

Fajhő mérése

Asztalos Bogdán

Hétfői csoport

mérés időpontja: 2017. 10. 02.

jegyzőkönyv leadásának időpontja: 2017. 10. 09.

A mérés célja

A testekkel hőt közölve, hőmérsékletük változik. Azt, hogy adott hőmérsékletváltozáshoz mennyi hőt kell közölni, egy adott testtel, a hőkapacitás (vagy tömegre viszonyítva, a fajhő) adja meg. A mérés célja a kiadott mintának a fajhőjét megmérni, de a környezetbe való hőátadás miatt túl nagy lenne a veszteség, ha ezt közvetlenül akarnánk megmérni. Ha viszont egy kaloriméterbe tesszük, akkor a hőátadás mennyiségét is tudjuk mérni, amiből már ki lehet számolni a minta tényleges fajhőjét.

A mérés eszközei

- Kiadott minta
- Kaloriméter
- Kaloriméteren átfolyatott állandó hőmérsékletűnek tekintett víz
- Termosztát
- Fűtőtest a kaloriméterben (rákapcsolható tápegységgel)
- Elektronikus hőmérő a termosztátban
- Számítógépes szoftver, ami folyamatosan méri és rögzíti a hőmérő által mért hőmérsékletet, valamint szabályozza a fűtőtest működését
- Eredménykiértékelő szoftver, ami a mért adatokat elemzi, és meghatározza a további számításhoz szükséges paramétereket

A mérés menete

Három mérést végeztünk, mindegyik előtt megvártuk, amíg a kaloriméter hőmérséklete beállt időben állandóra. Ezt a kaloriméterbe tett hőkulcs segítségével tudtuk gyorsan elérni.

Az első esetben a kaloriméter viselkedését vizsgáltuk, így nem tettük bele a mintát, hanem csak üresen el kezdtük fűteni a fűtőtesttel. Adott ideig folytatva, a rákapcsolt feszültség, valamint a fűtőtest ellenállásának függvényében kiszámítható, hogy mekkora hőt közöltünk a kaloriméterrel. Mivel azonban a meleg kaloriméter hőt ad le a környezetének (az áramló víznek), ezért az a közölt hő nem fordítódik teljes egészében a kaloriméter melegedésére, sőt a fűtés kikapcsolása után is hűl, amíg hőmérséklete egyenlő nem lesz a környezetével. Ismert, hogy ez a folyamat exponenciális függvény szerint megy végbe, így ismerve a környezet T_k hőmérsékletét (amit egyenlőnek tekintünk a kaloriméter kiinduló hőmérsékletével), a mérési adatokra illeszthető függvény, amiből megtudhatjuk, hogy pontosan milyen paraméter szerint adja le a kaloriméter az energiát. Ezt az illesztést egy számítógépes program végzi el, ami miután kiszámította a hőleadás tulajdonságait, kiintegálja, hogy a mérés során mennyi hőt adott le a kaloriméter a környezetnek és ennek ismeretében korrigálja a mérési adatokat, úgy mintha nem lenne hőcsere a kaloriméter és a környezete között. A korrigált adatok alapján, már a fűtés kikapcsolása után a kaloriméter hőmérséklete (mérési hibával) állandó lesz, aminek megállapítva, már kiszámítható a kaloriméter hőkapacitása.

A második mérésben, azt mérjük, hogy a felmelegített minta, és a környezeti hőmérsékleten lévő kaloriméter hogyan áll be hőmérsékleti egyensúlyba. Ezt úgy teszük, hogy

a mintát berakjuk a termosztátba, felmelegítjük adott hőmérsékletűre, majd beleejtjük a kaloriméterbe. Ennek hatására a kaloriméter hőmérséklete el kezd emelkedni a mintától felvett hő miatt, de mivel közben folyamatosan adja le a hőt a környezetnek, ezért egy maximális hőmérséklet elérése után megint csökkenni fog. Az előbb használt számítógépes szoftverrel ebben az esetben is kiszámoltatjuk a korrigált hőmérsékletet, ami hosszú idő után az a hőmérséklet lenne, ami kialakulna a minta és a kaloriméter között. Mivel a kaloriméter hőkapacitását már ismerjük, ebből a közös hőmérsékletből kiszámolhatjuk a minta hőkapacitását (majd a tömeggel leosztva, fajhőjét) is.

