

Mérési jegyzőkönyv:

Termoelektromos hűtőelem vizsgálata

(hétfői csoport)

Rakya Péter

2006. április 3.

1. Bevezetés

A termoelektromos hűtőelem vizsgálatán keresztül megismerhettem a termoelektromos jelenségek széles spektrumát. A vizsgált folyamatokban az irreverzibilis jelenségek mellett a Peltier- és Seebeck-effektust figyelhettem meg egyszerre, majd a Seebeck-effektus önálló vizsgálatára is lehetőség nyílt. Ebben a mérésben a Thomson-effektus, amely a hőmérsékleteloszlás inhomogenitásából adódik, elhanyagolható volt, míg a másik négy fellépő jelenség vizsgálata elkerülhetetlen volt a mérési adatok kielégítő elemzéséhez. A mérés kiértékelésekor összehasonlítottam mérési eredményeimet az elméleti összefüggésekkel, a hűtőelemet jellemző több adatot (P_{ab} Peltier-együttható, S_{ab} Seebeck-együttható, τ időállandó) a termoelektromos hűtés elméletének képleteiből állapítottam meg. A mérés elvét, módszerét és a mérési összeállítást az [1] tankönyv ismerteti, a jegyzőkönyvben a mérési feladatok végrehajtását és kiértékelését fogom csak részletezni. A mérést a belső, a tranzisztoros hőmérővel és az analóg tápegységgel felszerelt mérőhelyen végeztem.

2. Az egyensúlyi hőmérséklet és a hűtővíz hőmérsékletének mérése

Az egyensúlyi hőmérséklet a mérés során több alkalommal is megmértem, átlagban $T(0) = 11.0^\circ\text{C}$ értéket kaptam $\Delta T(0) \approx 0.1^\circ\text{C}$ hibával. A hűtővíz hőmérsékletének mérését kis lehűtés utáni melegedés közben mértem; a Peltier-elem sarkain eső feszültség eltűnésekor feljegyeztem a mért hőmérséklet értéket. A mérések során ez a mennyiség is nagyon jó közelítéssel állandó volt: $T(U = 0) = (9.8 \pm 0.1)^\circ\text{C}$. Mivel a hűtővíz hőmérséklete alig változott, ezért a mérés kiértékelése során - bár végig ésszerűen kell tartani ezt a tényezőt is - nem kell számolnunk a hűtővíz hőmérsékletének ingadozásából adódó effektusokkal.

3. A hűtés időfüggésének vizsgálata

A mérést $I = 2.5 \text{ A}$ -es áramerősség mellett végeztem. Az időmérést a mobiltelefonom stopperrel funkciójával végeztem. Nagy előnye volt, hogy tudtam ún. részidőket mérni, ezért csak a hőmérőről kellett leolvasnom minden gombnyomásnál a mért értéket, majd a mérés végén összepárosítani az értékeket a mobiltelefonom által eltárolt időpontokkal. A méréssor vége felé a hőmérő ugrásánál jegyeztem fel az adatokat, elkerülve a kapott függvény lépcsősségét. A mérési adatokat az alábbi táblázat mutatja:

Eltelt idő [s]	Hidegpont hőmér- sége: T [$^{\circ}\text{C}$]	Eltelt idő [s]	Hidegpont hőmér- sége: T [$^{\circ}\text{C}$]
9.6	9.5	132.35	-7.1
19.46	7.2	144.25	-7.7
29.19	5.1	156.71	-8.3
39.85	3.0	169.21	-8.8
50.47	1.2	181.77	-9.2
61.29	-0.6	198.73	-9.7
72.22	-2.0	216.98	-10.1
83.41	-3.3	233.88	-10.4
95.27	-4.4	250.97	-10.6
107.79	-5.5	268.32	-10.9
119.45	-6.3	-	-

