

TERMOAKUSZTIKUS ISKOLAI PROJEKTFELADAT RIJKE CSŐVEL

THERMOACOUSTIC SCHOOL PROJEKT WITH RIJKE TUBE

Beke Tamás¹

¹Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar, Fizika Doktori Iskola hallgatója

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben egy fizikai mérési projektfeladatot mutatok be, melyet Rijke csővel végeztünk. A Rijke cső egy mindkét végén nyitott cső, melynek belsejébe valamilyen hőforrást (pl. gázlángot) helyeznek. Ha a cső függőleges helyzetben van és a hőforrás alul található, a cső erős hangot bocsáthat ki a hőforrás helyzetétől függően; a csőben a hő hatására önereősítő állóhullámok alakulnak ki, amit hangként érzékelünk. A Rijke csővel végzett iskolai projektünkben megvalósítottuk az érdeklődésen alapuló tanulási-tanítási folyamatot. A projektünk célja az volt, hogy a tanulók termoakusztikai ismeretei mellett fejlődjenek az alkalmazott informatikai ismereteik és a szociális kompetenciájuk is.

ABSTRACT

In this article I present a project type of physical measuring and examination task with Rijke tube. The Rijke tube is a simply pipe with both ends open and a heat source placed inside; the heat source may be a gas-flame. If the tube is positioned vertically and the heat source is introduced from below into the tube, turns on position of the heat source within the tube, the Rijke tube can emit sound; it converts heat into sound by creating a self-amplifying standing wave. Our school project with Rijke tube promote a pedagogy using an inquiry-based approach that succeeds to develop excitement around science. The aim of our project is while students enlarge their knowledge about thermo-acoustics, they can develop their applied information technologic skills and their cooperative skills are improving as well.

KULCSSZAVAK/KEYWORDS

Projekt-módszer, termoakusztikus jelenség, rezonancia
Project method, thermoacoustic phenomenon, resonance

BEVEZETÉS: A PROJEKT-ALAPÚ OKTATÁS

A projekt-típusú oktatási forma egyelőre nem terjedt el Magyarországon, bár vannak iskolák, ahol már használják. Reményeim szerint a projektszemléletű oktatás egyre hangsúlyosabb szerepet kap a jövő természettudományos oktatásában. Hortobágyi Katalin meghatározása alapján a projektet tekinthetjük a tanulási folyamat konkrét egységének: „A projekt egy sajátos tanulási egység, amelynek a középpontjában egy probléma áll. A feladat nem egyszerűen a probléma megoldása vagy megválaszolása, hanem a lehető legtöbb vonatkozásnak és összefüggésnek a feltárása, amely a való világban az adott problémához organikusan kapcsolódik.”

Az iskolai projektekben általában 3-5 fős csoportokban tevékenykednek a diákok. Közben a tanárnak minden csoportra ügyelni kell, hogy mindenhol rendes ütemben haladjanak a tanulók a projektcél elérése felé, de ez a tanári szerep már nem a hagyományos oktató szerep. A projekt megvalósítása során a pedagógus sokkal inkább egy külső tagja (póttagja) minden csoportnak, egyfajta „mentorálási” feladatot végez úgy, hogy lehetőleg nem avatkozik bele direkt módon a csoportmunkába. Ez persze néha elkerülhetetlen, de alapvetően hagyni kell a gyermekeket kibontakozni, ha maga a projekt „jó irányba” halad.

A megfelelően előkészített és kivitelezett projektfeladat megoldása közben a gyermekeknek pont azok a tulajdonságai, képességei, készségei, kompetenciái fejlődnek, amelyre az életük további részében szükségük lesz (kommunikáció, információ-feldolgozás, együttműködés, feladatmegosztás, stb.). Ebben a cikkben egy konkrét projektjellegű fizikai mérési és vizsgálati feladatot mutatok be.

A RIJKE CSŐ

A Rijke cső egy mindkét végén nyitott cső, melynek belsejébe egy hőforrást helyeznek el. A hő forrása lehet gázláng vagy elektromos fűtés. Ha a cső függőleges helyzetben van és a hőforrás a cső alsó felében található, a cső erős hangot bocsáthat ki a hőforrás helyzetétől függően. A jelenséget *Rijke* nevezetű holland fizikus fedezte fel 1859-ben, ezért Rijke hanghatásnak nevezik ezt a termoakusztikus jelenséget, mely során a hő hatására hanghullám alakul ki az eszközben.

