

HŐMÉRSÉKLETMÉRÉS TERMISZTORRAL

– Egyszerű digitális kísérletek a „semiből”

Stonawski Tamás, Gálik Tamás

Nyíregyházi Egyetem

Az „e-bögre” a *Fizikai Szemle* egy korábbi számában volt bemutatva [1]. Az e-bögre egy hétszegmenses kijelzőn megjelenítve méri a beletöltött folyadék hőmérsékletét. A bögre nagy sikert aratott a gimnazista diákok körében, de többen a „fekete doboz” belsejére, azaz a működésére is kíváncsiak voltak. Ekkor fogalmazódott meg bennünk, hogy bevihető-e középiskolai oktatásba a termisztoros hőmérsékletmérés elektrotechnikai ismertetése, el tudják-e készíteni a diákok a mérőeszközt tanári segítséggel? Hiszen a mikrokontrollerrel megvalósított szerkezet megépítése bizonyos informatikai jártasságot feltételez, az áramkör összeállítása elektrotechnikai szaktudást, a kalibrálás megfelelő elméleti fizikai háttérrel követel meg a tanulóktól. Beláttuk, ez a feladat a hagyományos tanóra keretein belül nem valósítható meg, de 10-12. osztályos gimnazisták szakköri tevékenységének érdekes színfoltja lehet.

Szakköri sillabusz készítésére szántuk el magunkat, hogy a témában esetleg kevésbé jártas tanárkolégák is kedvet kapjanak egy praktikus „mérőeszköz” elkészítésére, ami a heti zsebpénzből megvásárolható alkatrészekből álló, hazavihető „használati tárgy”. A kísérletek kidolgozása közben felmerülő ötletek alapján elhatároztuk, hogy a későbbiekben esetleg kilépünk a termodinamika témaköréből és a fizika

más területeit is célba vesszük az olcsó mikrokontrollerekkel könnyen megvalósítható mérésekkel, kísérletekkel. Megállapodtunk abban is, hogy a megírt szoftvereket és mérési eljárásokat is letölthetővé tesszük az érdeklődők számára, hiszen fő célunk az, hogy a középiskolások kis költségvetésből érdekes, számítógépes, digitális méréseket végezhesenek. Így az adatok lejegyzése és ábrázolása nem leterhelő a szakkör alatt, ezáltal – remélhetőleg – jobban tudnak fókuszálni a kísérletek háttérében húzódó fizikai jelenségekre.

A leírt kísérleteket – természetesen – iránymutató-nak szántuk, az olvasó lehetőségeire és kreativitására bízunk a további vizsgálódásokat, fejlesztéseket.

Hőmérsékletmérés termisztorral

Elméleti áttekintés [2]

Az NTK-termisztorok¹ ellenállása a hőmérséklet emelkedésével exponenciálisan csökken (A és B a félvezetőre jellemző állandók):

$$R_T = A e^{\frac{B}{T}}. \quad (1)$$

Az egyenlet mindkét oldalának logaritmusát véve az alábbi összefüggést kapjuk:

$$\ln R_T = B \frac{1}{T} + \ln A. \quad (2)$$

A termisztorok 25 °C-os hőmérséklethez tartozó ellenállását a gyártók fel szokták tüntetni, ezt az értéket az előző (2) egyenletbe behelyettesítve kapjuk:

$$\ln R_{25} = B \frac{1}{298,15 \text{ K}} + \ln A. \quad (3)$$

Ha a (3) egyenletből kifejezzük $\ln A$ -t beírjuk a (2) egyenletbe, a (4) összefüggéshez jutunk:

$$\ln R_T = B \frac{1}{T} + \ln R_{25} - B \frac{1}{298,15 \text{ K}}. \quad (4)$$

Ezáltal az A paramétert kiküszöböltük, és az abszolút hőmérséklet reciproka az $\ln R_T$ kifejezés elsőfokú függvényeként szerepel. Tehát az összetartozó hőmérséklet- és ellenállásértékek mérésével, majd azok

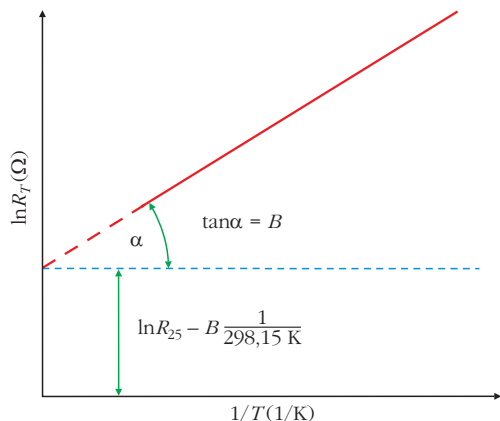
¹ Negatív karakterisztikájú termisztorok, ellenállásuk a hőmérséklet növekedésével csökken.