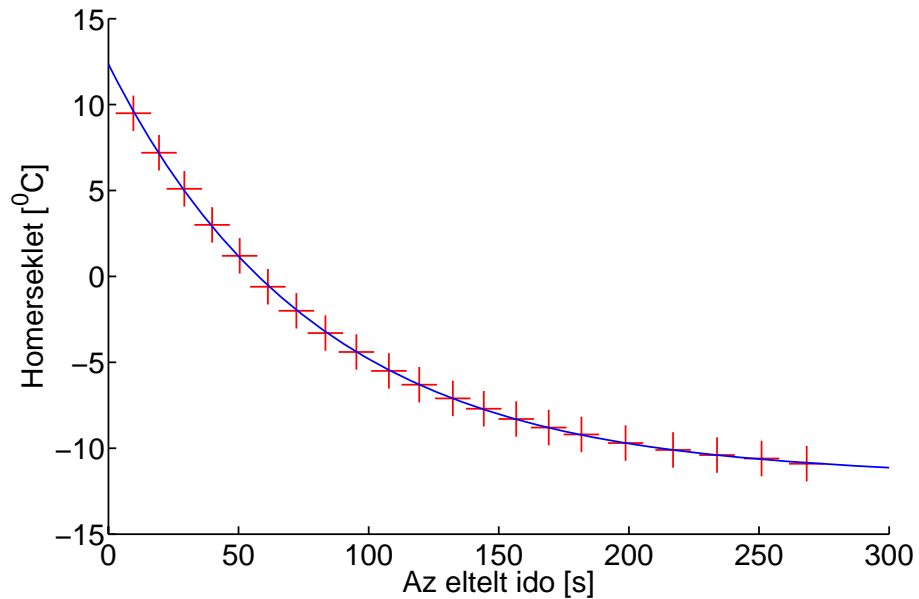
A mérési pontokra a megfelelő elméleti összefüggésből adódó függvényt illesztettem:

$$T(t) = T_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + T_{\infty}$$

Az illesztés eredménye:

$$\begin{aligned} \text{Amplitudó:} & T_0 = (24.05 \pm 0.5) \text{ } ^{\circ}\text{C} \\ \text{A karakterisztikus idő:} & \tau = (79.9 \pm 0.3) \text{ s} \\ \text{Az egyensúlyi hőmérséklet:} & T_{\infty} = (-11.7 \pm 0.1) \text{ } ^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

1. ábra. : A hűtés időfüggésének vizsgálata, τ meghatározása illesztéssel



4. A maximális hőmérsékletkülönbség meghatározása

Az útmutatásának megfelelően $4\tau \approx 6$ min időt várva jegyeztem fel az adott áramnál kialakuló egyensúlyi hőmérsékletet. Mérési adataim:

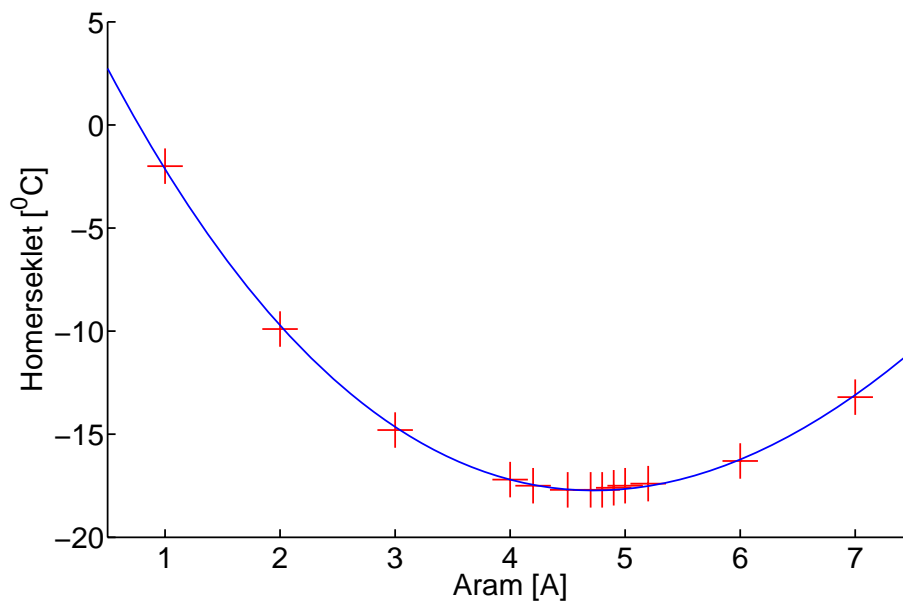
Áramerősség I [A]	Hidegpont hőmérséklete T [°C]	Feszültség U [V]
1	-2	1.38
2	-9.9	2.18
3	-14.8	2.93
4	-17.2	3.414
4.2	-17.5	3.459
4.5	-17.7	3.573
4.7	-17.7	3.689
4.8	-17.7	3.769
4.9	-17.6	3.922
5	-17.5	4.001
5.2	-17.4	4.080
6	-16.3	4.594
7	-13.2	5.283

Bár a mérési adatokat továbbra is °C-ban adtam meg, a függvényillesztést, és a későbbi adatokat már K egységekben számoltam. A *Mathlab* program lehetőséget adott rá, hogy a mérési adatokból közvetlenül, illesztés során meghatározzam az összes, a folyamatra jellemző adatot, és egyben igazoljam az [1]-ben megadott

$$T(I) = \frac{\frac{R_{ab}}{2h_{ab}} I^2 + T(0)}{\frac{S_{ab}}{h_{ab}} I + 1}$$

függvényalakot. Az illesztést a 2. ábra mutatja.