A mindkét végén nyitott csőben akusztikus állóhullámok alakulhatnak ki: a gáz a cső minden részén váltakozva összenyomódik és kitágul, a gázcseppcskék a csőben rezgőmozgást végeznek. Álló hanghullámok könnyen kelthetők a csőben valamilyen energiaforrás segítségével, pl. a cső egyik végénél. Ha az energiaforrást kikapcsoljuk, a keltett hanghullám amplitúdója csökken, mivel súrlódás lép fel a cső falával és energia távozik a cső nyitott végénél is. Az energiaforrásnak tehát nem csak az a szerepe, hogy újabb hanghullámokat kelt, hanem a már meglévő hanghullámokat is fenntartja [1,3].

A PROJEKT ESZKÖZSZÜKSÉGLETE

- Rijke csövek állványzattal (1 db alumínium és 1 db réz csövet, illetve egy üvegből készült csövet is használtunk, mert azon könnyű volt szemléltetni a drótkadály helyzetét)
- Gázégő (szabályozható teljesítményű).
- Drótháló (rács), melyet a cső belsejébe helyezünk; ezt melegítjük a gázláng segítségével.
- Hang rögzítésére és mérésére szolgáló eszköz. (pl. egy mikrofon és számítógép hangkártyával).
- Hőmérő, amely több száz °C hőmérsékleten is használható: a mérésekhez IR-380 típusú infravörös digitális hőmérőt használtunk.
- Hangintenzitás mérő műszer (A kvantitatív eredményekhez van szükség a műszerre, egyébként e nélkül is elvégezhetők a kísérletek.) A mérésekhez Voltcraft 322 Datalog típusú digitális zajszintmérőt használtunk; a műszert az SZTE-TTIK Kísérleti Fizikai Tanszékéről kaptuk kölcsön, amiért köszönetet mondunk.

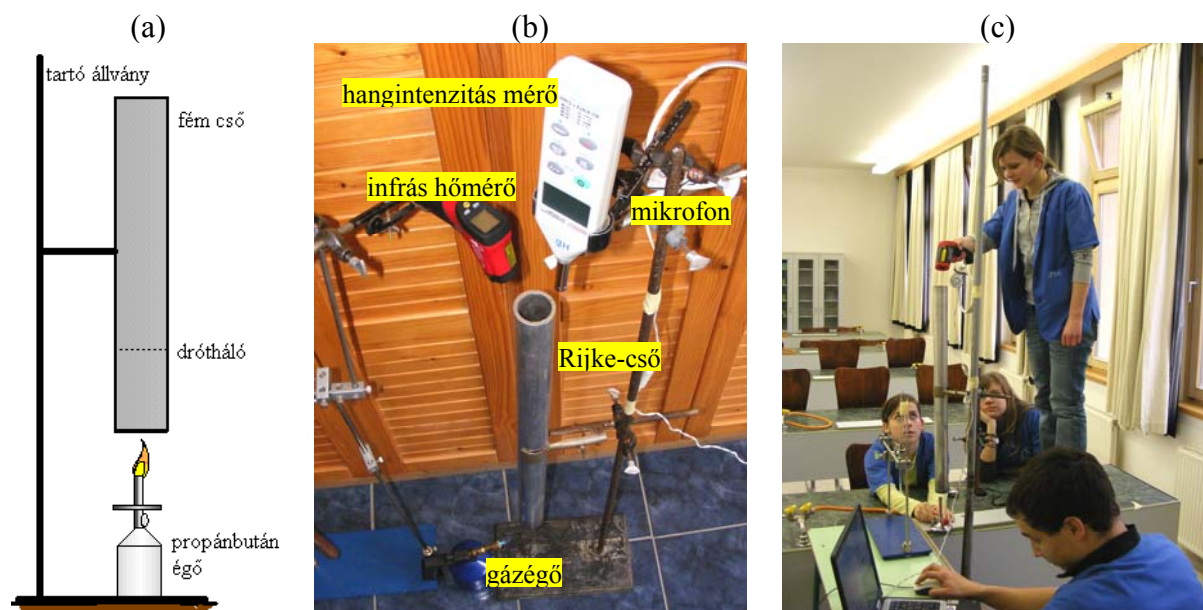
Ezen eszközök egy része (állvány, cső, gázégő, drótrács) minden iskolai fizikaszertárban megtalálható, más részük (mikrofon, számítógép hangkártyával) szintén megtalálhatók az oktatási intézményekben; ezek tehát nem kerülnek külön pénzbe. Szerencsére nem feltétlenül szükséges a felsorolt eszközök mindegyike, tulajdonképpen a mikrofon és a számítógép elegendő ahhoz, hogy relatív hangosságokat megállapítsunk. Fontos, hogy a mérések elvégzése nem igényel külön ráfordítást az iskolától, ez összhangban van a Rocard-jelentéssel [4].