Stonawski Tamás a Nyíregyházi Egyetemen főiskolai adjunktus. Doktori címét 2016-ban az ELTE Fizika Tanítása doktori program keretében szerezte. Kutatási területe a digitális média alkalmazása a tanulói kreativitás, problémamegoldás és önálló kísérletezés fejlesztésére általános és középiskolában.



Gálik Tamás a Nyíregyházi Főiskolán fizikusként végzett, jelenleg a Nyíregyházi Egyetem II. éves fizika-kémia mesterszakos hallgatója. Kísérleti és demonstrációs eszközök tervezésével és készítésével foglalkozik. Rendszeresen tart tudománynpszerűsítő előadásokat korosztálytól függetlenül az ország számos pontján.



1. ábra. A (4) összefüggés grafikonja. Az egyenes meredeksége maga a B paraméter.

ábrázolásával, a grafikon egyenesének meredekségéből a B értékét kiszámíthatjuk, így a (4) összefüggés B -től független, egyértelmű függvénykapcsolatot ír le a termisztor ellenállása és hőmérséklete között (1. ábra).

Az alábbiakban tárgyalt digitális hőmérsékletmérés az ellenállás hőmérsékletfüggésén alapszik.

Szükséges anyagok, eszközök²

Arduino mini mikrokontroller (2. ábra), műanyag próbapanel, 10 k Ω -os termisztor (NTC MF52-103 3435 10K ohm 5% Thermistor Temperature Sensor), 10 k Ω -os ellenállás, soros USB-konverter (ami lehetővé teszi az oda-vissza kommunikációt a számítógéppel), számítógép, szoftver.

Az áramkörépítés elméleti alapjai

A termisztorral kössünk sorosan egy ($R = 10\text{ k}\Omega$) ellenállást: ezáltal feszültségosztót képezünk (3. ábra). Fejezzük ki az R_T ellenállást ezen U_T feszültséggel:

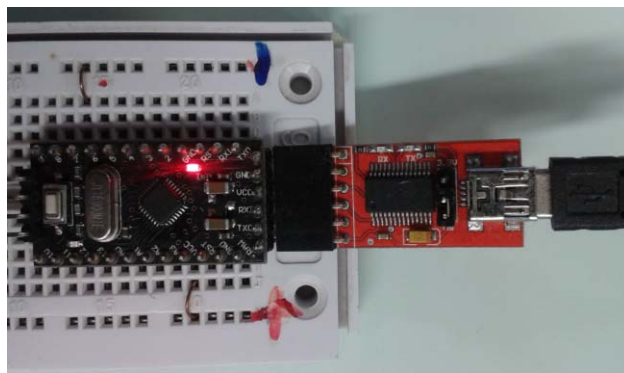
$$R_T = \frac{U_T}{I_T} = \frac{U_T}{\frac{U_R}{R}} = \frac{U_T}{U_0 - U_T} R. \quad (5)$$

A termisztor által küldött jelek az A0 analóg bemeneten (4. ábra) az U_T feszültséggel (0–5 V) arányosak; 0 és 1023 közötti egész értéket vehetnek fel (jelöljük U_T' -vel), az R ellenállás értéke állandó hőmérsékleten nem változik (ennek teljesüléséhez az R ellenállást távol kell elhelyezni a termiszortól).

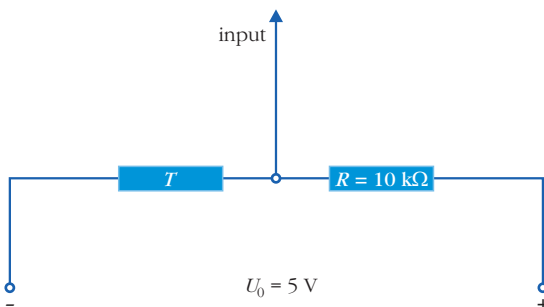
U_0 -nak feleltessük meg a maximális 1023 értéket és írjuk (5)-be! Ekkor R_T -vel egyenesen arányos R_T' mennyiséget kapunk:

$$R_T' = \frac{U_T'}{1023 - U_T'} \cdot \text{állandó}. \quad (6)$$

² Beszerzés: Budapesten a LOMEX-nél, olcsón az interneten, például ebay-en.