2. ábra. : A maximális hőmérsékletkülönbség meghatározása, a paraméterek meghatározása illesztéssel



A megfelelő illesztési paraméterek, hibáik és korrelációs mátrixuk a program szerint a következőknek adódtak:

Az egyik együttható: $\frac{R_{ab}}{2h_{ab}} = (1.17 \pm 0.03) \frac{K}{A^2}$
 A másik együttható: $\frac{S_{ab}}{h_{ab}} = (4.6 \pm 0.1) 10^{-2} \frac{1}{A}$
 A kezdeti hőmérséklet: $T(0) = (281.6 \pm 0.5) K$

Ezzel tulajdonképpen meghatároztam a rendszer összes jellemzőjét, már csak a mérési hibák kiszámítása lenne hátra a hibaterjedés figyelembevételével. Mindenesetre az elméleti függvénykapcsolatot igazoltam.

A kapott $T_0 = T(0) = (281.6 \pm 0.5) K$ és $U_{min} = (3.7 \pm 0.1) V$ adatok segítségével a

Seebeck-együtthatóra $S_{ab} = \frac{U_{min}}{T_0} = (13.0 \pm 0.4) \frac{mV}{K}$ értéket kapunk. A feszültséget a fenti táblázatban szereplő 3 egyforma hőmérsékletre tartozó feszültségekből számoltam. Tájékoztatásul álljanak itt az ebből az együttható mérésből számolható adatok, amelyek nem a végleges eredmények, mivel az így számolt Seebeck-együttható nyilván nem a pontos érték, különböző nemlineáris jelenségek is fellépnek, amelyeket ezzel a számítással elhanyagoltunk.

$$\begin{aligned} \text{A Seebeck-együttható:} \quad & S_{ab} = (13.0 \pm 0.4) \frac{mV}{K} \\ \text{A Peltier-együttható:} \quad & P_{ab} = T_0 \cdot S_{ab} = (3.7 \pm 0.1) V \\ \text{A hővezetési együttható:} \quad & h_{ab} = (0.30 \pm 0.02) \frac{W}{K} \\ \text{Az ellenállás:} \quad & R_{ab} = (0.70 \pm 0.06) \Omega \end{aligned}$$

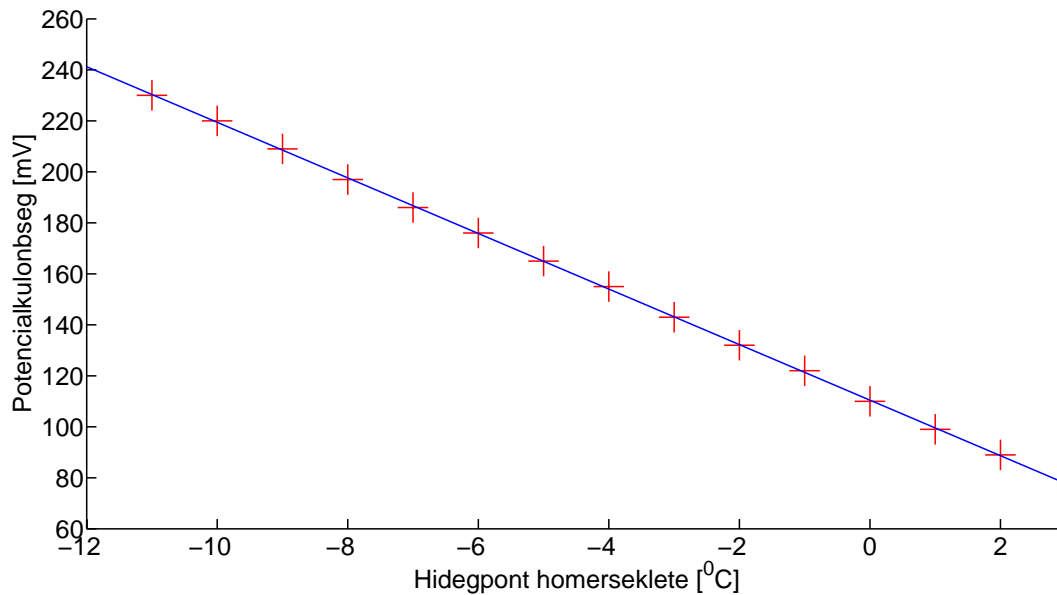
4.1. A Seebeck-együttható közvetlen mérése