A mérések során a következő összefüggésekre kerestünk választ:

- A cső hossza és a hőforrás helyzete hogyan befolyásolja a hang keletkezését?
- A hőteljesítmény változtatása miképpen befolyásolja a kibocsátott hanghatás időtartamát illetve intenzitását?
- A rács hőmérsékletétől hogyan függ a cső által kibocsátott hanghatás időtartama és intenzitása?

TERMOAKUSZTIKUS ISKOLAI PROJEKT

Az iskolai projektünkben önkéntes alapon vehettek részt a Nagyasszonyunk Katolikus Általános Iskola és Gimnázium tanulói. A méréseket délutánonként végeztük fizika szakkör-foglalkozásokon, 3-6 tanuló dolgozott minden csoportban (1. ábra).



1. ábra. (a) Rijke-cső vázlata; (b) kísérleti elrendezés a mérőműszerekkel együtt; (c) iskolánk tanulói méréseket végeznek a projektfeladat során.

A mérések során 3 különböző Rijke csővel dolgoztunk: egy-egy tanulói csoport vizsgálta az egyes csövek viselkedését. Az eszközök egy részét közösen használtuk (pl. zajszintmérő, digitális hőmérő), ez külön szervezést igényelt. Ezen kívül arra is ügyelnünk kellett, hogy az egyik team Rijke csövének hangja ne zavarja meg a másik csoport mérését. Ezért a munkánkat össze kellett hangolni, hiszen korlátos erőforrásokon osztozkodtunk, illetve egymás zavarása nélkül kellett dolgoznunk. Ezzel – mintegy mellékesen – a tanulók szervezőképességét is fejlesztettük, sőt a szociális kompetenciák (osztzkodás a közös eszközökön) is fejlődtek. Minden mérést ötször megismételtünk és az átlagértékekkel számoltunk tovább; a kapott eredményeket számítógépen rögzítettük.

A MÉRÉS MENETE

Első lépésként a gázégők teljesítményét határoztuk meg: a teljesítmény mérését visszavezettük a hőmérsékletváltozás és az idő mérésére; meghatározott mennyiségű (ismert tömegű) és kezdőhőmérsékletű vizet melegítettünk a forrásponthoz eléréséig; így a hőmérsékletváltozást könnyen kiszámolhattuk. A víz fajhőjének ismeretében kiszámítható a belső energia változása, de a hatásfokot nem ismertük; hiszen melegedett a tárolóedény, a tartóállvány, a környező levegő is. Ezt úgy küszöböltük ki, hogy különbségi méréseket végeztünk.

