

Szegedi Tudományegyetem  
Természettudományi és Informatikai Kar  
Fizika Doktori Iskola

# Számítógéppel segített mérőkísérletek a természettudományok tanításához

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Kopasz Katalin

fizikatanár

Témavezető: Dr. Gingl Zoltán

tanszékvezető egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem

Dr. Papp Katalin

címzetes egyetemi tanár, Szegedi Tudományegyetem

Szeged, 2013

## TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés .....	4
1. A kutatásalapú tanulás (inquiry-based learning, IBL) az oktatásban .....	7
2. A számítógépes mérések oktatási alkalmazásai .....	12
2.1 Számítógépes mérési lehetőségek a professzionális cégek kínálatában ....	13
2.2 Oktatási fejlesztések szabadon elérhető eszközök felhasználásával.....	17
3. Méréselméleti ismeretek.....	22
3.1 Mintavételezett mérések .....	22
3.2 Átviteli függvény és gerjesztési módok.....	23
4. Mérési megoldások fejlesztése .....	26
4.1 Edaq 530 .....	26
4.2 Hangkártyás mérések.....	36
5. Mérőkísérletek az Edaq530 felhasználásával .....	41
5.1 Mechanikai kísérletek .....	41
5.1.1 Fotokapu alkalmazása.....	41
5.1.2 Rezgőmozgás vizsgálata gyorsulásszenzorral .....	57
5.1.3 Fordulatszám mérése Hall-szenzorral.....	60
5.1.4 Folyadék nyomása és sűrűsége; a relatív nyomásszenzor alkalmazása	62
5.2 Hőtani mérések .....	65
5.2.1 Párolgás hőelvonása.....	65
5.2.2 Folyadékok közti hőkiegyenlítődés vizsgálata .....	66
5.2.3 Halmazállapot-változások vizsgálata.....	68
5.2.4 Hővezetés vizsgálata.....	69
5.3 Hőmérsékletmérés a környezeti nevelésben .....	72
5.3.1 Hőszigetelés és hőmegtartás kísérleti vizsgálata .....	72
5.3.2 Üvegházgázok.....	75
5.3.3 Időjárás-állomás.....	75
5.4 Folyadék rétegvastagságának vizsgálata fotoellenállással.....	76
5.5 Elektromágneses jelenségek .....	77
5.5.1 Áramjárta tekercs mágneses tere .....	77
5.5.2 Mozgási indukció vizsgálata.....	79
5.6 Kémiai alkalmazások .....	80
5.6.1 Exoterm, endoterm oldódások .....	80

5.6.2	pH-mérés.....	81
5.7	Biológiai vonatkozások.....	83
5.7.1	Mérések Pletizmográfal.....	83
6.	Mérések hangkártyával.....	88
6.1	Mechanikai kísérletek hangkártyával .....	88
6.1.1	Fordulatszám mérése .....	88
6.1.2	Szabadesés vizsgálata .....	90
6.1.3	Tehetlenségi nyomaték mérése .....	92
6.2	Kísérletek rezonanciajelenségek vizsgálatához .....	96
6.2.1	Hangvilla sajátfrekvenciájának meghatározása .....	96
6.2.2	Elektromos rezonanciajelenségek vizsgálata.....	99
7.	Tapasztalatok, együttműködések, továbblépési lehetőségek.....	103
	Összefoglalás .....	106
	Summary.....	111
	Köszönetnyilvánítás.....	118
	Irodalomjegyzék .....	119

## BEVEZETÉS

*„Az iskolának az a feladata, hogy a  
kérdést természetes és leküzdhetetlen  
szokásunkká tegye.” Örkény István*

„Az oktatás középponti problémája a gyermek érdeklődése. Érdeklődés nélkül nem lehet a tanítási anyagot megfelelően elsajátíttatni, éppen ezért az érdeklődés az oktatás legfőbb eszköze, mindemellett eredménye is, mivel akkor is megmarad, amikor a konkrét tananyag már kihullott az emlékezetből. Sokoldalú, kiegyensúlyozott érdeklődés kialakítása a cél.” [1] Johann Friedrich Herbart XIX. századi gondolatai az oktatásról ma is érvényesek, éppen ezért az oktatás bármely szintjén dolgozik is egy tanár, nem hagyhatja figyelmen kívül a diákok érdeklődését, motivációját. A természettudományok tanítása esetében a kisgyermekkorban meglévő, azután elszunnyadó, ösztönös kíváncsiság és megismerési vágy ismételt felélesztése erős belső motivációt jelenthet. Ezen a belső motiváción is alapul a kutatásalapú tanulás (inquiry-based learning IBL) módszere, amelynek alkalmazása esetén a diákok belefelejtkeznek vizsgálataikba, „elfelejtik”, hogy esetleg egy olyan tantárggyal foglalkoznak, amit illik nem szeretni, éppen úgy viselkednek, mint a kíváncsi kisgyermek. Érdemes tehát hasznosítani ezt a ma reneszánszát élő módszert, melynek egyes foglalkoztatási elemeit felfedezhetjük a hazai közoktatásban régebben alkalmazott munkatankönyvekben, vagy a hallgatói laboratóriumi gyakorlatokban. Munkám elején ezért célul tűztem ki, hogy minél több lehetőséget találjak és próbáljak ki a gyakorlatban az IBL-módszer alkalmazására. A tanulói motivációt növelheti a modern eszközök használata az oktatás során, ezért számítógéppel segített mérőkísérletek kidolgozásával foglalkoztam, arra törekedve, hogy minél több esetben tanulói kísérletekben ötvözzem a két motiváló hatást.