2. ábra. Az Arduino mini mikrokontroller munka közben.



3. ábra. A feszültségosztó kapcsolási rajza.

Az áramkör elkészítése

Készítsük el a mikrokontrollerrel a fentebb tárgyalt kapcsolást, rajzát a 4. ábra mutatja.

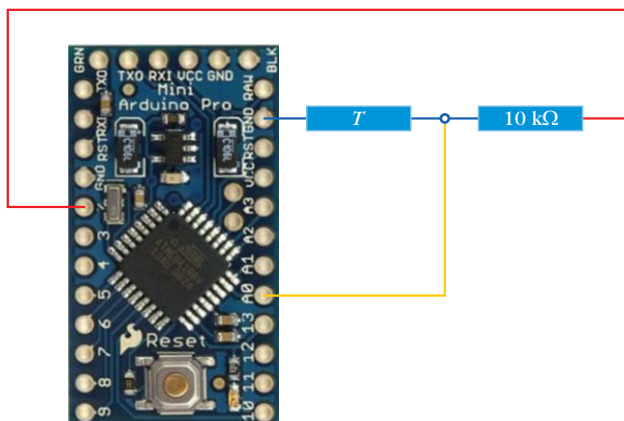
Ezt követően a mikrokontroller szoftverének telepítése és programozása következik [3]. A program futtatása során a megadott késleltetési időnek megfelelően jelennek meg U_T' felvett értékei.

Hőmérsékletmérés kalibrálása

Ahhoz, hogy a számítógép kijelzőjén az U_T' értékek helyett $^{\circ}\text{C}$ -ban kifejezett hőmérsékletértékek jelenjenek meg, egy hitelesített hőmérő segítségével kalibrálást kell végeznünk.

Forraljunk vizet lombikban, olvassuk le a forráspontot a lombikba helyezett hőmérő segítségével, és jegyezzük le a lombikba helyezett termisztor U_T' érté-

4. ábra. A mikrokontrollerre kötött feszültségosztó kapcsolási rajza.





5. ábra. A termisztor kalibrálása hitelesített hőmérővel.

két is (5. ábra)! Ezután – folyamatos kevergetés mellett – hagyjuk hűlni a vizet, és 10 fokonként jegyezzük le az összetartozó értékeket! Ezt követően a (6) összefüggés alapján számoljuk ki az R_T' értékeket (az állandót vegyük egységnyi-nek), majd azokat a hőmérséklet függvényében grafikonon ábrázoljuk (6. ábra felső része)! A (3) összefüggés ismeretében, $1/T$ függvényében ábrázoljuk $\ln R_T'$ -t (6. ábra alsó fele)!

A 6. ábra alsó grafikonjára egyenest illesztve A és B értékek meghatározhatók:

$$A = e^{-11,328} = 1,20313 \cdot 10^{-5}, B = 3360,6.$$

Ezeket a (2) egyenlettel egybevetve a hőmérsékletre kapott összefüggés:

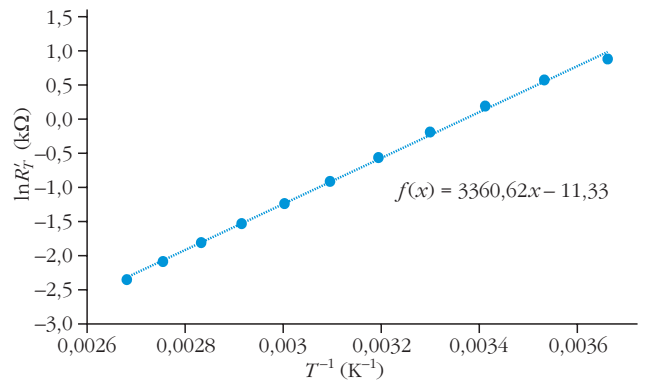
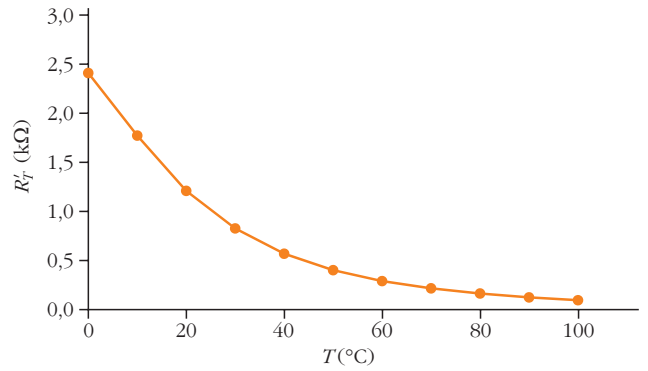
$$T (^{\circ}\text{C}) = \frac{B}{\ln\left(\frac{R_T}{A}\right)} - 273,15. \quad (7)$$