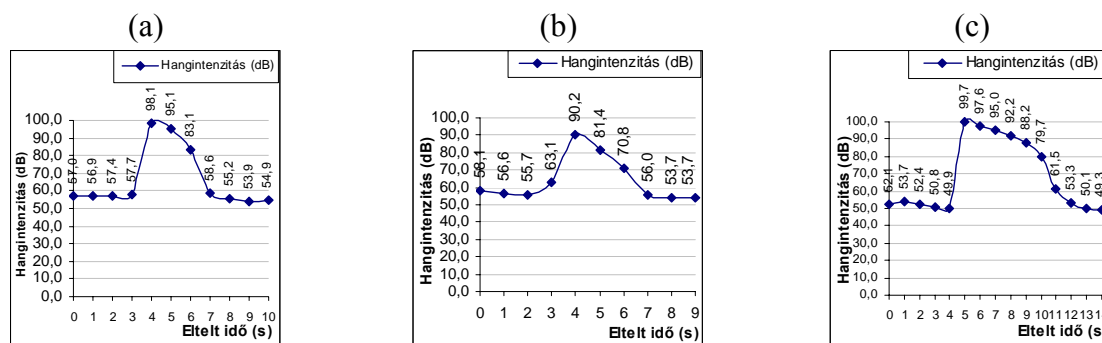
Második lépésként a Rijke csőbe helyezett rácsok átteresztőképességét határoztuk meg. Első ötletünk az volt, hogy a csőhöz egy porszívót kötünk, majd mérjük az adott idő alatt átáramlott levegő mennyiségét úgy, hogy a csőben benne van a rács, illetve úgy, hogy nincs rács a csőben. A kettő mérés aránya megadja a rács átteresztőképességét. Sajnos ez a módszer a gyakorlatban nem működött, ugyanis nem volt mérhető különbség a két eset között; ezért más módszert választottunk. A rácsokról digitális fényképet készítettünk szupermakro módban, majd megmértük egy üres négyzetrács méretét, megszámláltuk a cső belsejébe eső ilyen négyzetrácsok számát (a szélén lévő torzult négyzeteket félnek vettük), majd összesítettük a területeiket. Az összes üres terület és a cső belső keresztmetszetének hányadosa megadja a rács átteresztőképességét. Az általunk használt 3 különböző rácsnak az átteresztőképessége rendre 68%-nak, 78%-nak, illetve 85%-nak adódott. Mindhárom ráccsal végeztünk méréseket. Jelentősebb eltéréseket nem találtunk az egyes esetekben. Sokkal inkább a rács anyaga számít; bár mindhárom rács acélból készült, a legsűrűbb rács bizonyult a legmegfelelőbbnek. Mindenképpen célszerű valamilyen magas olvadáspontú rugalmas fémrácsot beszerezni.

A hőmérséklet mérése IR-380 típusú érintésmentes mérőműszerrel történt, mely a hőmérsékletet az objektum által az infravörös tartományban kisugárzott energia alapján határozza meg, az emisszió-fok figyelembe vételével.

HANGKIBOCSÁTÁS A GÁZÉGŐ TELJESÍTMÉNYÉNEK FÜGGVÉNYÉBEN

Ha a függőleges helyzetű csőben lévő rácsot elkezdjük gázlánggal melegíteni, akkor rövid időn belül felforrósodik a rács. Ha ezután is folytatjuk a melegítést (azonos teljesítménnyel), akkor a rács hőmérséklete már nem nagyon emelkedik, legalábbis a mérési pontosságon belül ezt tapasztaltuk. Ha közben vizsgáljuk a Rijke cső által kibocsátott hangot, akkor azt figyeltük meg, hogy a hangkibocsátás időtartamának jól érzékelhető maximuma van, méghozzá közelítőleg akkor lesz a leghosszabb a kibocsátott hang, amikor a rács a melegítés során eléri a hőmérsékleti plató kezdetét. További melegítésre csökken a kibocsátott hanghatás időtartama: létezik tehát egy optimális időtartam, amíg célszerű melegíteni a rácsot. Ha a kísérlet közben a csővég hőmérsékletét is mérjük, akkor azt állapíthatjuk meg, hogy az fokozatosan növekszik, a cső anyagától, geometriai méretétől (közvetve a tömegétől), a melegítés intenzitásától, illetve a rácshelyzettől függően. Ezek után ábrázoltuk az idő függvényében a rács és a csővég hőmérsékletének különbségét, és azt kaptuk, hogy ennek a függvénynek is maximuma van, méghozzá nagyjából azon a helyen, ahol a kibocsátott hanghatás időtartamának is. Azt mondhatjuk tehát, hogy a hangkibocsátás időtartama függ a rács és a csővég hőmérsékletének különbségétől.