A mérés harmadik részében szintén a minta fajhőjét szeretnénk meghatározni, de egy másik módszerrel. Megvárjuk, amíg a kaloriméter – benne a mintával – beáll egy stabil hőmérsékletre, majd a fűtőtesttel el kezdjük fűteni. Akárcsak az első esetben, itt is kiszámítható a rendszerrel közölt hő, és itt is ugyanazt tapasztaljuk, hogy a fűtés befejeztével a hőmérséklet visszacsökken. Az első méréshez hasonlóan most is meg lehet állapítani kihűlés paramétereit, amiből a szoftver most is kiszámolja a korrigált hőmérsékletet, de mivel most már a kalorimétert a mintával együtt fűtjük, a hőkapacitásba, már az is beleszámít. A két mérés eredményeiből ki lehet számolni a minta fajhőjét.

Kiértékelés

A méréshez használt segédeszközök adatai:

- A tápegység feszültsége: $U = 1,839 V \pm 0,001 V$
- A fűtőtest ellenállása: $R = 7,07 \Omega \pm 0,01 \Omega$
- A termosztát hőmérséklete: $T_{m0} = 33,0^\circ C \pm 0,01^\circ C$
- A minta tömege: $m = 4,766 g \pm 0,000 g$ (a mérleg sokkal több jegyre képes mérni a tömeget, mint ami a többi hiba mellett számít, ezért a hibáját 0-nak vettük)

A kaloriméter vízértékének meghatározása

A mérés során az első pár percben nem kapcsoltunk be semmit, csak mértük a hőmérsékletet, hogy biztos beállt-e már az egyensúlyi hőmérséklet (előszakasz). Eután bekapcsoltuk a fűtést, és amikor a hőmérséklet már 2-3 fokot emelkedett, akkor kikapcsoltuk (főszakasz). A fűtőtest kikapcsolása után, pedig mértük a hőmérővel, hogy hogyan hül ki a kaloriméter (utószakasz). A mért hőmérsékletet az idő függvényében, illetve a program által kiszámolt korrigált hőmérsékletet a szoftver ábrázolta grafikonon (mindhárom mérés alkalmával), ezeket a jegyzőkönyv végén külön csatoltam.

A mért adatok a számítógépes szoftver segítségével kiértékelhető, így megkaptuk az adatokat: a fűtést $t_{be} = 2,11$ percnél kapcsoltuk be, és $t_{ki} = 4,53$ percnél kapcsoltuk ki. (Az időt századpercre írta ki a program, így az időmérés hibáját mindenhol $\Delta t = 0,01$ percnak vettem.) Kezdetben a kaloriméter hőmérséklete $T_k = 17,32^\circ C \pm 0,01^\circ C$ volt, az utószakaszban a hőmérsékletcsökkenés exponenciális kitevője $\varepsilon_0 = 0,08168 \frac{1}{perc}^1$, a korrigált hőmérséklet állandósult értéke pedig $T^* = 20,52^\circ C \pm 0,02^\circ C$ volt.

A kaloriméter hőkapacitása azt mutatja, hogy adott hőmérséklet változáshoz mennyi

¹Az exponenciális kitevők kiszámítását a program végzi, görbeillesztéssel, elég nagy pontossággal ahhoz, hogy a hibáját ne vegyük figyelembe a többi bizonytalanság mellett.

hőt kell közölni a kaloriméterrel, azaz:

$$v = \frac{\frac{U^2}{R} (t_{be} - t_{ki})}{T^* - T_k} \quad \text{valamint} \quad \delta v = 2\delta U + \delta R + \frac{2\Delta t}{t_{ki} - t_{be}} + \frac{\Delta T^* + \Delta T_k}{T^* - T_k}$$

Behelyettesítve az értékeket, azt kapjuk, hogy $v = 21,64 \frac{J}{K} \pm 0,40 \frac{J}{K}$. A továbbiakban ennyinek tekintjük a kaloriméter hőkapacitását.

