

Programozott elektronika középiskolásoknak: Hőterjedés vizsgálata fémrudakban

V. rész

A hőterjedés, akárcsak sok más fizikai folyamat vagy jelenség, számtalan formában jelen van a mindennapjainkban, és anélkül történik folyamatosan, gyakorlatilag mindenhol körülöttünk, hogy tudomást vennénk róla. A teljesség igénye nélkül csak, hogy néhány példát soroljunk: hőátadási folyamatok által valósul meg a főzés, a lakás fűtése télen, a számítógépek processzorainak hűtése, a hajszárítás, az elektromos energia előállítása hő- és atomerőművekben, de a hőátadásnak (és természetesen a Napnak) köszönhető az is, hogy az élet nem fagyott meg ezen a bolygón.

A következőkben bemutatunk egy, a hőterjedés iskolapéldájának vizsgálatára alkalmas mérési berendezést, amelyet javarészt egyszerű, „konyhai” eszközöket használva építettünk meg. Fémrudak esetén tanulmányozzuk a hőátadást néhány LM35 típusú hőmérsékletszenzor, Arduino UNO mikrokontrollerek és a LabVIEW nevű program segítségével.

Mint tudjuk, a hő terjedésének lényegében három formája van. A meleg tea-ba helyezett kanál szabadon levő vége a hővezetésnek (kondukciónak) köszönhetően melegszik fel, a gáztűzhelyre forralni tett víz felső rétegei főként a hőáramlás (konvekció) miatt melegednek, míg a napra kitett hőmérő alkoholszála elsődlegesen a hőszugárzás (radiáció) miatt kezd emelkedni. Megjegyzendő, hogy a kísérleteink során a kondukciónak a legjelentősebb. A viszonylag alacsony hőmérsékletek miatt a radiáció teljes mértékben elhanyagolható. A konvekciónak pedig csak a környezettel való kapcsolat miatti veszteségekben van szerepe.

A kísérleti berendezés

A berendezés fő eleme egy réz-, illetve egy alumíniumrúd, amelyeken a méréseket végezzük. A fémrudat két madzag segítségével felfüggesztjük egy tartó szerkezetre.

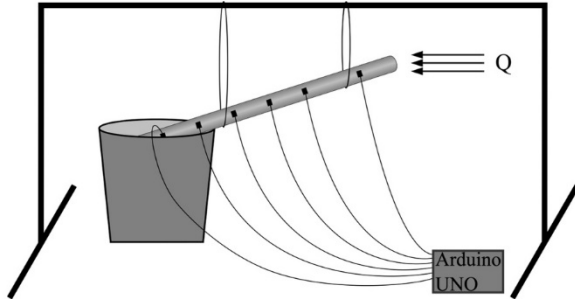
A rúdon hat LM35 típusú hőmérsékletszenzor van kábellekötéssel rögzítve, ezek szolgáltatják a mérési adatokat (ezek mellett van még egy-egy szenzor a rúd két végén, a fűtési és hűtési hőmérsékletek rögzítéséhez). A jobb termikus kontakt érdekében a szenzorok és a rúd érintkezési felületére hővezető pasztát vittünk fel.



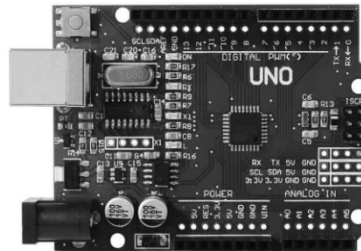
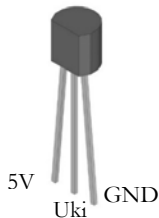
A hőmérsékletszenzorokat Arduino UNO mikrokontrollerek segítségével működtetjük (két Arduinóra van szükség), melyeket a LabVIEW nevű programmal vezérlünk.

Az eszköztárhoz hozzátartozik még egy elektromos hőlégfúvó (Q-val jelölve az 1. ábrán)

a rúd egyik végének fűtéséhez, egy veder szobahőmérsékletű víz a másik vég hűtéséhez, fűtőcsövek szigetelésére használt polietilén szivacs, illetve két fa bútorlap. A szivaccsal a fémrudak szigetelését valósítjuk meg (a későbbiekben majd összehasonlítjuk a szigetelt és a szigetelés nélküli rúdon végzett méréseket), míg a bútorlapokat, melyeken egy-egy, az alumínium és rézrúd átmérőjével megegyező rés van, a rudak fűtött végére helyezük, hogy a hőlégfúvó légáramlata ne befolyásolja a szenzorok által mért értékeket.