Dolgozatomban a kutatásalapú tanulás (IBL) főbb ismérveinek áttekintése után elemzem az oktatás számára rendelkezésre álló számítógépes mérési lehetőségeket. Az Információs és Kommunikációs Technikák (IKT) oktatási alkalmazási lehetőségei a számítógépek széleskörű elterjedése óta foglalkoztatják a pedagógusokat [2], mára több folyóirat is foglalkozik az alkalmazási lehetőségekkel, az eredmények értékelésével, például a Journal of Computer Assisted Learning és a Computers in the Schools címűek. A természettudományok, különösen a fizika tanítása területén korán felmerült, hogy a szemléltetés, prezentációkészítés, filmvetítés, szimulációk alkalmazása mellett a számítógépet mérőeszközként is lehet használni az oktatásban [3]. Ez a lehetőség azért is

figyelemre méltó, mert felmérések tanulsága szerint [4] az informatikát a szülők és a diákok egyaránt fontosnak tartják, ezáltal esély van arra, hogy az informatikát alkalmazó természettudományos oktatást is pozitívabban értékeljék. Ugyanakkor – ahogyan az a dolgozatom 2. fejezetéből is kiderül – meglehetősen nehéz helyzetben van az a fizikatanár, aki egy átlagos magyar középiskolában számítógépes méréseket szeretne végezni. Számos professzionális mérési megoldást találhatunk taneszköz-forgalmazók és informatikai cégek kínálatában, de ezek a hazai iskolák többsége számára megfizethetetlenek, az eszközök pedig fixáltak, kevesebb teret hagynak a kreativitás fejlődésének. Innovatív és informatikában jártas tanárok több olyan mérési megoldást is kifejlesztettek, amelyek nem mérési célra készült ingyenes programokat és egyszerűen elérhető eszközöket használnak a mérések során. Ezeket azonban csak olyan kollégák tudják használni, akik maguk is kellően jártasak az informatikában és az eszközkészítésben. Igény mutatkozik tehát olyan mérési megoldásra is, ami speciális ismeretek nélkül is jól alkalmazható, mégis elérhető áron juthatnak hozzá a kollégák. Ezek alapján fejlesztette ki csoportunk azokat a mérési megoldásokat, melyek segítségével a hazai iskolákban is könnyebben elérhetővé válnak a tanulói számítógépes mérések.

Fejlesztéseink két mérési elv mentén rendezhetőek. Elkészült a speciálisan oktatási célokra használható adatgyűjtő és digitális-analóg konverziót végző eszköz, az Edaq530 és a hozzá tartozó mérőprogram. A mérőrendszerhez többféle szenzort (fotokapu, termisztor, Hall-szenzor, gyorsulásszenzor, nyomásszenzor, pH-elektroda) csatlakoztathatunk, és egyszerre három csatornán végezhetünk valós idejű méréseket. A mérőprogram grafikus felülete az oktatási igényekhez alkalmazkodva vagy grafikusan jeleníti meg a mért jelet (az idő függvényében), vagy nagy méretű számkijelzőn mutatja a pillanatnyi értéket. A mérőrendszer teljes dokumentációja szabadon elérhető.

Fejlesztéseink másik fő iránya a számítógépek hangkártyáját alkalmazó mérési lehetőségek fejlesztése. A hangkártya kimenete megfeleltethető egy jelgenerátornak (digitális-analóg konverter), a bemenete pedig adatgyűjtőként (analóg-digitális konverter) használható. Ezt a lehetőséget sokan használják ki mérési megoldásaik fejlesztésénél. Elterjedten alkalmazzák azt a didaktikai szempontból kevésbé szerencsés megoldást, hogy teljesen más célra fejlesztett szoftvereket alkalmaznak kísérleteikhez, és így nem teljesen egyértelmű a mérések során, mi is a mért jel. Kutatócsoportunk készített tehát kifejezetten iskolai célokra alkalmazható, szabadon elérhető mérőprogramokat és mérési összeállításokat is. A hangkártya magas mintavételi frekvenciája (44kHz) lehetővé teszi, hogy bizonyos kísérletekben oszcilloszkóp kiváltására is használjuk. Rezonanciajelenségek

vizsgálatához például készítettünk olyan elrendezést, ahol a mérést hangkártya segítségével végezzük, a virtuális műszer pedig a kívánt végső mérési eredményeket jeleníti meg, valós időben.

A kifejlesztett mérési megoldásokhoz konkrét mérési feladatokat dolgoztam ki a fizika több területére, valamint a kémia és a biológia tantárgyakhoz kapcsolódóan. Ezek gyakorlati alkalmazásának tesztelésére tartottam szakköröket, tanártovábbképzéseket, majd a tapasztalataim alapján fejlesztettük tovább az eszközöket, kísérleti összeállításokat. Tanárként fontosnak tartom annak bemutatását, hogy a kísérleteket valóban alkalmaztam is oktatási, továbbképzési helyzetekben, ezért az egyes mérések megvalósításának ismertetésében több tanulói, hallgatói, tanári mérési eredményt jelenítek meg. Mindez megmutatkozik abban is, hogy a dolgozat ábrái nem egységesek: a kollégáktól, diákoktól kapott mérési eredményeket eredeti formájukban közlöm. Munkám során kiemelt figyelmet fordítottam kutatásalapú tanulási helyzetek kialakítására – ezáltal is elősegítve diákjaim elemző gondolkodásának fejlődését. Mérőrendszerünk alkalmazása erősíti a kapcsolatot a természettudományok, a matematika és az informatika között.

A fejlesztéseket több iskolában, egyetemen is alkalmazzák már az oktatásban – ez is jelzi, hogy hiánypótló mérési megoldások születtek a munka folyamán. Dolgozatom összeállítása során kiemelt szempont volt az is, hogy kézikönyvként alkalmazhassák azok a kollégák, akik mérési megoldásainkat munkájuk során alkalmazzák. Ezért az 1-3. fejezetben áttekintem a számítógéppel segített mérések végzéséhez szükséges ismereteket. A 4. fejezetben bemutatom a csoportunk által végzett fejlesztések eredményeit. Az 5. 6. fejezetekben részletesen ismertetem eredményeimet a kutatásalapú tanulás és a számítógéppel segített mérések összekapcsolásában.