Ha az összefüggéssel kiegészítjük a mikrokontroller programját [4], akkor a hőmérséklet fog megjelenni a kijelzőn.

A kalibrálás ellenőrzése

Az elektrotechnikában a termisztorok hőmérsékletfüggésének meghatározásához újabban az alábbi összefüggéseket használják:

$$R_T = R_{25} \exp\left(B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298,15}\right)\right), \quad (8)$$



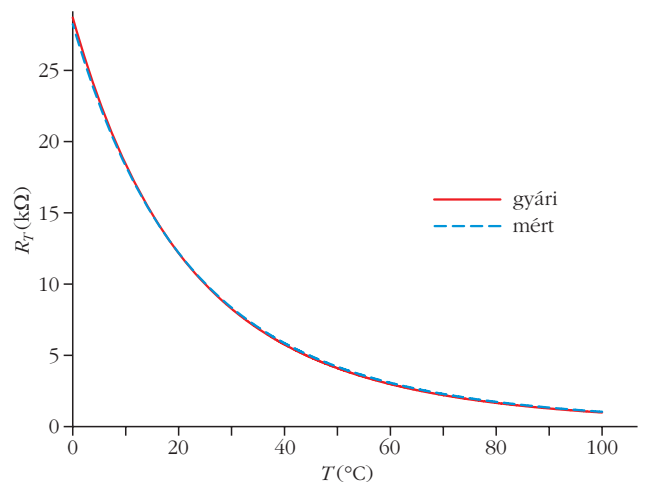
6. ábra. Bal oldalon: az összetartozó R_T' és T értékekből készített grafikon. Jobb oldalon: az összetartozó $\ln R_T'$ és $1/T$ értékekből készített grafikon (Excellel).

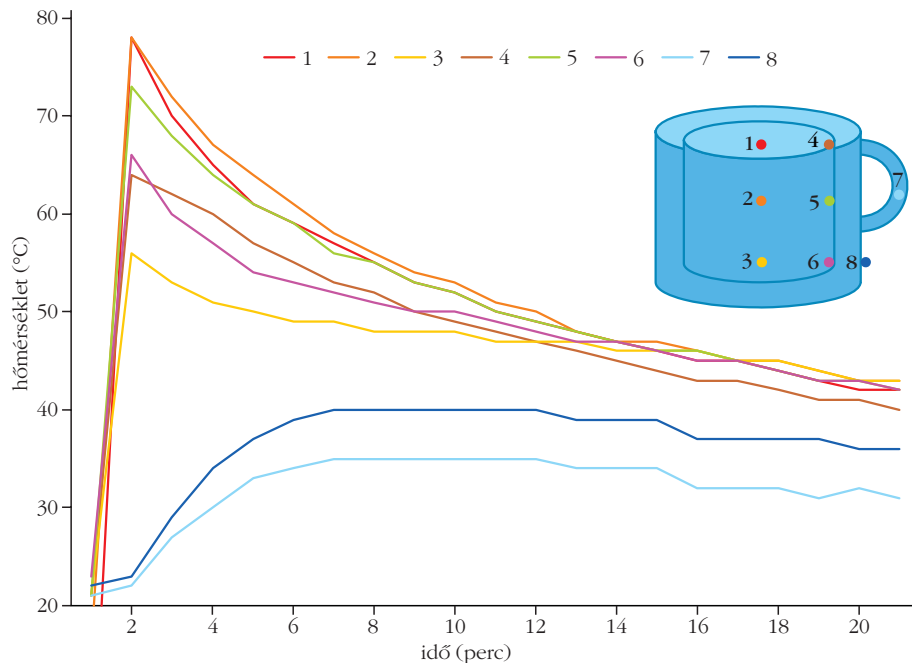
illetve

$$R_T = 10 \text{ k}\Omega \exp\left(B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298,15}\right)\right). \quad (9)$$

A (9) összefüggés praktikussága, hogy csak egy állandót tartalmaz. Ráadásul a B értéket fel is tüntetik a termisztor elnevezésében, jelen esetünkben: NTC MF52-103 3435 10K ohm 5% Thermistor Temperature Sensor, azaz $B_{gyári} = 3435$. Grafikon segítségével (7.