A minta fajhőjének mérése

mérés az a módszerrel A mérés elején itt is vártunk pár percet, hogy lássuk beállt-e az egyensúlyi hőmérséklet (előszakasz), majd a minta kaloriméterbe ejtése után a kaloriméter hőmérséklete hirtelen el kezdett emelkedni (főszakasz), végül a maximális hőmérséklet elérése után, szintén visszacsökken a hőmérséklet (utószakasz). Az adatokat szintén a szoftver segítségével állapítottuk meg: a környezet hőmérséklete: $T_k = 16,76^\circ C \pm 0,02^\circ C$, a korrigált hőmérséklet hosszú idő után el telt értéke $T^* = 19,42^\circ C \pm 0,01^\circ C$, a főszakaszt leíró exponenciális függvény kitevője pedig $\varepsilon' = 3,341$.

Elméleti úton belátható, hogy a környezeti hőmérséklettől a kaloriméter hőmérsékletének eltéréseinek és a minta hőmérsékletének eltéréseinek aránya $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon' - \varepsilon_0}$, így a ha levonjuk a hőátadás okozta veszteségek hatását, akkor a minta egyensúlyi hőmérsékletének értéke:

$$T_m^* = T_k + \frac{\varepsilon'}{\varepsilon' - \varepsilon_0} (T^* - T_k) \quad \text{ahol} \quad \Delta T_m^* = 2\Delta T_k + \Delta T^*$$

Ennek ismeretében már a fajhő is kifejezhető, hiszen (a veszteségek nélkül) a kalorimétert az a hő fűti, amit minta lead.

$$c = \frac{v}{m} \frac{T^* - T_k}{T_{m0} - T_m^*} \quad \text{aminek a hibája} \quad \delta c = \delta v + \frac{\Delta T^* + \Delta T_k}{T^* - T_k} + \frac{\Delta T_{m0} + \Delta T_m^*}{T_{m0} - T_m^*}$$

A mérési adatok alapján az alábbi eredményeket kapjuk: $T_m^* = 19,49^\circ C \pm 0,05^\circ C$ és $c = 894 \frac{J}{kg \cdot K} \pm 37 \frac{J}{kg \cdot K}$.

mérés a b módszerrel Ez a mérés hasonló a vízértékmeghatározás méréséhez. Pár percnyi előszakaszban mérjük a kezdeti hőmérsékletet, majd a főszakaszban bizonyos ideig fűtjük a rendszert, végül az utószakaszban a hőmérsékletcsökkenést vizsgáljuk. Az adatokat szintén a szoftver segítségével határoztuk meg, ezek: a melegítést $t_{be} = 4,22$ percnél kapcsolunk be és $t_{ki} = 7,03$ percnél kapcsoluk ki. A kezdeti hőmérséklet $T_k = 17,10^\circ C \pm 0,02^\circ C$ volt, az utószakaszra illeszkedő exponenciális függvény kitevője $\varepsilon = 0,07677 \frac{1}{perc}$, a korrigált hőmérséklet stabilizálódott értéke pedig $T^* = 20,12^\circ C \pm 0,01^\circ C$ volt.

A minta fajhője kiszámolható, ha (a hőátadással nem számolva) az általa felvett hőt elosztjuk a hőmérsékletváltozásával és a tömegével, az általa felvett hő pedig nem más, mint az, ha levonjuk a fűtőtest által leadott energiából a kaloriméter által felvett hőt:

$$c = \frac{1}{m} \frac{\frac{U^2}{R} (t_{ki} - t_{be}) - v (T^* - T_k)}{T_m^* - T_k} \quad \text{és} \quad \delta c = \delta \left(\frac{U^2}{R} (t_{ki} - t_{be}) - v (T^* - T_k) \right) + \delta (T_m^* - T_k)$$

ahol T_m^* a minta korrigált hőmérsékletének stabilizálódott értéke, ugyanúgy számolható, mint az *a* módszerrel, de mivel itt a $T_m^* - T_k$ értékkel számolunk, ezért közvetlen ezt számoljuk ki, hogy a T_k hibája ne öröklődjön többszörösen. Ezek alapján $T_m^* - T_k = 3,10^\circ C \pm 0,03^\circ C$ és $c = 1040 \frac{J}{kg \cdot K} \pm 140 \frac{J}{kg \cdot K}$. Tehát, a két módszerrel megmért fajhő ugyan nincs benne egymás hibahatárában, de hibahatáraiknak van közös tartományuk.