## 1. A KUTATÁSALAPÚ TANULÁS (INQUIRY-BASED LEARNING, IBL) AZ OKTATÁSBAN

A természettudományos oktatás helyzete, a megújítás lehetősége az Európai Unió vezetését is foglalkoztatja. A M. Rocard volt francia miniszterelnök által összehívott szakértői bizottság jelentése [5] 2007 júniusában fogalmazott meg irányelveket a természettudományos közoktatás módszertanának radikális megújítására [6, 7]. Az ajánlásoknak is köszönhető, hogy az FP7-es keretrendszerben megvalósult a PRIMAS-projekt, amelyben Magyarország is részt vesz [8]. A projekt kiemelt célja, hogy Európában erősödjön a kutatásalapú tanulás (inquiry-based learning, IBL) alkalmazása az oktatásban.

Az IBL-módszer előnye, hogy a tanulók közvetlen tapasztalatot szereznek a felfedezések, a kutatás élményében. Ez elősegítheti a természettudományok megítélésének javulását, a természettudományos pályák iránti érdeklődés növekedését is. Ez a tanulási-tanítási módszer jelenthet olyan tanítási technikát, amely megengedi a tanulóknak, hogy maguk fedezzék fel a tudományos fogalmakat [9].

A kutatásalapú tanulás meghatározása: általánosan a kutatás ('inquiry') úgy definiálható, mint a tudományos igazság, az információ vagy a tudás keresése. A természettudományos nevelés szemszögéből a kutatás úgy értelmezhető, hogy a diákok megtanulják a megfigyelés, a modellezés és a kísérletezés lépéseit, ezáltal közelebb kerülnek a természettudományos megismerés folyamatához. A kutatásalapú tevékenységek tanítási technikák, ahol a tanuló maga fedez fel fogalmakat, összefüggéseket. Különböző mértékben meghatározott tevékenységsorozatok találunk a vizsgált jelenség, a tanulócsoport és a rendelkezésre álló eszközök függvényében, de minden esetben elengedhetetlen eleme a kutatásalapú tanulásnak, hogy a tanuló nem kap meg minden információt, egyes tudáselemeket neki kell megkonstruálnia.

Joe Exline szerint a kutatásalapú tanulás lényege, hogy a kutatás elvégzése eredményezi a megértést. A kisgyermek ösztönösen kutatnak, amikor megismerik a világot. Ezt a felfedezési vágyat kell megőrizni és kihasználni az oktatás során is [10].

A tanárok nem, vagy csak ritkán használják a kutatásalapú megközelítést az oktatásban. Colburn elemzi a felmerülő indokokat. Fontos megjegyezni, hogy az azonos elnevezés ellenére mást jelent a kutatás a tudományban és az oktatásban. Colburn megközelítése szerint a kutatásalapú tanulás feltétele egy olyan terem, ahol a diákok nyílt végű, tanulóközpontú gyakorlati tevékenységeket végezhetnek. Ebben a környezetben a tanár határozza meg a kutatás formáját, legyen az strukturált vizsgálat, irányított vizsgálat,

nyílt vizsgálat vagy tanulási ciklus. A kutatásalapú megközelítés segíthet az elvont fogalmak kialakításában, megértésében, ezért nem csak a kiemelkedő diákok számára alkalmas tanulási forma, hanem segítheti a formális gondolkodási nehézségekkel küzdő tanulókat is. Colburn fontosnak tartja, hogy a tanárok lassan változtassanak oktatási módszereiken. Tapasztalata, hogy eleinte egyes diákok is ellenállnak a nyitott oktatásnak, de azután megtapasztalják az előnyeit, és elfogadják azt. Fontos, hogy mindenki megtalálja a megfelelő egyensúlyt a kutatásalapú és a nem kutatásalapú módszerek alkalmazásában [11].

Spronken-Smith és munkatársainak összegzése szerint az IBL meghatározásában a kutatók egyetértenek következőkben:

- Kérdésekkel vagy problémákkal vezetett kutatással ösztönzi a tanulást.
- A tanulás alapja az ismeretek keresése és az új ismeretek megértése.
- Jellemző a tanulócentrikus megközelítés, a tanár nem a tudás forrásaként, hanem facilitátorként jelenik meg.
- Az önszabályozott tanulás felé tett lépés, nő a tanulók felelőssége saját tanulásukért, fejlődik önreflexiós készségük.
- A tanulást aktívan közelíti meg.

Az IBL központi célja a diákok fejlesztése értékes kutatási készségek kialakítására, illetve felkészítése az élethosszig tartó tanulásra [12].

Az IBL különböző elméletek (például konstruktivizmus, Bloom taxonómiája, Gardner elmélete a többszörös intelligenciáról) kombinációja. Alkalmazza a konstruktivizmus alapelveit:

- (1) az új tudás a tanuló előzetes tudása alapján formálódik,
- (2) a legtöbb tudás társas kapcsolatok során jön létre,
- (3) a sikeres tanulás sokféle tanulási stratégiát alkalmaz,
- (4) a tanulás bizonyos helyzetekhez kötődik.

Használja a Bloom alkotta taxonómiát a tanítási környezetben általánosan előforduló kérdések absztrakciós szint szerinti kategorizálására: (1) ismeret, (2) megértés, (3) alkalmazás, (4) analízis, (5) szintézis, (6) értékelés szintű kérdések. Figyelembe veszi Gardner többszörös intelligencia elméletét, amely szerint az emberek mindegyik intelligenciával — nyelvi, matematikai-logikai, zenei, téri, testi-mozgásos, interperszonális, intraperszonális, természetkutató (a finom jellemzők és mintázatok megkülönböztetésének, a tárgyak vagy események megfelelő kategóriákba való besorolásának képessége) és



egzisztenciális intelligencia — rendelkeznek, de különböző mértékben. Elmélete segít megtervezni a tanítás során a természettudományos tapasztalatokat, úgy, hogy azok érzékenyek legyenek a tanulók közötti egyéni különbségekre [9].