A mérés nehézsége az volt, hogy a létrehozott hőmérsékletkülönbség igen gyorsan egyenlítődtött ki, így a nagy hőmérséklet különbségű pontokban viszonylag nagy volt a leolvasási pontatlanság, és a mérési pontok sűrűsége is kicsi volt. Többszörös próbálkozásaim eredményeit mutatja az alábbi táblázat:

Hidegpont hőmérséklete T [$^{\circ}C$]	Potenciálkülönbség V [mV]
-11	230
-10	220
-9	209
-8	197
-7	186
-6	176
-5	165
-4	155
-3	143
-2	132
-1	122
0	110
1	99
2	89

Az illesztés eredményét a 3. ábra mutatja. Az illesztés során a Seebeck együttható értéke $S_{ab} = (10.90 \pm 0.08) \frac{mV}{K}$ -nek adódott. Ez alapján álljon itt ennek a mérésnek és az előző illesztés eredményeinek ötvözete, a Peltier-elem adatainak végleges értéke:

3. ábra. : A Seebeck-együttható meghatározása



A Seebeck-együttható: $S_{ab} = (10.90 \pm 0.08) \frac{mV}{K}$
 A Peltier-együttható: $P_{ab} = T_0 \cdot S_{ab} = (3.07 \pm 0.03)V$
 A hővezetési együttható: $h_{ab} = (0.237 \pm 0.007) \frac{W}{K}$
 Az ellenállás: $R_{ab} = (0.55 \pm 0.03) \Omega$
 A jósági szám: $z = 9.1 \pm 0.9$

Ez alapján megállapíthatjuk, hogy az első Seebeck-együtthatóval kiszámolt eredmények - bár közel állnak a mostani értékekhez - nem esnek mérési hibán belül. Ennek oka az, hogy maga az elméleti összefüggés is elhanyagolt bizonyos nemlineáris tagokat, így ennek hibája is hozzáadódott a számolt értékekhez.

5. A teljesítményegyenlet vizsgálata

A teljesítmény egyenlet:

$$0 = P_{ab}I - \frac{1}{2}R_{ab}I^2 - h_{ab}(T_0 - T) - \frac{dq}{dt}$$

Beírva a megfelelő értékeket (a legnagyobb hűtés állapotában) a következő egyenlethez jutunk:

$$0 = \underbrace{3.07 \cdot 4.7}_{P_{ab}I} - \underbrace{0.5 \cdot 0.55 \cdot 4.7^2}_{\frac{1}{2}R_{ab}I^2} - \underbrace{0.237 \cdot (8.5 + 17.6)}_{h_{ab}(T_0-T)} - \frac{dq}{dt} = 2.18 - \frac{dq}{dt}$$

Ebből láthatjuk, hogy ebben az esetben a Joule-tag és a hővezetési járulék azonos nagyságú, a $\frac{dq}{dt} = 2.18 \text{ W}$ érték azt jelenti, hogy elég jól sikerült elszigetelnünk a rendszert a környezettől, hiszen ez 5-öd, 10-ed része a többi tag járulékának.

6. Összefoglalás

A mérés során megismerkedtem a termoelektromos hűtőelem példáján a termoelektromos jelenségek széles spektrumával, ellenőriztem az elméletből adódó függvénykapcsolatokat, és igen bonyolult kiértékelési folyamaton keresztül jutottam el a különböző jellemző tényezők számértékének megállapításához. Az elméleti görbék igen nagy pontossággal illettek a mérési adatokra, egyedül a Seebeck-együttható első meghatározásánál léptek fel nem pontosan ismert nemlineáris jelenségek. A mérési adatokat kicsiny mérési hiba jellemezte, az utolsó feladatban azt is megvizsgáltam, mennyire volt jó a hőszigetelés.

Hivatkozások

- [1] Havancsák Károly: *Mérések a klasszikus fizika laboratóriumban* (99-114. oldal)