

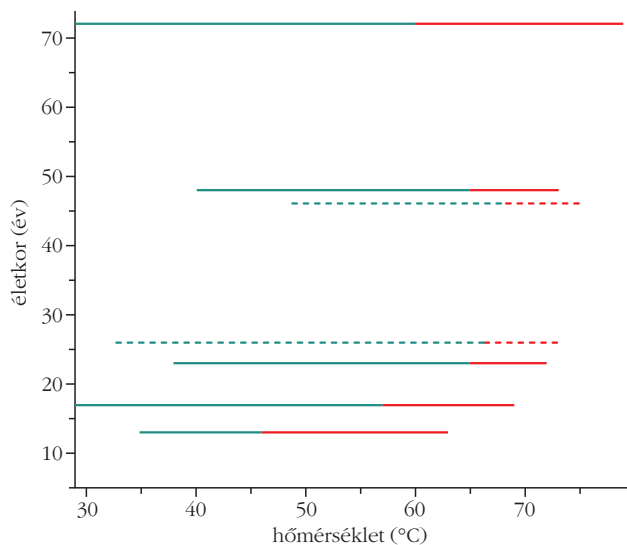
A gimnáziumi fizikaórák közötti szünetben többször megfigyeltem, hogy a kollégisták tízóraiájához gyakran adnak teát is. Egy műanyagkancsóból öntötték szét a teát a diákok műanyagpoharakba és nagy kedvvel szürcsölték a forró italt, mások egy ideig vártak, mert túl forrónak érezték a teát. Ezt követően az egyik fizikaórán a 10. osztályban a termodinamika főtételeivel foglalkoztunk, így kapóra jött, hogy a teázásról is beszéljünk. A beszélgetés során kiderült, hogy igen sok diák szereti a teát, de csak bizonyos hőmérsékleten. Hátránynak vetették fel, hogy csak igen kis ideig áll rendelkezésre ez a hőmérséklet és túl sokat kell várni erre a pillanatra. Felvettem, mi lenne, ha tüzetesebben megvizsgálnánk a tea lehűlését, méréseket végeznénk, és elgondolkozhatnánk azon, hogyan csökkenthetnénk gyorsabban a forró tea hőmérsékletét és tarthatnánk hosszabb ideig a fogyasztásra alkalmas hőfokon.

A diákok elsőként olyan cikkeket kerestek az interneten, amelyekben a tea fogyasztási hőmérsékletéről írnak. Az egyik cikk arról számolt be, hogy a 65 °C feletti hőmérsékletű tea fogyasztása erősen ronsolja a torok nyálkahártyáját, ezért a forró italok tartós fogyasztása egészségkárosító hatással lehet az emberi szervezetre [1]. Egy másik írásban a kiborult forró tea bőrre gyakorolt hatásairól olvashattunk. A cikkek nyomán felvettem a kérdést, vajon kinek mi a forró? Házi feladatként adtam a diákoknak, hogy mérjék meg azt a hőmérséklet-intervallumot, amelyen szívesen fogyasztják ők és családtagjaik a teájukat (1. ábra). A cikkekben olvasottak alapján mindenkinek felhívtam a figyelmét a lehetséges balesetveszélyre.

A mérés – bár egyszerűen kivitelezhetőnek tűnt – sok nehézséget okozott. A háztartásokban például általában nem található olyan hőmérő, amely közel 100 °C-os méréshatárral rendelkezik, sok a szubjektív tényező, sokan nem tudnak „szürcsölni”, hogy csak a leggyakoribb problémákat említsem. A néhány értékelhető adatból mégis kiderült, hogy az ihatósági felső határ kevésbé szubjektív (az alsó határhoz képest) és a kor előrehaladtával a magasabb hőmérsékleti tartományokba tolódik ki. Teljesen szubjektív, hogy kinek és mikor hideg a tea, ez akár hangulatunktól is függhet, de teafajtánként is eltérő lehet. A mérések ki-



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.



1. ábra. A grafikon az ihatósági tartomány meghatározására készült. Balra az iható, jobbra a szürcsölve iható tartomány (a szaggatott vonalak a női alanyok adatait mutatják).

értékelése után megállapodtam a csoporttal, hogy az ihatósági tartományt az irodalom és a mérések alapján 35 °C és 65 °C között rögzítjük.