Az IBL-t más módszerektől megkülönböztető vonások:

- A középpontban a tanulói kíváncsiság, megértés, kutatás áll.
- Bevezeti a tanulókat a természettudományos megismerés módszertanába.
- A kutatás folyamatának fő komponensei: (1) a probléma meghatározása, (2) adatgyűjtés, (3) analízis, (4) következtetések.

Más megközelítés alapján a kutatásalapú tanulásra jellemző, hogy:

- a tudás konstrukcióját helyezi előtérbe: ezért a tanítás középpontja a tanuló, aki több lépésben vesz részt az új tudás megalkotásában;
- sokat épít az interakciókra, így a csoportos szituációkra;
- a tanár nem kijelentéssel, hanem kérdés felvetésével kezdi munkáját, esetleg a tanulókat sarkallja kérdések felvetésére;
- a témaválasztásban, annak megközelítési módjában és a válaszok keresésében a tanuló aktívan részt vesz (nyilvánvalóan tanára segítségével, annak vezetésével) [13].

Az egyes feladattípusok értékelésére Marshall D. Herron egy négyfokú skáláját az alábbi táblázat mutatja [14].

A feladattípus szintje	Leírás
0: megerősítés	A diákok előírt eljárás segítségével válaszolnak a tanár által felvetett kérdésekre. A tanár előre ismeri az eredményeket, a diákok nem feltétlenül.
1: strukturált vizsgálat	Strukturált kutatás – adott a probléma (esetleg nyílt végű kérdés) és az eljárás, de a válasz nem ismert. Lehet tanuló által felvetett kérdés is, amennyiben a választ a diák nem ismeri előre, de a tanár igen.
2: irányított vizsgálat	A megoldási módszerek tanulónként eltérőek. A diákok vagy a tanár által feltett nyílt végű kérdést vizsgálják saját maguk tervezte eljárással, vagy diákok által megfogalmazott nyílt végű kérdést vizsgálnak előírt eljárással.
3: független vizsgálat	A tanulók fogalmaznak meg kérdéseket, terveznek/ választanak eljárást. A megoldás nem ismert a munka során, és diákonként eltérő lehet. A kutatás minden lépése a diákokhoz tartozik.

Az osztályozás gyakorlatorientált megközelítését adja Heather Banchi és Randy Bell [13]:

1. Megerősítő vizsgálat: a kérdés és az eljárás ismert, épp úgy, mint az eredmények. A feladat alkalmas a már megszerzett tudás megerősítésére, elmélyítésére, a módszerek alkalmazásának megismertetésére, gyakoroltatására (adatok gyűjtése, rendszerezése és feldolgozása, kísérleti eszközök használata).

2. Strukturált felfedezés: a kérdés és az eljárás ismert (a tanár határozza meg), de az eredményt a tanulók nem ismerik előre, maguk alkotják meg azt munkájuk során. Ebben a kategóriába sorolható a már elvégzett kísérlet alapján felmerült ötlet hatására, apró változtatással megismételt vizsgálat is. Ez a módszer olyan tanulók esetében alkalmazható, akik már ismerik a felfedeztető tanulás lépéseit, rendelkeznek gyakorlati tapasztalatokkal. A tevékenység elmélyíti az ismereteket, gondolkodtatja a tanulókat, teszteli elképzeléseiket, felszínre hozhatja tévképzeiteket, hozzájárulhat ezek korrekciójához. A tanulók gyakorolják eredményeik bemutatását is.

3. Irányított felfedezés: a tanár felvet egy kérdést, ami alapján a tanulók megtervezik az eljárást, majd értékelik eredményeiket. Előfordulhat, hogy az alapkérdésből származtatnak saját problémákat is, amiket szintén megvizsgálnak. A módszer olyan tanulók esetében alkalmazható, akiknek már számos tapasztalatuk van az önálló munkában, kísérletek elvégzésében, képesek felmérni, sikeres-e a vizsgálatuk, ugyanakkor a munka során szükséges a folyamatos értékelő tanári támogatás.

4. Nyílt felfedezés: a módszer alkalmazása során a tanuló egy-egy tudomány megismerési módjait sajátítja el mélyebben. Alkalmazásának szükséges előfeltétele, hogy a tanulónak nagyfokú legyen a tanulási autonómiája (önszabályozó, motivált önreflektált tanulás képessége), valamint hogy előzetesen mélyebben megismerkedjen a tudományág módszereivel, szemléletével, legyen gyakorlata a releváns eljárások alkalmazásában. A módszer a legmagasabb fokú követelményeket támasztja a tanulóval szemben, nagyfokú elköteleződést igényel, a diák munkája során a tudós szerepét adaptálja. Siker esetén ez a forma nyújtja a legmélyebb élményt a tanulók számára. A módszer alkalmazása a tanárral szemben is magas követelményeket támaszt: egész osztály estén a csoportok segítése és az értékelés sokoldalúságának szükségessége egyaránt kihívást jelent. Célszerű ezért először kiscsoportos foglalkozások (szakkörök) keretében jártasságot szerezni a tanulási forma alkalmazásában.

A magyar természettudományos oktatástól nem idegen a felfedeztető tanítás, a tanulókísérleti órák régebben is lehetővé tették, hogy a diákok önállóan ismerjenek meg

összefüggéseket, törvényszerűségeket. A munkatankönyvekben (például az 1981-es kiadású Fizika 8 könyvben [15]), munkafüzetekben (például [16]) szép számmal találunk a felfedeztetést alkalmazó tananyag-feldolgozást; illetve szép példa a módszer használatára az Oktatási programok a fizika tanításához című kiadvány is [17]. Motivált tanárok, kellő idő ráfordításával, megfelelő szertári háttérrel napjainkban is aktívan alkalmazzák a módszert. Fontos cél azonban a módszer alkalmazásának elősegítése könnyen hozzáférhető anyagok, eszközök biztosításával, a modern technikai eszközök nyújtotta lehetőségek felhasználásának elősegítésével.