Hőátadási tényezők kiszámolása

Az eddig megkapott mennyiségekből kiszámolhatóak a rendszer összetevői között a hőátadási együtthatók. A kaloriméter és a környezet közötti hőátadási együttható az első mérés exponenciális lefutása alapján könnyen kiszámítható:

$$h = \varepsilon_0 v \quad \text{és mivel } \varepsilon_0 \text{ hibája elhanyagolható} \quad \delta h = \delta v$$

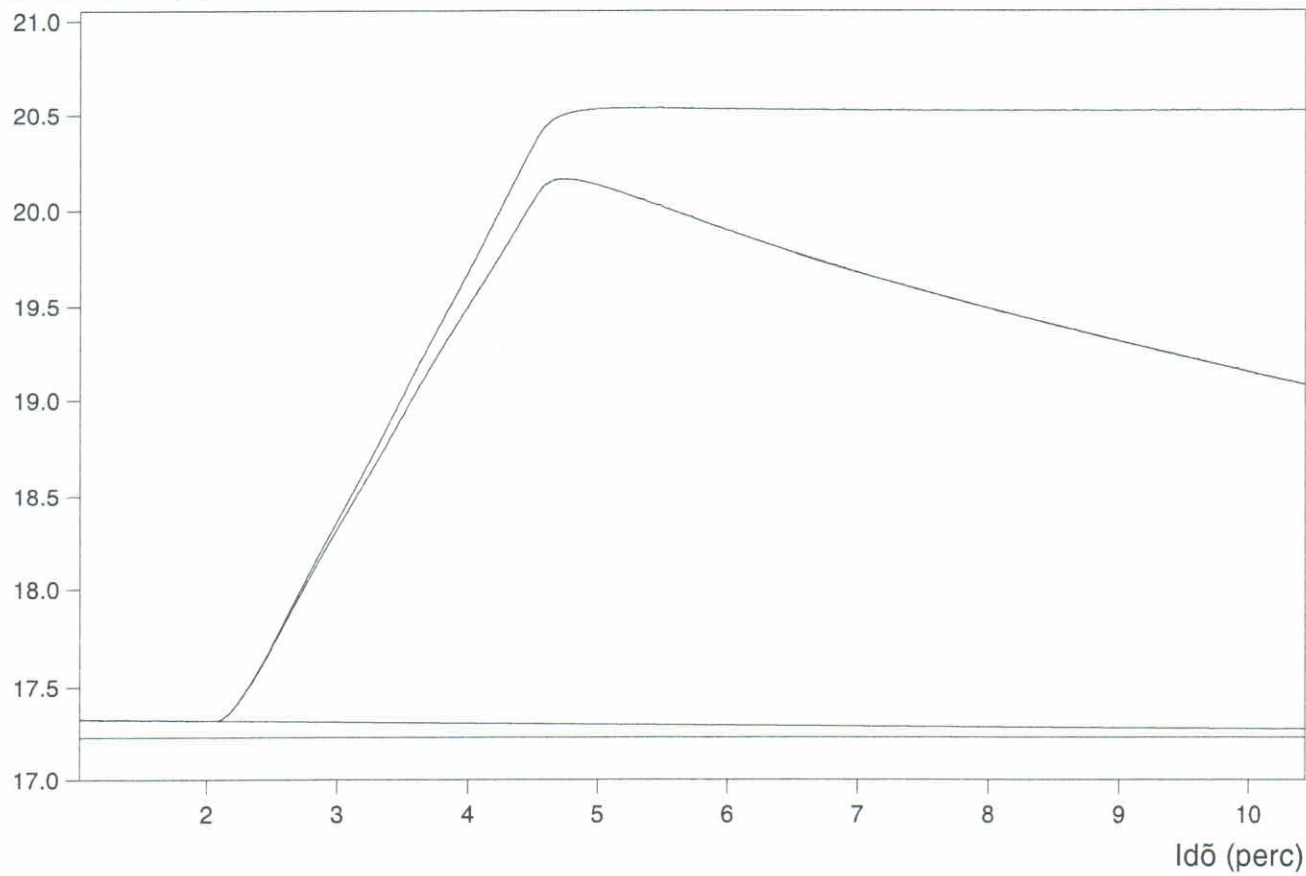
Így tehát $h = 0,02945 \frac{W}{K} \pm 0,00055 \frac{W}{K}$. A minta és a kaloriméter közötti hőátadási együttható kiszámolása kicsit bonyolultabban, de mérésekben mért adatokból szintén kiszámolható:

$$k = \varepsilon \varepsilon' \frac{cm}{\varepsilon_0} \quad \text{a hiba pedig} \quad \delta k = \delta c$$