A teavíz hűlési görbéjének meghatározása

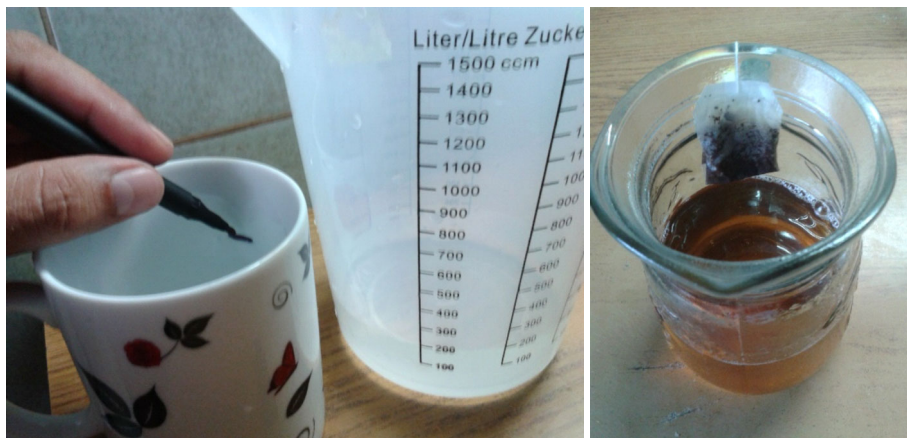
A továbbiakban – egy bevezető otthoni kísérlettel (2. ábra) – a teavíz hőmérsékletének időbeli változását vizsgáltuk meg.

Az otthoni kísérletekhez az alábbi útmutatót fogalmaztam meg:

Szükséges eszközök: vízforraló, kancsó, hőmérő, stopper, csésze, teafilter, édesítőszer, citromlé, kanál, lábas, számítógép, internet.

- Mérd meg a konyha levegőjének hőmérsékletét!
- Tölts porceláncsészébe 2 dl vizet, majd alkoholos filccel jelöld meg belülről a vízszintet!
- Forrald fel a vizet (1 liter) (nézz utána, mitől is függ a forráspont)!
- Ízesítsd be a teát a kancsóban! (10 édesítő tableta és 2 evőkanál citromlé)
- Önts a kancsóból 2 dl teát a csészébe, majd folyamatos kavargatás közben percnként jegyezd fel a tea hőmérsékletét! (A kapott értékekből készíts táblázatot, majd ábrázd a hőmérsékletet az idő függvényében!)
- A kísérlettel párhuzamosan egy másik kalibrált csészébe is önts 2 dl teát, úgy, hogy a csészét egy

Köszönettel tartozom Stonawski Benjaminsnak a teázással kapcsolatos ötleteiért, a Nagycsedi Református Gimnázium 10–11. osztályos tanulóinak a közös munkáért, Balogh Lászlónénak a kettős falú csésze művészi kivitelezéséért, valamint Gálik Tamásnak az e-bögre megálmodójának.



2. ábra. Előkészületek a méréshez. A teáscsésze belső részében alkoholos filctollal jelöltük be a 2 dl folyadék szintjét. Az ízesítést és a teagaz áztatását külön üveggancsóban végeztük el.

co Glx készülékkel végeztük [3]. A grafikonok profiljai jó egyezést mutattak (3. ábra). Mivel a digitális hőmérővel végzett kísérletek során az adatfeldolgozás lényegesen gyorsabb volt, megegyeztünk a diákokkal, hogy a kísérletek további részében ezt a módszert fogjuk alkalmazni. Ezáltal lehetőség nyílik különböző anyagból készült poharakba töltött tea hűlési görbéinek gyors összehasonlítására.

Kezünk bőrfelülete közvetlenül érintkezik a pohár külső részével, a forró érzés, az

nagyobb fazékba teszed, amit hideg csapvízzel töltesz fel! (A csapvíz hőmérsékletét jegyezd fel!)

- A csapvizet és a teavizet folytonosan kevergesd, és hőmérsékletüket percenként olvasd le (két külön hőmérővel)! Ha nincs rá mód, csak a tea hőmérsékletét mérd! (Az értékeket foglald táblázatba és ábrázold grafikonon az összetartozó mennyiségeket!)

- A kísérletet legalább 3 különböző napon végezd el, hogy más kiindulási hőmérséklet és nyomásérték mellett is mérjünk!

- A csészéket a kísérlet előtt ne fogdossuk, legyen elég ideje, hogy felvegye a környezete hőmérsékletét!