## 2. A SZÁMÍTÓGÉPES MÉRÉSEK OKTATÁSI ALKALMAZÁSAI

Napjaink felfedeztető tanításához lehetséges eszközt jelent a számítógép. A modern technika alkalmazása több szempontból is elengedhetetlen. Erősödő és jogos igény, hogy a tanítás során minél közelebb kerüljünk a diákok valóságához; lássák azt, hogy amikor természettudományt, fizikát tanítunk, akkor nem egy teljesen absztrakt, hétköznapioktól elrugaszkodott világról beszélünk nekik. A muzeális eszközök és az egyszerűen elkészíthető kísérleti összeállítások használata mellett a modern technika jelenléte a természeti törvények általános igazságait, sokoldalúságát közvetítik diákjaink felé. Egyre több számítógépet találunk az iskolákban, melyek használatára jelentős tanulói igény van. A számítógép és az internet alkalmazását a fizikatanításban négy fő csoportba sorolhatjuk: ismeretközvetítés, problémaelemzés, számítógép-fizika, számítógép kísérletekben [18]. Folyamatosan fejlődnek a számítógép-alapú tanulási környezetek, a tanulási folyamat egyre több szegmense integrálható számítógépes alkalmazásokba [19]. Az egyre szélesebb körben alkalmazott animációk, képek, filmek mellett a fizika lehet az a tantárgy, ami a gépek működésének megértetése mellett kapcsolatot teremthet a számítógépek virtuális világa és a hétköznapi valóság között. Amikor számítógépes méréseket végzünk, úgy tanítunk összefüggéseket, hogy közben közelebb kerülünk a digitális nemzedék hétköznapijaihoz is.

A számítógép oktatási alkalmazásainak első lépése a tanár által használt számítógép volt. Napjainkra azonban egyre több esetben elérhető az, hogy a tanulók önállóan, esetleg párokban dolgozzanak egy-egy számítógépen, és a diákok fokozott érdeklődéssel vesznek részt ilyen foglalkozásokon. Az alkalmazások elterjedésében nehézséget jelenthet az, hogy az aktív tanárok többsége kevesebbet és kevésbé ügyesen használ számítógépeket, mint diákjaik [20]. A hagyományosan tekintélyelvű oktatási szituációba ilyen módon nehezen illeszthetőek be a számítógépes mérések. A tanárszerep azonban változóban van; korunk rohamosan fejlődő technikai környezetében, a kollektív tudás exponenciálisan növekvő üteme mellett már nem tartható a „mindentudó tanár” eszménye. A tanulásról és a tudásról való gondolkodás is megváltozott [21]. Az egyre inkább a tudás megszerzésének módját, az információdömpingben eligazodást tanító kollégáknak remek eszköz lehet tanítási módszereik reformálásához a számítógéppel segített mérések használata.

Az analóg-digitális jelátalakítás fejlődésével elérhetővé vált, hogy a számítógépeket kísérleti mérések adatainak valós időbeli megjelenítésére és gyors adatfeldolgozásra használjuk. A számítógéppel segített kiscsoportos tanulás (computer-supported

collaborative learning, CSCL) elterjedése egyre jelentősebb az utóbbi években, szakirodalma egyre szerteágazóbb [19]. A valós idejű mérések alkalmazása jelentősen javíthatja az időbeli hatékonyságot, ami az oktatásra jellemző állandó időhiány mellett jelentős segítség lehet a mérőkísérletek alkalmazására.

A következőkben áttekintem, milyen megoldások születtek a számítógép kísérletező fizikaoktatást segítő használatára, mik ezek előnyei, hátrányai. A megoldások több szemléletmód mentén rendezhetők csoportokba.

## 2.1 SZÁMÍTÓGÉPES MÉRÉSI LEHETŐSÉGEK A PROFESSZIONÁLIS CÉGEK KÍNÁLATÁBAN

Tanszergyártók, illetve tanszereket is forgalmazó professzionális cégek kínálatában számos adatgyűjtő, mérő-átalakító rendszert találunk. Ezen eszközök mögött fejlesztői csoportok szakmai támogatása és garanciális szolgáltatások állnak. A felhasználói igények szerint többféle digitális környezet áll rendelkezésre az egészen kompakt műszerektől a programozható virtuális felülettel rendelkező megoldásokig. Megfelelő anyagi háttér mellett a tanárok természetes választása ezen eszközkészletek valamelyike. Professzionális megoldásokat találunk például a következő cégeknél:

### — Vernier LabQuest

A mérőeszköz, a LabQuest2 tulajdonképpen egy érintőképernyős számítógép analóg és digitális portokkal [22]. Csatlakoztatható számítógépekhez, okostelefonokhoz, vezeték nélküli internetet is használ, GPS-funkciója is van. A szoftveres eszköztárban találunk periódusos rendszert, számológépet, elméleti összefoglalókat. Beépített alkalmazás a stopper, hangfelvevő, egy kétcsatornás hanggenerátor, a jelerősítő. A valós idejű mérések adatait megjeleníthetjük grafikontként, táblázatban, vagy csak az aktuális értékeket kiíratva; a mérési adatokat elmenthetjük, e-mailben elküldhetjük. A kísérletek elvégzéséhez szenzorok igen széles skálája rendelhető, a honlapon 82 féle kompatibilis eszközből választhatunk kísérleti céljainknak megfelelően.