7. ábra. A gyári (folytonos) és a mért B értékekkel (szaggatott) ábrázolt R_T - T grafikon. A két grafikon 25 °C-hoz tartozó ellenállásértékei a (3) összefüggés miatt pontosan megegyeznek. Ettől a ponttól távolodva, a mérési pontatlanságból adódóan kisebb-nagyobb eltérésekre számíthatunk.





8. ábra. Nyolc termisztorral egyidejűleg végzett hőmérsékletmérés adatai. A grafikonon a forró tea víz és a teáscsésze különböző helyeinek hőmérsékletei vannak feltüntetve az idő függvényében.

termodinamikája című cikkben [1] közölt adatokat gazdagíthatjuk oly módon, hogy az egyidejű hőmérsékletmérést a teáscsésze különböző pontjaira is kiterjesztjük (8. ábra). A grafikonok szakköri elemzése során a tanulók alkotó módon alkalmazhatják fizikai tudásukat. A különböző pontok eltérő hőmérséklet-változására érdemes magyarázatot kérni. Jó kiindulás lehet, ha felvetjük a kérdést, miért térnek el a más pozícióban lévő mérési pontok hőmérsékletei például a 2. maghőmérséklettől (a párolgás és légmozgás szerepe, lásd 1. és 2. mérési pontok adatai közötti különbségeket, de a hőtartály hatását is felfedezhetjük a 8. mérési pont adatainak a 7.-hez viszonyított eltéréseiből stb.)

ábra) hasonlítsuk össze az általunk mért ($B_{mért} = 3360,6$) és a $B_{gyári}$ értékekkel a termisztor ellenállásának hőmérsékletfüggését!

A fentebb tárgyalt összeszerelést és kalibrálást szakköri tevékenység keretein belül érdemes elvégezni. A mérés pontosságát pedig könnyűszerrel ellenőrizhetjük a gyári érték ismeretében.

Másik érdekes feladat a teavíz hűlési görbéjének meghatározása egyidejűleg, de más-más anyagú poharakban. Mérésünknel 5 darab 2 dl-es poharat hasz-

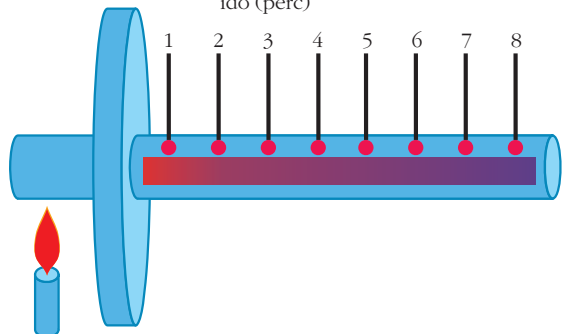
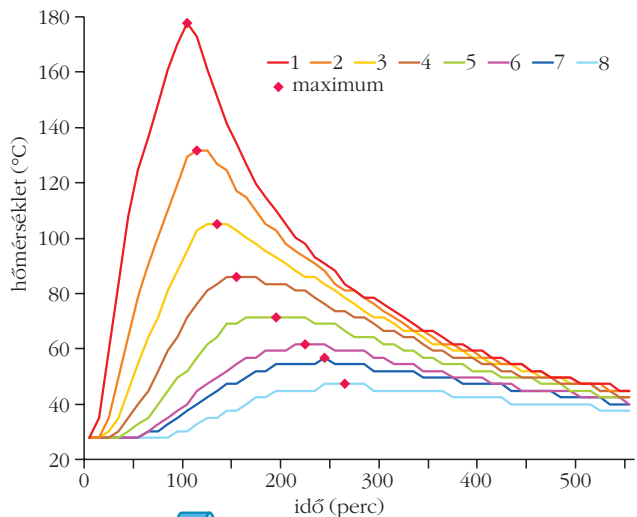
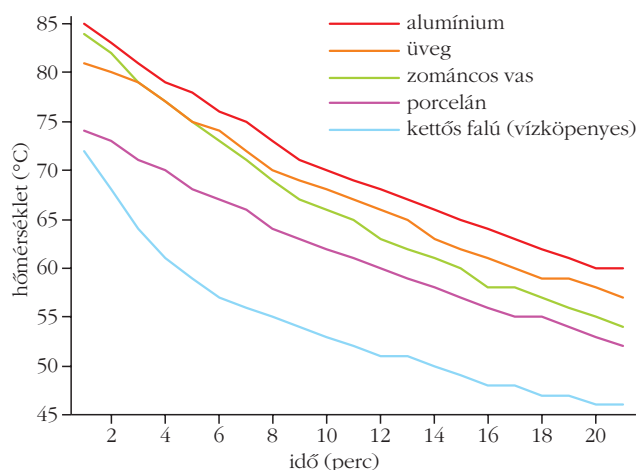
10. ábra. Az alumínium rúd furataiba helyezett termisztorok adatai alapján készült hőmérséklet-eloszlás grafikon. A rúdon látható színskála a mért adatok felhasználásával készült animáció egy időpillanatában szemlélteti a rúd hőmérséklet-eloszlását.