- A csészék tömegét is mérd le!

- Készíts a kísérletekről fénykép-dokumentációt, amelyeken jól látható a csésze, a lábas és a mérés egy-egy fázisa!

- Extra feladat: a tea hűtésére találjunk ki praktikus készüléket!

Az otthoni manuális kísérletek mérési eredményeit összehasonlítottuk a szakkörön digitális hőmérővel mért értékekkel (a digitális méréseket az Xplorer Pas-

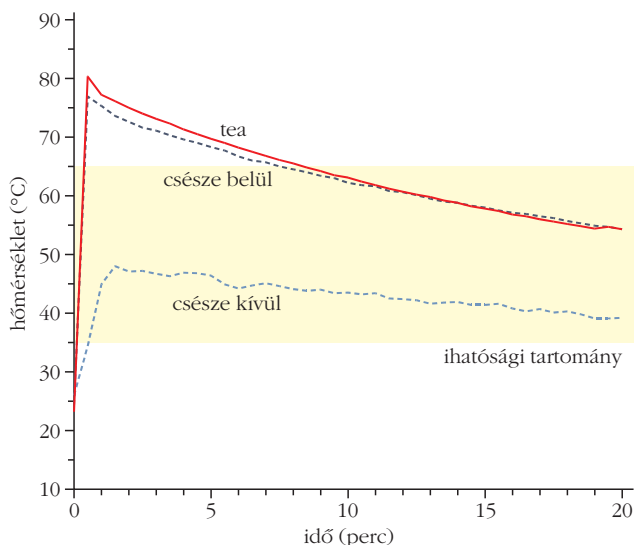
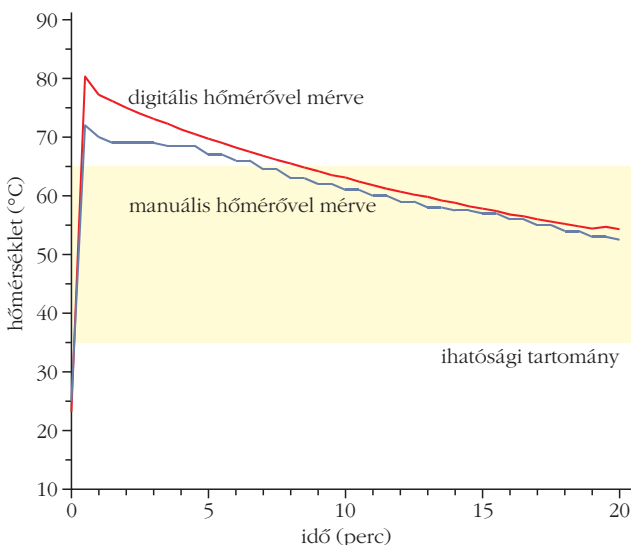
esetleges égési sérülés elkerülésére a további méréseket két szenzor segítségével végeztük, így egy időben két hely hőmérsékleti adatait is össze tudtuk hasonlítani. Kíváncsiak voltunk, hogy a pohár belső felületének hőmérséklete mennyivel tér el a teavíz hőmérsékletétől, ezért az egyik szenzort a pohár belső felületéhez erősítettük, míg a másikat a teavíz közepébe lógattuk (4. ábra). A mérés szerint a két hőmérsékletérték csak csekély mértékben tért el egymástól, ezért úgy döntöttünk, hogy a továbbiakban a belógatás helyett a pohár belső falára rögzítjük az egyik szenzort (praktikussági szempontok által vezérelve).

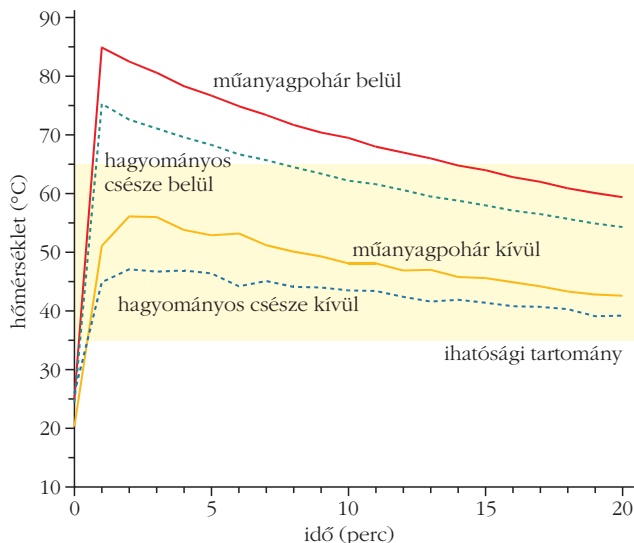
Különböző anyagokból készült poharakkal végzett kísérletek

A kerámiacsészével elvégzett kísérletek után elhatároztuk, hogy más anyagból készült bögrékkel is elvégezzük az alapkísérletet.