### — Pasco DataStudio

Az oktatási segédeszközök tervezésével és fejlesztésével foglalkozó cég a köz- és felsőoktatás számára is kínál eszközöket, alkalmazásokat. A speciális kísérleti összeállítások magas színvonalú, számítógépes mérési lehetőséggel rendelkező készletei mellett találunk az iPad-ek számára készült alkalmazásokat, amelyek bluetooth-kapcsolaton keresztül kommunikálnak a szenzorokkal, kifejezetten ajánlják az IBL-

módszer alkalmazásához. A biológiatanításhoz ajánlott készletük az adatgyűjtőn és a szenzorokon kívül tartalmaz még egy 26 kísérletből álló gyűjteményt is, részletes tanári és tanulói leírásokkal, megkönnyítve ezzel a készülék oktatási alkalmazását [23].

#### — **VirtIns Technology**

A multiméterek, jelgenerátorok mellett adatgyűjtőket és virtuális műszereket is forgalmaznak. Oktatási gyakorlatban jól használható például a virtuális oszcilloszkóp, amely a hangkártya-bemenetet használja, és valós időben jeleníti meg a hullámforma mellett a jel spektrumát is [24]. Kiválóan alkalmazható például hangtan tanításához: a számítógéphez csatlakoztatott mikrofon segítségével mérhető a hangforrások sajátfrekvenciája, szemléltethetőek a felharmonikusok is.

#### — **Biopac System**

Élettani, biológiai kutatásokhoz és oktatáshoz kínálnak teljes rendszereket. Középiskolai felhasználásra több készletet is találhatunk, így például a természettudomány alapjainak megértéséhez a hands-on élettani kísérleteket, amivel megjeleníteni, rögzíteni és analizálni tudják a diákok a saját EKG-jelüket, agyhullámaikat (EEG), izomaktivitásukat (EMG) és a szemmozgásukat (EOG) [25].

#### — **Pico Technology: Oscilloscopes and data loggers for education**

A Pico Technology oktatási célra forgalmazott készletei úgy tesznek lehetővé valós idejű méréseket, hogy kísérletezés közben a mérés elvét is látják a felhasználók. Univerzális adatgyűjtő műszert használnak, ehhez csatlakoztathatunk különféle, feszültségméréssel működő érzékelőket. Készleteik között találunk olyat, amely USB-s oszcilloszkópot is tartalmaz, ötéves jótállással. A cég honlapján számos kísérleti elrendezést, leírást is találhatunk, választhatunk ezek között akár tantárgyanként is.

A DrDAQ adatgyűjtőt és a hozzá csatlakoztatható szenzorokat szintén ez a cég fejleszti és forgalmazza. Fontos kiemelni az iskola- és diákbarát szemléletet, amelyet személyes tapasztalataim alapján is megerősíthetek. Az általunk is használt pH-elektroda például olyan speciális műanyag tokozást kapott, amely megvédi az elektródát abban az esetben is, ha a felhasználó esetleg nagyon hirtelen engedné bele a mérni kívánt oldatba. (A tokozás miatt az elektróda nem használható biológiai és vegyi laborokban, mert anyagát oldhatják egyes vegyszerek, ugyanakkor a középiskolai gyakorlatban megbízhatóan használható.)

Ugyanakkor még a nyugat-európai árakhoz képest kedvezőnek mondható árfekvés sem teszi lehetővé a magyar közoktatás számára, hogy a diákhasználatához is elegendően magas számú eszközt tudjanak vásárolni az iskolák [26].

— **National Instruments:**

A National Instruments főként ipari fejlesztési célokra használt környezetet biztosít. Széles körben elterjedt a LabVIEW grafikus programozási környezet, amelyet fejlesztői környezetként épp úgy megtalálunk a CERN-ben és kutató lézer-laboratóriumokban, mint az autógyártásban és a tervezőmérnöki gyakorlatban. Speciális jellemzőként kiemelendő a virtuális műszerek használata. A mérendő jelek digitalizálása után a célműszer számítógépes program, amely rugalmasan alakítható az aktuális felhasználói igényeknek megfelelően.

A cég kiemelt figyelmet fordít az oktatás támogatására, az általuk nyújtott lehetőségeket azonban olyan intézmények tudják kihasználni, ahol a természettudományos tanárok egyúttal az átlagosnál magasabb szintű informatikai ismeretek birtokában vannak, maguk is rendelkeznek grafikus programozási gyakorlattal, valamint gond nélkül értelmezik az angol nyelvű szakirodalmat. Ugyanakkor mindenképpen ki kell emelni, hogy a fejlesztői környezet nagyon erősen motiválja a diákokat: tanárként könnyű olyan feladatok sorát kitűzni a tanulók elé, amelyek kihívást, de nem megoldhatatlan akadályt jelentenek, mindezt olyan környezetben, amely a számítógépes játékok világából észrevétlenül vezet át a kutatásba. Ezáltal a digitális bennszülöttek nemzedékére jellemző azonnali jutalmazás igénye is teljesül, és folyamatos sikerélmények között fejlődnek a diákok [27, 28]. Ezen körülmények figyelembe vételével érthető, hogy azokban az iskolákban, ahol megfelelően képzett és lelkes tanárok vannak, egyre inkább terjed a NI termékeinek használata – speciális pályázati pénzek felhasználásával. Sajnos a magyar közoktatás mércéjével mérve a kiemelkedő oktatási kedvezmények ellenére is nagyon drágák ezek az eszközök.

Az NI Elvis készlete tartalmaz virtuális oszcilloszkópot, digitális multimétert, jelgenerátort és jelanalizálót. Elektronikus áramkörök tervezésére, tesztelésre kifejlesztett eszköz, amit az elektromosságtan témakörében jól lehet használni, különösképpen a műszaki szakközépiskolák gyakorlatában. Az elrendezés jellegéből adódóan tanári demonstrációs célokra nem alkalmazható, tanulói labormunkához ugyanakkor jól használható, ha elegendően nagy példányszámban áll rendelkezésre [29].