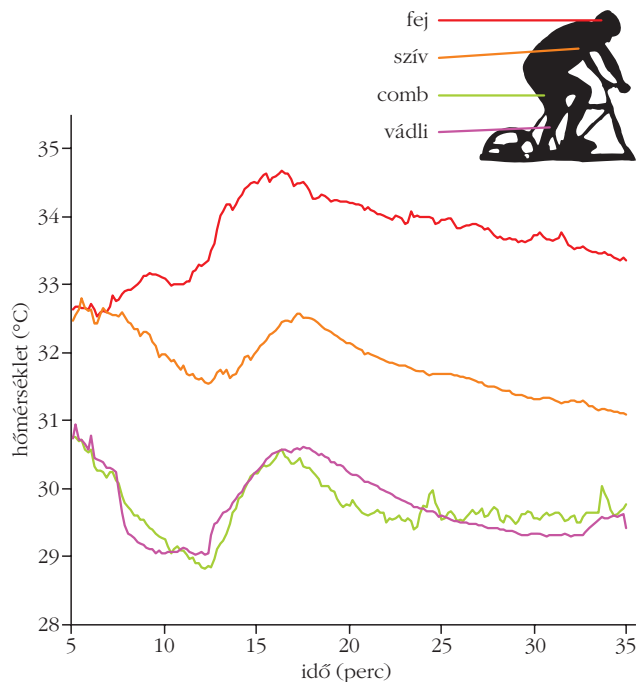
Egyszerű példák termisztoros hőmérsékletmérésre

A teavíz és teáscsésze hőmérsékletének mérése több termisztor segítségével

A felhasznált mikrokontroller több bemenettel is rendelkezik, ezért egy időben akár 8 termisztor adatait is beolvastathatjuk a számítógép memóriájába. A teázás

9. ábra. Különböző anyagú csészékbe öntött teavíz hőmérsékletének időbeli változása. A hőmérsékletmérés egyidejűleg történt.





11. ábra. A szobakerékpáros testrészeire (fej, szív, comb, vádli) illesztett termisztorok az alany lokális hőmérsékletét mérték terhelés és pihenés alatt.

náltunk fel (porcelán, üveg, zománcos vas, alumínium, vízköpenyes). A poharak belső falának középső részéhez rögzítettük a termisztorokat, majd az 1 literes kancsóban megízestett teát szétosztottuk a csészékbe. Az adatokat körülbelül 20 percig gyűjtöttük, majd a hőmérsékletet az idő függvényében grafikonon ábrázoltuk (9. ábra). A grafikon elemzése rávilágít a fajhő, hőkapacitás, hőtartály befolyásoló hatásaira.