4. ábra. A grafikon egyidejűleg mutatja a tea és csésze belső és külső falának hőmérsékletét. A tea hőmérséklete közel azonos a csésze belső falának hőmérsékletével, ezért praktikussági megfontolások miatt a továbbiakban a belső falon mértük a hőmérsékletet, és ezt feleltettük meg a tea hőmérsékletének.

3. ábra. A manuálisan és a digitális eszközzel azonos körülmények között mért adatokból készült grafikonon jól megfigyelhető a profilhasonlóság. A további méréseket digitális eszközzel folytattuk.





5. ábra. A grafikon jól mutatja, hogy a műanyagcsésze kevésbé elégíti ki a teázás követelményeit: majdnem kétszer annyi idő alatt hűl az ihatósági határ alá, mint a hagyományos csésze, és a külső fala is jóval magasabb hőmérsékletű.

Műanyagpohár

A műanyagpohárban a tea több, mint 13 perc után érte el az iható hőmérsékletet, tehát ezt használva teázásra majdnem kétszer annyi ideig kell várni a fogyasztásig, mint a kerámiacsészenél. A műanyagpohár külső hőmérséklete a 2. percben átlépte az 50 °C-ot (5. ábra), ami kellemetlen és hosszabb ideig fogva káros hatást gyakorol a kezünkre. A mérés alapján a teázásra sokkal alkalmasabb a kerámiacsésze.

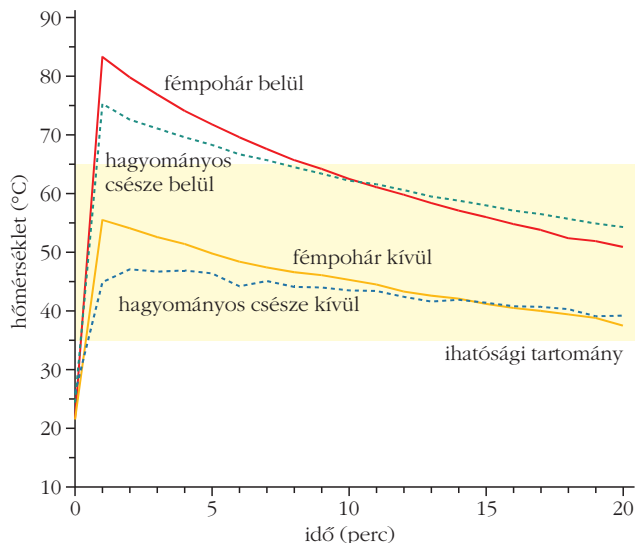
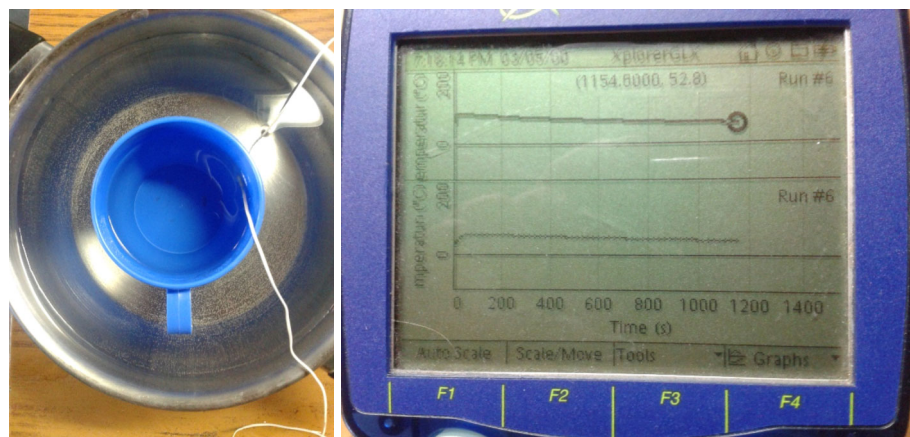
Fém pohár

A fém pohárban (6. ábra) a tea nagyjából azonos idő múlva kerül az iható tartományba, mint a kerámiacsészenél, de a pohár külső része közel 1 perc múlva már az 50 °C feletti hőmérsékletre melegszik fel, ami veszélyes, ezért kerülendő a tartós érintkezés.