A minta fajhőjének értékéül, itt a két fajhőmérési módszerből kapott érték átlagát vettük, vagyis $c = (970 \pm 170) \frac{J}{kg \cdot K}$ -vel számoltunk. Ezzel, a hőátadási együttható: $k = 0,241 \frac{W}{K} \pm 0,043 \frac{W}{K}$.

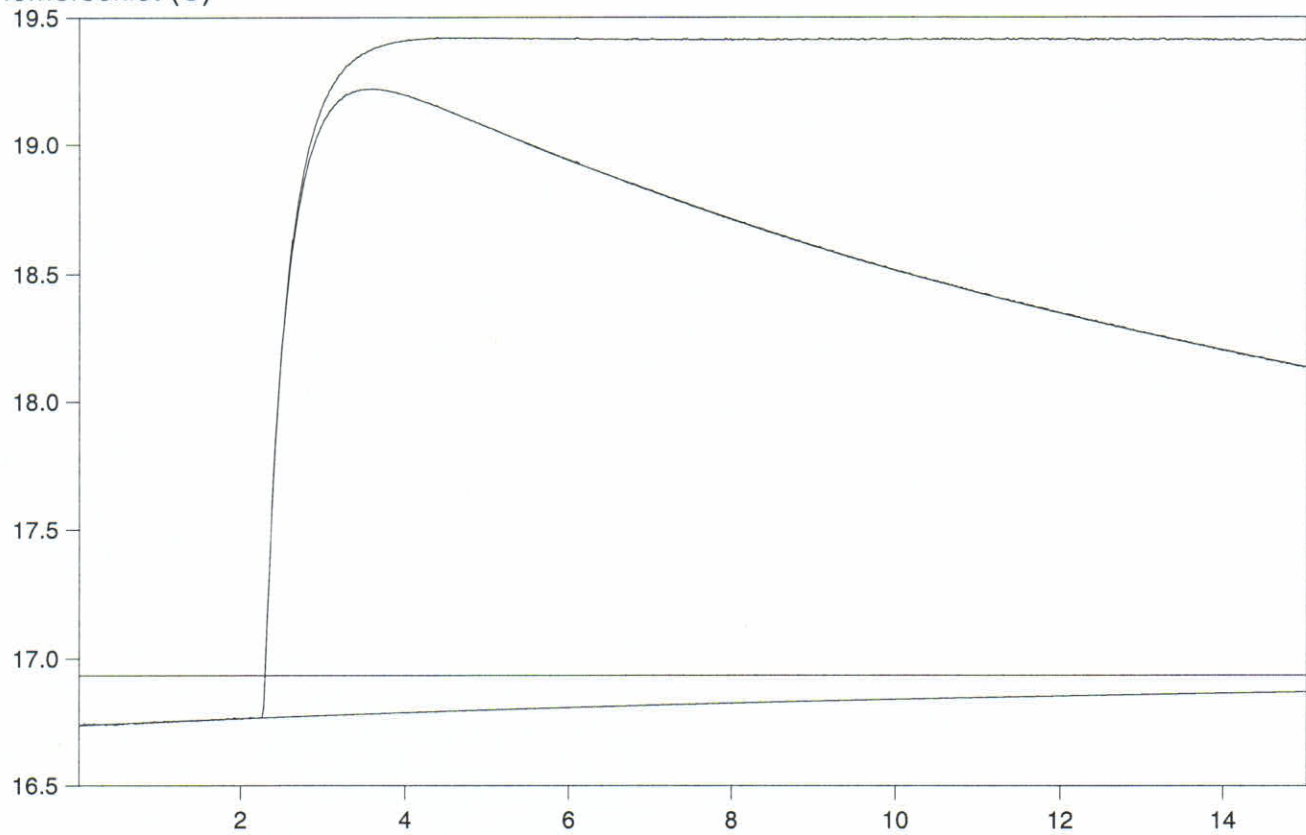
Mivel a k értéke a h -nak nagyjából 8-szorosa, már elég jó közelítéssel mondható, hogy $k \gg h$, vagyis a minta és a kaloriméter között sokkal gyorsabb a hőcsere, mint a kaloriméter és a környezete között, tehát a mérési eszközünk valóban egy jól tervezett kaloriméter volt.