### — **Lego NXT**

A Lego cég által forgalmazott Lego NXT a robotkészítés és –fejlesztés világába vezeti be játékos formában a felhasználókat. A vezérlést a LabVIEW-környezet biztosítja. A robotokba építhető szenzorok (például érintés-, fény-, hangérzékelő) közvetlen kapcsolatot jelentenek a fizika és az informatika között, így a készlet alkalmazása kiváló lehetőség a tantárgyak közötti koncentráció erősítésére.

### — **Super A Scientific**

Az oktatási segédeszközöket forgalmazó cég kínálatában elsősorban „hagyományos” kísérleti eszközöket, felszereléseket találunk. Itt is megjelenik azonban a számítógépes mérések alkalmazásának lehetősége, jó példa erre a szabadesés vizsgálatára forgalmazott összeállításuk, amely a kísérletindításhoz és az időméréshez is számítógépet használ (elektromágnes vezérlése és időmérés fotokapukkal) [30].

### — **Webcamlaboratory**

Webkamerák alkalmazására több példát is látunk majd az egyéni fejlesztések között. Érdekes kezdeményezésként a professzionális megoldások között is érdemes azonban megemlíteni a webcamlaboratory fejlesztéseit. A webkamerák adottságainak kihasználásához kínálnak szoftvert. Kinematikai kísérletek elemzéséhez felhasználják a térfelismerést, az automatikus kalibrálást, mozgásfelismerést; használhatjuk nyomkövetőként, mikroszkópként, de adatrögzítésre is. Kinematikai kísérletekben való alkalmazhatóságát Szigetlaki Zsolt és Juhász András vizsgálta [31]. Alkalmas segítség lehet abban az esetben, ha tanárként szeretnénk használni a webkamerát, de nem tudunk, vagy nem szeretnénk saját szoftvert írni, és nem szeretnénk egyéb célszoftverek nem rendeltetésszerű használata közben magyarázkodni, mi is az, amit a képernyőn látunk (például az Audacity szoftver, lásd később).

A professzionális megoldások alkalmazásának terjedésében jelentős gátló tényező az ár. Különösen igaz ez abban az esetben, ha több diák számára is mérési lehetőséget szeretnénk biztosítani. A hazai közoktatásban különösen jelentős szerepe van egy-egy készlet árának, az iskolák többségében a fejlesztést korlátozza, hogy nem tudják megvásárolni a szükséges eszközöket.



## 2.2 OKTATÁSI FEJLESZTÉSEK SZABADON ELÉRHETŐ ESZKÖZÖK FELHASZNÁLÁSÁVAL

A számítógépes mérések széles palettájának jelentős részét képezik azok az egyéni fejlesztések, melyek mindenki számára elérhető eszközök oktatási célú felhasználását segítik elő. Ezek alacsony költségű, kreatív megoldások, használatuk azonban nagyfokú szakértelmet és elköteleződést kíván, ami gátolja széles körű elterjedésüket. A nem mérési célokra fejlesztett eszközök használatánál, bár azok demonstrációs célokra kiválóan alkalmasak, gondos elemzésre van szükség, hogy az eredményeket mérési eredményként is elfogadhassuk. Hangkártya alkalmazása elfogadható például idő vagy frekvencia mérésére, de az amplitúdó mérése erősen megkérdőjelezhető. Néhány példa az ebbe a csoportba sorolható megoldásokra:

### — Számítógép hangkártyáját felhasználó mérések:

Saját készítésű kísérleti eszközök tervezésében, kivitelezésében és a tapasztalatok megosztásában kiemelkedő szaktekintély Dr. Piláth Károly. Weboldalán [32] folyamatosan bővülő listáját találjuk a kísérletező oktatást támogató megoldásoknak, a kísérleti elrendezések mellett letölthető (részben saját készítésű) programokat, eszközkészítési és -átalakítási tanácsokat is találunk. Piláth tanár úr a hangkártya alkalmazása mellett webkamerát is használ kísérleteihez, például spektroszkóp készítéséhez [33].

A nemzetközi gyakorlatban is számos példát találunk hangkártyát használó, saját kezű összeállításokat alkalmazó mérőkísérletekre. A széles körben elterjedt Audacity program használatával tervezett méréseket már 2006-ben ismertetett Michael Courtney és Brian Edwards [34], akik lövedék sebességét mérték a lövés és a becsapódás hangja alapján. Méréseik során figyelembe vették a hangsebesség hőmérsékletfüggését is.

További kísérleti összeállítások találhatóak a következő oldalon: <http://www.instructables.com/member/falconphysics/>. A hang vizsgálata és a hangsebesség házilag készített fotokapu alkalmazásával történő mérése mellett a gyorsuló mozgás elemzésére is található részletes leírás az oldalon [35].

Az Audacity programot használó mérésekre további példák találhatóak Zsigó Zsolt tanár úr 2010-ben írt „Csináld magad fizika” blogjában [36], ahol ismerteti az Audacity programot, és kísérleteket is ajánl hozzá, például a hangsebesség, képfrissítési frekvencia, gravitációs gyorsulás mérésére. Megjegyzendő, hogy a Sulinet portálon megjelent írások, hivatkozások sokszor nem elérhetőek, ez pedig jelentősen megnehezíti a megvalósítások használatát, elterjedését.

Az Audacity program használatának elterjedését jellemzi, hogy például a 2013. májusi, emelt szintű szóbeli fizika tantárgyi érettségi vizsga tételei között is szerepel egy olyan mérés, amely ennek a szoftvernek a használatát írja elő: „5. A nehézségi gyorsulás értékének meghatározása Audacity számítógépes akusztikus mérőprogram használatával”. [37] A feladat: „Mérje meg különböző magasságokból leeső acélgolyó esési idejét Audacity számítógépes mérőprogrammal! A magasságok és az esési idők alapján határozza meg a nehézségi gyorsulás értékét!” A számítógépes mérés szerepeltetése az érettségi tételek között segíti a kísérleti forma elterjedését és a tanárok kísérleti repertoárjának bővülését.

