított ellenállásait a hőmérséklet függvényében.

Majd megvizsgáltuk a különböző ötvözetek fajlagos ellenállásait 20 és 70 celsius fokon. Itt megállapíthattuk, hogy a tiszta réz kivételével a 20 és 70 celsius fokon mért fajlagos ellenállások között kevesebb, mint 0,05-es eltérést tapasztaltunk.

Eztán kiszámoltuk az ellenállás hőfoktényezőjét, és ebből valamint a lineáris hőtágulási együtthatóból (megadott) és a fajlagos ellenállás hőfoktényezőjét. Ezt ábrázoltuk egy grafikonon a fajlagos ellenállásokkal.