1. ábra. A mérési berendezés vázlatja



2. ábra. Az LM35 és kivezetései, illetve az Arduino UNO

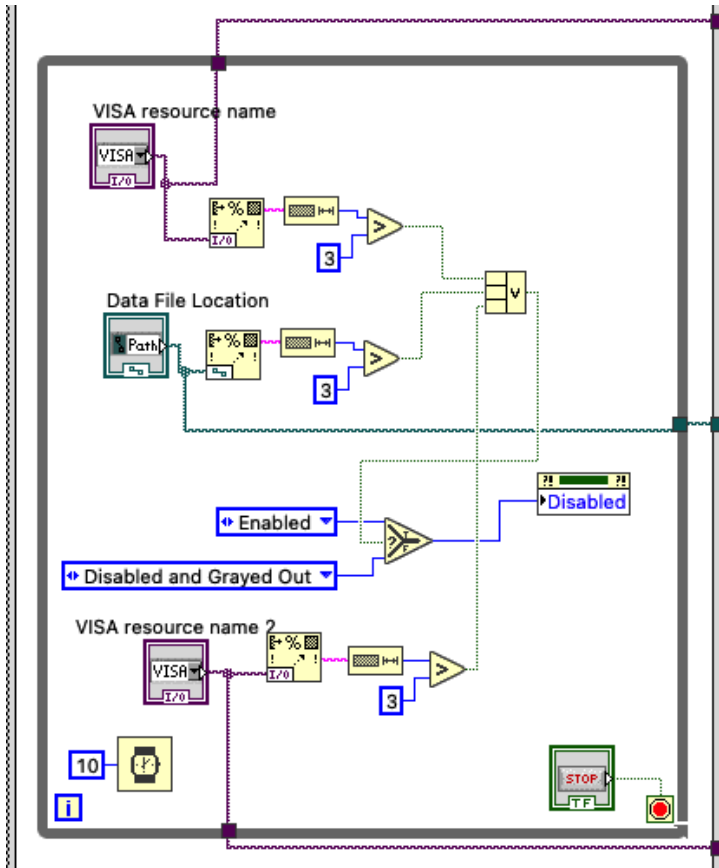
Ahogy már említettük, a szenzorok működtetése Arduino UNO mikrovezérlőkkel történik. A három kivezetéssel rendelkező szenzorok 2 tápcsatlakozóját az Arduino GND és 5V pinjeihez, a kimeneti jelet pedig egy-egy analóg pinhez csatlakoztatjuk. Egy Arduinón 6 darab analóg pin van, ezért van szükség 2 mikrovezérlőre, hiszen a mérések során ennél több szenzorunk van.

Az Arduinókat USB porton keresztül számítógéphez csatlakoztatjuk, és egy rövid programot készítünk, amely a beolvasott analóg jeleket hőmérsékletértékekké alakítja. A program lényegi részét az adja, hogy tudjuk, hány mV-ot változik a szenzor kimeneti jele 1 °C-nyi hőmérsékletváltozás esetén. Ezt nevezük skálázási faktornak, és az LM35 esetében értéke 10 mV/°C. Matematikai



alakban tehát, a szenzor kimeneti jelét U_{ki} -vel, a skálázási faktort S -el jelölve, a következő összefüggéssel számolható a hőmérséklet:

$$T = \frac{U_{ki}}{S} = 0,1 \cdot U_{ki}$$



3. ábra. Részlet a LabVIEW programból

A beolvasás mellett szükség van az adatok fájlba írására, és az egész folyamat automatizálására. Ebben volt segítségünkre a LabVIEW, amely a hagyományos szöveges utasításokat használó programozási nyelvekkel szemben egy grafikus programozási környezet (lásd 3. ábra), és a miénkhez hasonló feladatokra fejlesztették ki.