A hővezetés értelmezése 8 termisztor adatai alapján

A hővezetés vizsgálatához egy alumínium rúdba egyenlő távolságokra lyukakat fúrtunk, és ezekbe helyeztük a termisztorokat. A rúd egyik végét gázlánggal melegítettük körülbelül 2 percig, majd a melegítést megszüntetve megvártuk, amíg a rúd kihűl. A kinyert hőmérsékletadatokból készített $T-t$ ($^{\circ}\text{C}-\text{s}$) grafikonon a hőmérsékleti maximumhelyek „időbeli vándorlása” jól szemlélteti a hőáramlást (10. ábra). Lehetőség szerint érdemes azonos méretű, de más anyagból (például rézből) készült rúddal is elvégezni a kísérletet, és összehasonlítani a két különböző rúd maximumainak „vándorlási sebességét”.

A hővezetés vizuális szemléltetéséhez animációt is készítettünk. Az animáció érdekessége, hogy a mért adatok alapján működik: egy-egy hőmérsékleti tartományhoz egy-egy megfelelő szint rendeltünk, figyelembe véve a színek hideg-meleg érzetét is [5].

Testhőmérséklet mérése

Hatásos „biofizikai” kísérletet végezhetünk el az osztályteremben az empirikus hőmérsékletskála tárgyalásával kapcsolatban. Megvizsgálhatjuk a Fahrenheit-

skála felső alappontját – a normál emberi testhőmérsékletet –, annak reprodukálhatóságát. Vajon melyik testtájékon és milyen terhelésnél mérjük meg a testhőmérsékletet?

Kísérletünkben egy szobakerékpározó bőrfelületére ragtapasszal rögzítettünk 4 termisztor: a homlokára, combjára, vádlijára és a szív tájékára. Az alany a bemelegítő normál tempó után néhány percig (6-12. perc) mindent beleadva hajtotta a biciklit, majd megpihent. Az alany hőmérsékletadataiból grafikont készítettünk (11. ábra)

A grafikont figyelve azonnal feltűnik, hogy a különböző testrészek hőmérsékletei között akár több fok eltérés is tapasztalható, ráadásul azok jóval alacsonyabbak a várt $36,5^{\circ}\text{C}$ -nál. A vártnál alacsonyabb hőmérsékletértékek a ragtapasz gyenge hőszigeteléséből és az izzadság párolgásából adódhattak. Az alsó végtagok jóval alacsonyabb hőmérséklete a lábak levegőhöz viszonyított nagy relatív sebességének következménye lehetett (ez ugyanis növelte a párolgási sebességet). Jól kivehető viszont, hogy a terhelés befejeztével (amikor kimelegszünk) mind a négy termisztor intenzív hőmérsékletemelkedést detektált.

A kísérlet jól mutatja, hogy az emberi test hőmérséklete nem állandó, így nem alkalmas jól reprodukálható hőmérsékleti alappont megválasztásának.

Konklúziók

Ha saját készítésű műszerekkel végzünk méréseket, sokkal izgalmasabb a munka, hiszen nemcsak mérünk, hanem egyben teszteljük is új eszközeinket. A szakkörön elkészített hőmérők másik előnye, hogy azokat a diákok haza is vihetik, és újabb érdekes kísérleteket végezhetnek lakókörnyezetükben (például szoba különböző pontjain – beleértve a radiátort is – a hőmérséklet-változás detektálása hosszabb időn keresztül – 1 naptól akár hónapokig –, de külső hőmérsékletet is mérhetnek, ha a termisztor ki tudja juttatni a lakásból). Természetesen megannyi szórakoztató és hasznos kísérletet lehetne még felsorolni és elvégezni, aminek a diákok fantáziája szabhat csak határt.

A bemutatott kísérletekkel kapcsolatos hiányzó részleteket az irodalomban feltüntetett linkeken keresztül lehet elérni.

Irodalom

1. Stonawski T.: A teázás termodinamikája. *Fizikai Szemle* 66/10 (2016) 347–351.
2. Juhász A.: *Fizikai kísérletek gyűjteménye 1*. Arkhimédész Bt. – Typotex Kiadó, Budapest, 1996; <http://metal.elte.hu/~phexp/doc/hot/j2s6.htm>
3. <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> – innen tölthető le a kontrollert programozó ingyenes szoftver, és a megírt program: http://fizikaiszemle.hu/attachments/201706/animacio_telepitese_es_futtatasa.txt
4. http://fizikaiszemle.hu/attachments/201706/termisztor_alapszoftver.txt
5. A program és a leírása innen tölthető le: http://fizikaiszemle.hu/attachments/201706/termisztor_homersekleltre_kalibralt_szoftver.txt és <http://fizikaiszemle.hu/attachments/201706/temp.rar>