Különböző égőtelijsítmények esetén is vizsgáltuk a cső hangkibocsátását. Ebben az esetben a rács helyzete és átteresztőképessége nem változott. Minden fűtőtelijsítmény és minden rács helyzet esetén mértünk meghatározott időtartamú melegítés után. A keletkezett hang intenzitásának és hosszának időfüggésében is hasonlókat tapasztaltunk ahhoz, amit az előzőekben leírtam; azaz van egy optimális melegítési idő, ami után már nem nő tovább a kibocsátott hang időtartama és az intenzitása sem nő tovább. A rács helyzetét (x) tekintve a cső alsó végétől indultunk és minden méréssorozat után fokozatosan egyre feljebb helyeztük el a rácsot. A kibocsátott hanghatás időtartama és intenzitása is fokozatosan nőtt, amíg el nem értünk a csőhossz (L) negyedrésszének közelébe. Az $x=L/4$ hely körül található mind a hangintenzitásnak, mind a hang időtartamának maximuma (2. ábra).



2. ábra. Az $x = L/4$ rácshelyzetnél a hang intenzitása az időtartam függvényében: (a) üvegcső, égőteltjesítmény kb.300 W; (b) rézcső, égőteltjesítmény kb. 340 W; (c) alumínium cső, égőteltjesítmény kb. 430 W.

A cső negyedrészt elhagyva fokozatosan csökkentek mind a kibocsátott hang időtartamának, mind intenzitásának értékei. Érdekes, hogy nem szimmetrikus a cső első és második negyedrészenek viselkedése. A második negyedben gyorsabban csökkentek a mért értékek, mint amennyire az első negyedben emelkedtek. A cső felének közelében eljutunk egy olyan ponthoz, ahol már nem bocsát ki hangot a cső. Hiába változtattuk a melegítés idejét, illetve teljesítményét, nem keletkezett hang a Rijke csőben. A cső felét elhagyva sem szólalt meg a Rijke cső: ha a dróthálót a cső felső felében helyezem el, akkor a hang sebessége és a nyomás kedvezőtlen fázisban vannak egymáshoz képest. A nyomás a részecskék mozgásával ellentétesen hat. Ezek a körülmények elfojtják a hang erősödését, magyarul a hang elhal.

Az előbbi jelenségek okai röviden a következők: a Rijke csőben a hő hatására felmelegedett drótháló felmelegíti a környező levegőt, itt a nyomás megnő, így a levegő a csővégek irányába kezd mozogni. A rácsnál ezután lecsökken a gáznyomás, a cső végeinél viszont nő a nyomás, ezért egy idő után megfordul a levegő részecskéinek áramlási iránya. A gáz a cső minden részén váltakozva összenyomódik és kitágul, a gázzsűrűségi hullámok a csőben ezzel fázisban rezegnek. (Ez tulajdonképpen egy longitudinális levegő oszcilláció, azaz hang.) A csőben a levegő mozgása két részből tevődik össze. A gázláng hatására felforrósodott csőben a levegő felfelé kezd áramlani, de ehhez hozzájárul még a hang hatására kialakuló hullám: az akusztikusan indukált részecskék elmozdulása szuperponálódik a természetes konvekciós áramlásra.

A csőben a gázláng által felforrósított rác nem egyenletesen melegíti a környezetét. A csőben áramló levegő periodikus mozgásának következtében a hőátadásban is egy periodikus jellegű fluktuáció figyelhető meg. Ha a hőforrás a cső alsó felében van akkor hőátadás fluktuációja (q') és a csőben lévő gáznyomás oszcillációja (p') közel azonos fázisban vannak, ezért a hőátadás fluktuációjának egy része erősíti a részecskék elmozdulását, azaz hanghullámot generál. Ellenkező esetben, ha a hőforrás a cső felső felében van, akkor q' és p' ellentétes fázisban vannak, ezért az akusztikus hullám csillapodik [3]. Ha a hőforrást a cső közepéhez helyezük el, akkor elméletileg sem erősítés, sem gyengítés sincs a hullámban, a gyakorlatban mi nem tapasztaltunk hanghatást.