Eredményeink

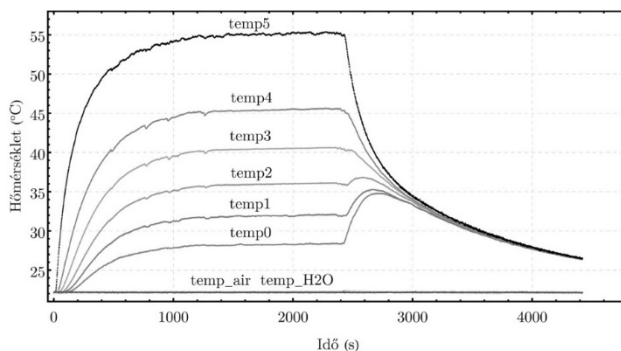
A mérések a következő forgatókönyv szerint történtek: a rúd egyik végét belelógatjuk a szobahőmérsékletű vizet tartalmazó edénybe, a másikat pedig a hőlégfúvóval elkezdjük fűteni. Megvárjuk amíg beáll egy egyensúlyi állapot, amikor az egyes szenzorok által mutatott értékek jó közelítéssel nem változnak (ezt nevezzük stacionárius állapotnak). Ekkor kikapcsoljuk a fűtést, és kiemeljük a rúd végét a vízből (van eset amikor benne hagyjuk, hogy lássuk a különbséget), majd hagyjuk kihűlni a rudat.

A következőkben bemutattunk, és magyarázunk néhány eredményt.

Az alábbi ábrán látható is az első példa rézrúd esetén. A szenzorok megnevezéseinek a végén a sorszám annál nagyobb,

minél közelebb van az illető szenzor a melegített véghez (*temp0* a hűtött végénél van, *temp5* pedig a fűtöttnél). A *temp_air* és *temp_H2O* a környező levegő és a hűtővíz hőmérsékletét jelenti.

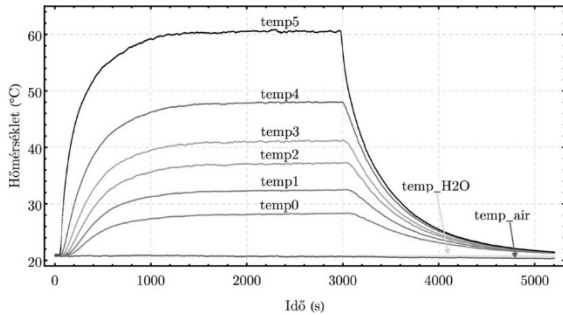
Megfigyelhető, hogy a jelenség a mérési forgatókönyvnek megfelelően három részre osztható. Először melegedés egészen kb. 1200–1400 s-ig, ami alatt természetesen a fűtéshez közelebbi részeknek jobban megnő a hőmérsékletük, mint a hűtéshez közelebbieké. Ezután beáll a stacionárius állapot, azaz az adatok nagyjából vízszintes vonalakat rajzolnak ki. Majd kb. 2400 s-tól következik a hűlés. A hűlés láthatóan érdekesebb, hiszen a hűtött részhez közelebb levő szenzorok először felmelegednek. Belegondolva viszont ez természetes, hiszen a termodinamika második főtétele követve a fűtés felőli melegebb részről hőenergia áramlik a hűtővízből kivett hidegebb rész felé. Ezáltal láthatóan a teljes rúd nagyjából egyazon hőmérsékletre áll be (3800–4000 s körül), majd egyenletesen hűl tovább.



4. ábra. Első mérés, rézrúd



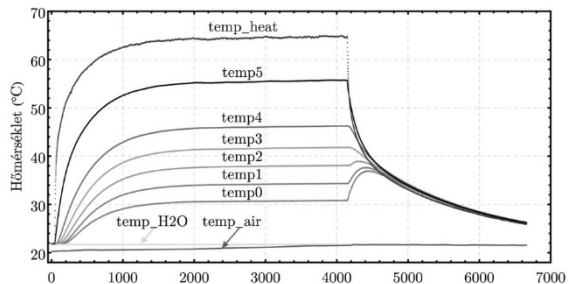
Az 5. ábra mutat egy másik mérést, amely során a stacionárius állapot beállta után csak a hőlégfúvót kapcsoltuk ki, viszont a rúd másik végét benne hagytuk a vízben. A mérés első két szakasza minőségileg teljesen megegyezik az előző esettel, ellenben a hűlésnél hiányzik a hidegebb részek kezdeti felmelegedése, hiszen a hőt „elszívja” a hűtővíz.