Vízköpennyel körülvett pohár

A korábbi grafikonokat elemezve ismét megfogalmaztuk azon kívánalmainkat, amelyek ideálisak le-

7. ábra. A szobahőmérsékletű vízköpennyel ellátott teás pohár külső és belső falának hőmérsékletét méri a digitális eszköz az idő függvényében.



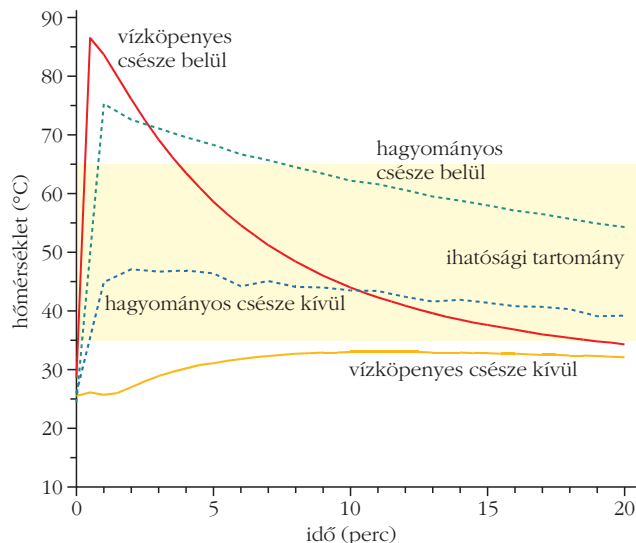
6. ábra. A fém pohár közel azonos idő alatt éri el az ihatósági határ felső részét, viszont a pohár külső része veszélyesen felmelegszik.

hetnek a teaivás közben. Ezek egyike az volt, hogy a tea minél hamarabb hűljön le az ihatósági határok közé, a másik fontos szempont pedig, hogy hőmérséklete tartósan maradjon is ebben a tartományban. Megbeszéléseink alapján beláttuk, hogy a szempontok teljesüléséhez egy olyan (nem túl nagy) hőtartállyal kellene kapcsolatba kerülni a teának, amely rövid idő alatt nagyobb mennyiségű hőt tudna átvenni tőle, azaz olyan anyagúnak kell lennie, amelynek nagy a fajhője. A fajhőtáblázatokat tanulmányozva ismertük fel a víz elsődlegességét, amely ráadásul kiemelkedően magas fajhője mellett „könnyen beszerezhető” anyag.

A csészét egy szobahőmérsékletű vízzel telt lábasba helyeztük, majd a rendszeren elvégeztük az alapkísérletet (7. ábra). (A lábasba éppen annyi szobahőmérsékletű vizet öntöttünk, hogy magassága meg egyezzen a csésze folyadékszintjével.)

A grafikonon jól látható (8. ábra), hogy a hűlési idő meglehetősen – mintegy felére – csökkent, 8 percről körülbelül 4 percre, ami a gyors fogyasztás tekintetében előnyös, de igen hamar az alsó ihatósági határ alá hűlt (17 perc), azaz kevesebb ideig maradt az élvezhetőségi intervallumban.

A továbbiakban célul tűztük ki a rendszer kialakult közös hőmérsékletének emelését. Ideális közös hőmérsékletnek az ihatósági tartomány közepénél kissé magasabb hőmérsékletet (55 °C-ot) választottuk. Az elemzések során kiderült, hogy a külső vízköpeny térfogatától döntően függ a kialakult közös hőmérséklet. Ahhoz, hogy közelítőleg ki tudjuk számolni a ked-



8. ábra. A vízköpenyes hűtéssel sokkal gyorsabban éri el a tea a felső ihatósági határt, hátránya viszont, hogy kevesebb ideig marad az ihatósági intervallumban.

vező hőmérsékletéhez szükséges hűtővíz mennyiségét, a termodinamika I. főtétele,

$$Q_{le} = Q_{fel}, \quad (1)$$

alkalmaztuk, azaz jelen esetben:

$$c_{tea} m_{tea} \Delta T_1 = c_{v\acute{z}} m_{v\acute{z}} \Delta T_2 + c_{poh\acute{a}r} m_{poh\acute{a}r} \Delta T_3 + Q_{k\acute{o}rnyezet} \quad (2)$$