Ha a hangkibocsátást a gázégő teljesítményének függvényében jellemezzük, akkor küszöbszerű viselkedést tapasztaltunk. Túlzottan kis teljesítmény esetén egyik cső sem szólalt meg. Próbálkoztunk gyertyalánggal, illetve borszesz-égő lángjával megszólaltatni a csöveket, de ez nem sikerült; valószínűleg azért, mert nem tudták kellőképpen felmelegíteni a rácst. Ha növeltük a gázégő teljesítményét, akkor már megszólaltak a csövek.

Az alumíniumcső kb. 150 W teljesítmény felett bocsátott ki hangot, a két kisebb cső esetén kb. 120 W ez az alsó küszöbteljesítmény. A teljesítményt és a melegítés idejét külön-külön

fokozatosan növelve eljutunk egy optimális ponthoz, ahol a „legideálisabb” a kísérlet szempontjából a rács hőmérséklete, ekkor a leghosszabb ideig hallható a csőben keletkező hang. Ez a hőmérséklet a különböző csövek és a különböző rácspozíciók esetén más és más értékű, tipikusan 400 °C és 600 °C közötti értékeket mérünk. Ha még tovább növelem a rács fűtőteljesítményét, akkor egy idő után csökken a hanghatás időtartama, mivel a cső is elkezd melegedni és így csökken a rács és a csővég közötti hőmérséklet különbség, ami csökkenti a rács és a csőben áramló levegő közti hőátadás „hatásfokát”. (Ha a cső és a benne áramló levegő is felforrósodik, akkor a rácsból csak kisebb arányban tud a hő a levegőbe áramlani a Newton-féle hőátadási törvény szerint, mivel csökken a köztük lévő hőmérséklet különbség.)

A fűtőteljesítményt még tovább növelve teljesen megszűnik a hangkibocsátás. Ennek az oka két dolog is lehet: egyfelől a nagy gázégő-teljesítmény maga után vonja a csőben áramló levegő sebességének növekedését, ami akadályozza a hanghullámok kialakulását; másrészt a túl nagy teljesítményű láng egyszerűen szétolvashatja a rácsot, ezáltal megszűnik a hangot keltő „energia-pumpa”.

TERMOAKUSZTIKUS OSZCILLÁCIÓ

A termoakusztika szerint a hanghullám a hőterjedés során alakul ki a „szonikusan indukált hőgradiens” következtében. A gázmolekulák a cső hidegebb vége felé gyorsulnak, ezáltal a tubus fűtött végénél a relatív gáznyomás lecsökken, újabb gázrészecskék gyorsulnak a fűtött csővég felé, ahol feltöltik az alacsonyabb nyomású térfogatrészt. Itt a gáz újra felmelegszik, majd az egész folyamat kezdődik előlről. A gázmolekulák felgyorsulása és lelassulása az időben szinuszosan történik, végeredményül egy önfenntartó szinuszos longitudinális gáznyomás-oszcilláció jön létre. A Rijke csőben keletkező állóhullámok esetén a kitérésnek duzzadó helye van a cső mindkét végénél, azaz a cső hossza a hullámhossz felének egész számú többszöröse [2]:

$$L = \frac{\lambda}{2} \cdot n, \text{ és } n=1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

A kialakuló hangrezgés frekvenciája (f):

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2 \cdot L} \cdot n, \quad (2)$$

ahol n a harmonikusok száma ($n=1$ -et nevezzük alapharmonikusnak), c a közegbeli hangsebesség, λ pedig a hullámhossz.

A tubus hosszának csökkenésével az alapharmonikus és a felharmonikusok hullámhosszai is csökkennek (állandó gázbeli hangsebesség esetén). Valójában a hangsebesség nem állandó, mivel a hőmérséklet és a nyomás is folytonosan változik. A cső által kibocsátott hang frekvencia-spektrumát Audacity 1.3 Beta (freeware=szabadon letölthető) programmal vizsgáltuk. Az üvegcsőnek a legerőteljesebben megszólaló frekvenciája 512 Hz, amely nem esik messze az „elméleti alapharmonikus” (460 Hz) frekvenciájától. A rézcső esetén az alapharmonikus mért értéke 453 Hz, számított érték 329 Hz; az alumínium cső esetén a mért frekvencia 232 Hz, a számított érték 228 Hz. Látható, hogy az alumínium csőnél nagyon jól közelít egymáshoz a mért és a számított alapharmonikus érték. A két kisebbik cső esetén az eltérést véleményünk szerint az okozta, hogy ezek a csövek hamarabb felforrósodtak, ezért a hangsebesség jelentősen megváltozott.