Hőmérséklet (C)



A víztest melegítésének

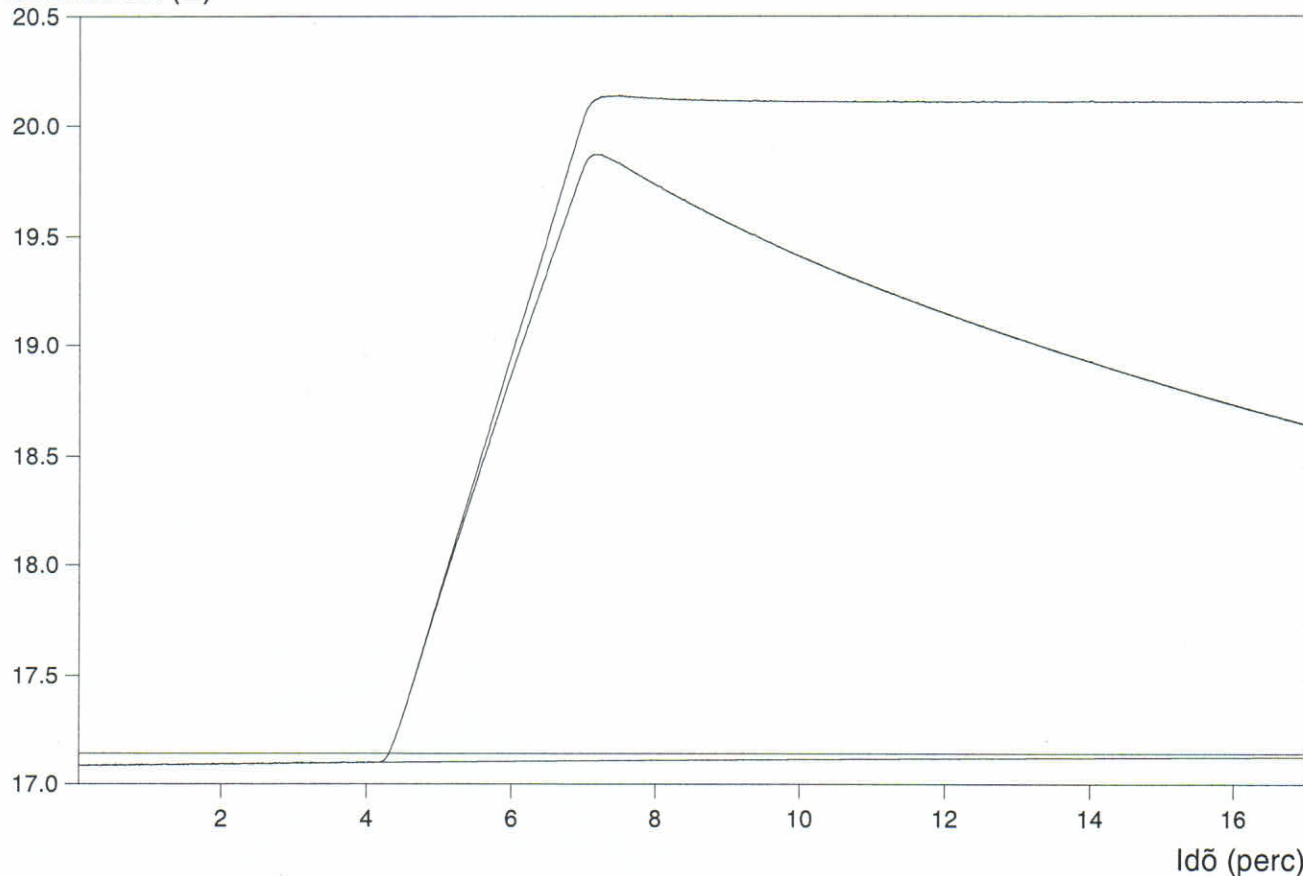
Hőmérséklet (C)



Tajló nézése az 'a' nézővel

Idő (perc)

Hőmérséklet (C)



Fajlő mérése a 'b' növényen