Jó közelítéssel:

$$c_{tea} = c_{v\acute{z}}, \quad \Delta T_2 = \Delta T_3, \quad (3)$$

$$Q_{k\acute{o}rnyezet} \approx 0 \text{ J},$$

ezért (2) egyenletet átírva kapjuk:

$$c_{v\acute{z}} m_{tea} \Delta T_1 = (c_{v\acute{z}} m_{v\acute{z}} + c_{poh\acute{a}r} m_{poh\acute{a}r}) \Delta T_2. \quad (4)$$

Kifejezve (4)-ből a víz tömegét és behelyettesítve az

$$m_{tea} = 0,2 \text{ kg}, \quad T_k = 55 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (5)$$

$$T_1 = 85 \text{ }^\circ\text{C}, \quad T_2 = 25 \text{ }^\circ\text{C}.$$

ismert adatokat:

$$m_{v\acute{z}} = \frac{m_{tea} \Delta T_1}{\Delta T_2} - \frac{c_{poh\acute{a}r}}{c_{v\acute{z}}} m_{poh\acute{a}r} = \frac{0,2 \text{ kg} \cdot 30 \text{ }^\circ\text{C}}{30 \text{ }^\circ\text{C}} - \frac{0,8}{4,2} \cdot 0,35 \text{ kg} \approx 0,1 \text{ kg}.$$

Tehát a számítások szerint a 2 dl-es csészében lévő teát 1 dl vízfürdővel érdemes körülvenni.



9. ábra. Bulyáki Ádám gimnáziumi tanuló ötletének vázlatrajza a tea gyorsítására és utána állandó hőmérsékleten tartására.

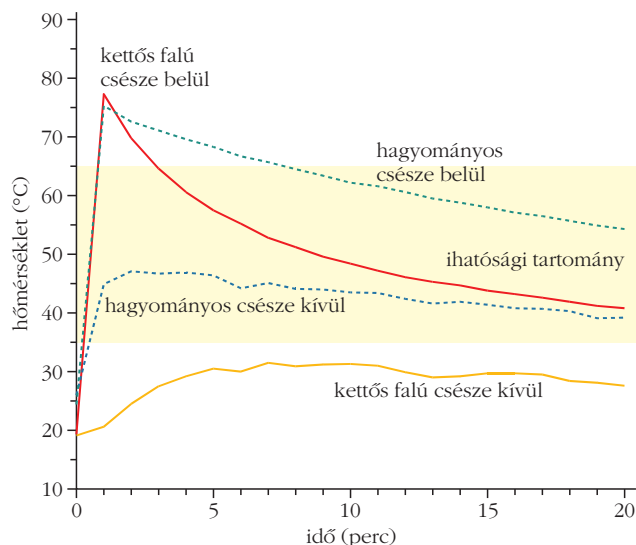
Eszközkészítés

A projekt elején, az elsődleges adatok tükrében felvettem, hogy tervezzenek egy ideális teázó eszközt. Több, főleg részeiben jó elképzelés született. A legügyesebbet készítő diák viszont nem egy speciális bögrében gondolkodott, hanem a tea ízesítése után alkalmazandó olyan szerkezetet tervezett, amely vízköpeny segítségével gyorsan lehűti a teavizes kancsót, és azt tartósan az ihatósági intervallumban tartja (9. ábra). Az eszköz hátrányát abban láttuk, hogy a teát a csészébe kiöntve, az tovább hűl és hőmérséklete hamar az alsó ihatósági határ alá csökken.

További fejtegetéseinkben már csak egy speciális csészében gondolkodtunk. Úgy gondoltuk, ha számí-

10. ábra. Az instrukcióink alapján Balogh Lászlóné művésznő elkészítette a kettős falú csészénket. A 2 dl-es csésze peremén látható a beöntő nyílás, amelyen keresztül 1 dl víz juttatható a falak közé. A lyukat ezután dugóval zártuk.