A kísérletek során mértük a rácsok hőmérsékletét is az IR-380 infrás hőmérővel. Azonos gázláng-teljesítmény és azonos rácspozíció esetén a kisebb méretű rézcső melegedett fel a legjobban, a nagyobb méretű alumínium cső a legkevésbé. Ha a fűtőteljesítmény 350 W körüli érték volt, és a rácsok az $x=L/4$ pozícióban helyezkedtek el az egyes Rijke csövekben,

akkor 5 másodperces időtartamú melegítés után a rézcsőben lévő rács (átlagosan) közelítőleg 560 °C, az üvegcsőben lévő rács 530 °C, az alumíniumcsőben lévő rács 490 °C hőmérsékletű volt. Látható, hogy a legmagasabb hőmérsékletű rézcső esetén a legnagyobb a relatív eltérés a mért és az elméleti alapharmonikus frekvenciák között, ami alátámasztja azt az elképzelésünket, hogy a hőmérséklet hatására megváltozó közegebeli hangsebesség az oka a frekvencia megváltozásának.

ÖSSZEGZÉS

A Rijke csővel végzett kísérleteket csoportmunkában, projektszerűen oldottuk meg. Alapvetően olcsó, minden iskolában megtalálható eszközöket használtunk; amelyek nem voltak meg a mi iskolánkban, azokat pedig kölcsönkértük, így ez nem okozott extra kiadásokat számunkra. A tanulóknak nem csak a termoakusztikai ismereteik bővültek, hanem a természettudományos gondolkodásuk, problémalátó és problémamegoldó képességeik is fejlődtek. A természettudományos kompetenciák mellett a szociális jellegű (team-foglalkozás, feladatelosztás, eszközök megosztása, stb.) készségeik is fejlődtek, amit mindenképpen hasznosnak ítélek a jövő szempontjából. A gázzal melegített Rijke cső vizsgálatát tulajdonképpen a projektünk első lépcsőfokának tekinthetjük. A következő lépésben szeretnénk pontosabb adatokat kapni úgy, hogy építünk egy elektromosan fűtött Rijke csövet.

A projektszemléletű oktatás új lehetőséget teremt az ismeretátadásban, a kísérletezésen alapuló tanulásban, valamint a csoportos tanulás módszereinek kialakításában. A kollégák számára bátran ajánlom, hogy próbálják ki ezeket, vagy hasonló termoakusztikai kísérleteket.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Karán Fizika PhD. program (*A közép- és a felsőfokú fizika oktatásának fejlesztésére irányuló kutatások*) keretében készült. Külön köszönetem szeretném kifejezni a témavezetőnek, Dr. Papp Katalin tanárnőnek, aki hasznos információkkal és adatokkal segített a cikk megírásában, illetve a hiányzó mérőműszerek beszerzésében.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Entezam B, Van Moorhem W K, Majdalani J: Two-dimensional Numerical Verification of the unsteady thermoacoustic field inside a Rijke-type pulse combustor, Numerical Heat Transfer, Part A 41, 245-262 o., 2002.
2. Fahey D: Thermoacoustic Oscillations, Wave Motion and Optics, Spring, 2006.
3. Sarpotdar S M, Ananthkrishnan N, Sharma S D: The Rijke Tube –A Thermo-acoustic Device, Resonance, 2003 January, 59-71o., 2003.
4. Rocard jelentés: Science Education NOW: A renewed Pedagogy for the Future of Europe Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007.

SZERZŐ

Beke Tamás PhD. hallgató, SZTE-TTIK Fizika Doktori Iskola
Munkahely: Nagyasszonyunk Katolikus Általános Iskola és Gimnázium
e-mail: bektomi@freemail.hu