5. ábra. Második mérés, rézrúd

Emellett, tekintve a hőlégfúvó kikapcsolásának pillanatát (kevésbé 3000 s előtt), észrevehető, hogy a fűtött végtől (azaz *temp5*-től) a hűtött vég (azaz *temp0*) felé haladva a hűlés egyre később és később kezdődik meg. Ez egész egyszerűen annak köszönhető, hogy a melegebb résztől jövő hőenergia egy ideig még szinten tartja a hőmérsékleteket.

Alább (6. ábra) egy következő példa látható. Ebben a mérésben az volt a különleges, hogy a rézrudat polietilén szivaccsal leszigeteltük (a fűtött és a hűtött végek természetesen kilógnak a szigetelés alól). Emellett felkerült még egy szenzor (*temp_heat*) a rúd melegítés felőli végére. A szigetelés számottevően csökkenti a külső tényezők hatását a teljes folyamatra, ami meglátszik a grafikon simaságán (az adatok az előző példákhoz képest kevésbé „zajosak”).



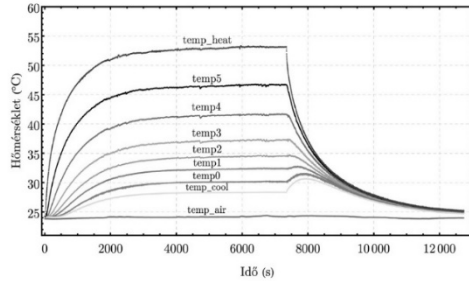
6. ábra. Harmadik mérés, rézrúd szigetelve

Továbbá a *temp_heat* által mutatott érték a hóforrások eltávolítása után hirtelen nagyot esik egészen az összes többi szenzor értéke alá. Ez amiatt történik, hogy a rúd végén nincs szigetelés, és így, a környezettel való közvetlen kapcsolat miatt jobban hűl (azaz nagyobb a konvekció miatti veszteség, mint a szigetelt részeken).

Az eddigi, rézrudon végzett mérésekkel szemben a 7. ábrán egy alumíniumrúd esetén tekinthetjük meg a hőmérsékletprofil (a *temp_cool* a hűtött vég hő-



mérsékletét jelenti). Rögtön felfigyelhetünk egy viszonylag szembetűnő különbségre: a hőforrások eltávolítása után az alumíniumrúd egyes részei (a rézhez képest) nagyon lassan hűlnek egy közös hőmérsékletre. Ha megnézzük az alábbi ábrát, a közös hőmérséklet beállása kb. 3600 s után történik meg (7400–11000 s közti intervallum), ezzel szemben a 4. ábrát tekintve a réznél ez mindössze kb. 1600 s alatt megvalósul (2400–4000 s közti intervallum). Ez az alumíniumnak azt a tulajdonságát tükrözi, hogy a hővezető képessége kisebb, mint a rézé.



7. ábra. Negyedik mérés, alumíniumrúd

Következtetések

A bemutatott mérési berendezés egyszerűségének köszönhetően felhasználható a hővezetés és a hőáramlás minőségi vizsgálatára és szemléltetésére. Amennyiben a felhasznált rudakra, illetve a mérési körülményekre ismerjük a jellemző anyagállandókat és fizikai paramétereket, a berendezés alkalmas lesz a hőterjedési folyamatok mennyiségi vizsgálatára is.

Forrásanyagok:

1. Bereci Tamás. – Hőterjedés vizsgálata fémrudakban. Államvizsgálózat, Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Magyar Fizika Intézet, Mérnöki Fizika szak, Kolozsvár, 2022
2. <https://www.arduino.cc/>
3. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
4. Jeffrey Travis és Jim Kring. *LabVIEW for Everyone Graphical Programming Made Easy and Fun*. 3. kiad. Crawfordsville, Indiana: Prentice Hall, 2006
5. Budó Ágoston. *Kísérleti fizika I. kötet (Mechanika, Hőtan, Hangtan)*. 4. kiad. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, 1970

Bereci Tamás*, Simon Alpár, Tunyagi Artúr

Magyar Fizika Intézet, Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Fizika Kar

* mérnökfizikus, SC Robert Bosch GmbH, AE/ECF