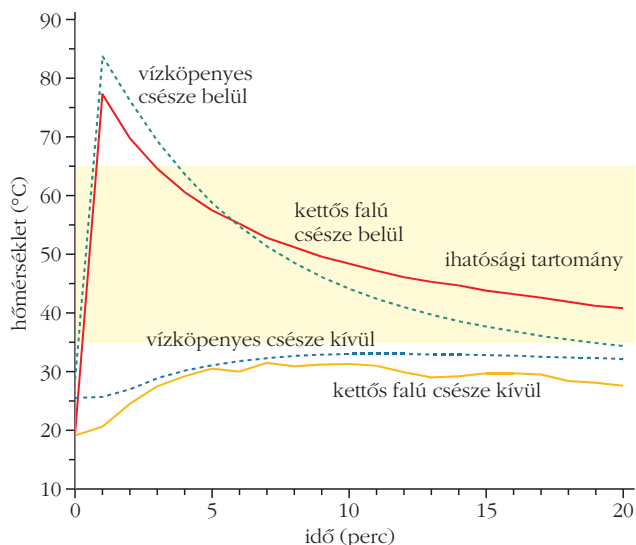


11. ábra. A hagyományos csészével szemben jóval előnyösebb a kettős falú csésze, hiszen a tea gyorsabban lehül benne, hőmérséklete hosszan az ihatósági tartományban marad és a csésze külső hőmérséklete sem haladja meg a 35 °C-ot.

tásaink helyesek, akkor a kísérlet adatai alapján a csészét 1 dl szobahőmérsékletű vízköpennyel körülvéve a 8. ábra grafikonja az óhajtott értékek felé módosul. A vízköpeny technikai megvalósításának legpraktikusabb módját egy kettősfalú csésze megalkotásában láttuk, ahol a falak közé juttatjuk a kívánt mennyiségű folyadékot.

Az eszköz kivitelezése azonban – belátható – nem egyszerű feladat. Szakemberhez fordultunk: felkerestünk egy mátészalkai fazekasmestert [4], aki többszöri kísérlet után speciális anyagból megalkotta kettőscsészét.

13. ábra. A projekt egy másik fejlesztése az e-bögre, ami nemcsak digitális hőfokjelzővel rendelkezik, hanem csipog is, ha egy-egy fokot hűlt a tea. Az e-bögrét Gálík Tamás hallgató (Nyíregyházi Egyetem) tervezte és készítette.



12. ábra. A számítás meghozta gyümölcsét: a megfelelően választott vízmennyiséggel a teavíz hőmérséklete hamarabb kerül be és tovább marad az ihatósági tartományban.

szénket (10. ábra), ami mellelleg nagyon tetszetősre is sikeredett.

Nagy izgalommal végeztük el az új csészével az alapkísérletet. A kísérlet eredményeit grafikonon hasonlítottuk össze a hagyományos csésze (11. ábra) és a vízköpenyes csésze adataival (12. ábra).

Konklúzió

Egy kedvelt közösségi szokást vettünk górcső alá: a fizika segítségével vizsgáltuk meg a teázás folyamatát. Kitértünk a veszélyekre, előnyökre és a praktikusságra is. Termodinamikai méréseink során különféle anyagok vizsgálatára a könnyebb kommunikáció miatt eleinte szokatlan, új fogalmat vezettünk be: az ihatósági határt és az ihatósági tartományt. A fogalmak használata leegyszerűsítette a teázás alapfeladatának megfogalmazását: a cél, hogy minél gyorsabban juttassuk el a teát a hőmérséklet-tartományba, és minél tovább tartassuk is ott a lehető legegyszerűbb megoldásokkal. A számítások után megkonstruált kettősfalú csésze egy olyan megvalósítás volt, ami meggyőzte a diákokat, hogy érdemes a fizikai gondolkodást alkalmazni a tudománytól látszólag távoli területekre is. Különleges élmény volt a művésznővel közösen megtervezni a csésze küllemét is: találkozási pontot találni a művészet és a tudomány határai között.

Ahhoz, hogy a teázó mérések nélkül is láthassa, itala mennyire forró, azaz veszélytelen-e megkezdeni a teaivást, Gálík Tamás hallgató elkészítette az e-bögrét (13. ábra), így létrejöhett a „kvantitatív teázás”.

Irodalom

1. <http://www.vital.hu/tea-torokrak>
2. <http://www.hir24.hu/kulfold/2014/12/26/forro-tea-miatt-pereli-a-mekit/>
3. <https://www.pasco.com/GLX/>
4. <http://www.szatmarneptanc.com/index.php?oldal=korongozas&menu=kezmuvesek>