A rezgőkörök működésének gyors és hatékony szemléltetése a közoktatásban régi igény. A hangkártyák alkalmazása a magas mintavételi frekvencia és a kedvező ár miatt (is) jó alternatívaként kínálkozik a témához tartozó kísérletek megvalósításához. Piláth Károly tanár úr több kísérletet is kidolgozott, illetve modernizált a témában. A WaveSurfer program használatával kapott feszültség-idő grafikon csillapodó rezgőmozgást mutat. Ennek segítségével vizsgálhatóak a rezgőkörök szabadrezgései, ellenőrizhető a Thomson-formula. (A digitális oszcilloszkópok előnyeit Piláth Károly is kihasználja, ingyenesen letölthető próbaverziós programokat használ.)

Martin Klaper és Heinz Math RLC-hídmérő helyettesítéséhez használják a hangkártyát, kihasználva azt, hogy a sztereó hangkártya két bemeneti csatlakozójával párhuzamosan lehet mérni két feszültséget. Összeállításukkal impedanciamérés és kapacitásmérés is megvalósítható [38].

#### — **Alkalmazások okostelefonokkal:**

Az okostelefonok sokoldalú készülékek; van bennük mikroprocesszor és operációs rendszer, érintőképernyő és érzékelők egész sora: háromtengelyű gyorsulásszenzor, giroszkóp, magnetométer, hangkártyához ki- és bemenet, mikrofonok és hangszórók. Adódik tehát a lehetőség: használjuk fel ezeket a készülékeket a fizika tanításában. Érdeklődő tanárok gyűjteményeket is találnak azokról az alkalmazásokról, melyek segíthetik munkájukat, például: Dr. Shaku és Taylor Sinatra oldalán [39]. A diákok érdeklődésének felkeltésére alkalmas ingyenesen letölthető telefonalkalmazásokat használó mobiltelefonos mérésekről ír John Burk matematika-fizika szakos tanár a honlapján [40]. Gyakorlati tapasztalatait osztja meg olvasóival arról, hogyan használta fizikatanításra az okostelefonokba beépített háromtengelyű gyorsulásmérőt és GPS-t. Tapasztalt pedagógusként kitér arra is, első lépésben kihívást jelent a diákok számára, hogy

megértésük, miért mutat függőleges irányú gyorsulást a telefon akkor is, ha a telefon épp nyugalomban van. A szenzor működésének megértése azért is fontos, mert ezen alapul az is, hogy a telefon „tudja”, milyen irányban tartjuk, így ismét a diákok hétköznapijához kapcsolódhat a fizikatanítás. Burk ismertet több applikációt is a GPS és a beépített gyorsulásszenzor használatára, valamint projektötleteket ad a témához [41].

Az okostelefonos alkalmazásokkal kapcsolatban Joel Chevrier is készített egy honlapot [42], ahol azt is bemutatja, hogy a Joseph Fourier Egyetemen a bevezető mechanika kurzusban hogyan használja az iPhone-okat [43].

A téma jellege és a digitális bennszülöttek információszerzési szokásainak megváltozása [28] is indokolja, hogy az eredmények közzétételének módja is változik: a blogok mellett egyre elterjedtebb a közösségi oldalakon való megjelenés, valamint a videofilmek készítése és feltöltése fájlmegosztó oldalakra. Utóbbira példa az iMecaProf sorozat filmje is: iPhone is perfect for "teaching Physics" [44].

Randall D. Peters az okostelefonok beépített gyorsulásszenzorát használva dolgozott ki kísérleteket az ingamozgás [45] és a függőleges síkú körmozgás [46] vizsgálatára.

Amennyiben nem találunk igényeinknek megfelelő alkalmazást, ügyesen programozó diákok segítségével saját igényeinkhez igazodó programot is írathatunk. Az okostelefonok használatával szemben sokaknak ellenérzésük van, pontosan azért, mert a diákok ügyesebben használják, mint tanáraik. Az alkalmazás mellett szól ugyanakkor az, hogy ha olyan csoportot tanítunk, ahol sokaknak van okostelefonjuk, akkor ingyen jutunk digitális mérőeszközhöz. A tanárok felelőssége ezen a téren abban is megmutatkozik, hogy megtanítsák a tanulóknak, az öncélú játék mellett mi mindenre alkalmas még az eszköz, amit a zsebükben hordanak.

#### — **Mérések kiértékelése videofelvételek, sorozatképek segítségével:**

A számítógép alkalmazásának könnyen elérhető módja a kísérletek kiértékelése digitális felvételek elemzésével. A digitális fényképezőgép oktatási alkalmazhatóságának lehetőségeit többen vizsgálják, jó bevezető például Nagy Péter szakdolgozata [47].

Könnyen és gyorsan készíthetünk videofelvételeket akár a telefonokba épített kamerák segítségével. Ezek a felvételek alkalmasak lehetnek arra, hogy a mozgások vizsgálatához nyomképet készítsünk, amelynek elemzésével gyorsan és pontosan tudunk mérni. Egyszerűen megvalósítható például a függőleges hajítás vizsgálata, ha például ugró figuráról készítünk felvételt. A Windows Movie Maker programjának segítségével

elkészülhet a szükséges nyomkép, ismert hosszúságú tárgy képének használatával pontosan kalibrálhatjuk is az ábránkat. Ezek után már könnyen számíthatunk helyzeti energiát, vizsgálhatjuk annak változását, igazolhatjuk a mechanikai energia megmaradásának tételét is [48].

Végeznek kísérleteket telefonokkal készített digitális videofilm feldolgozásával is a gravitáció és mozgások megértetésére [49].

#### — **Webkamerák alkalmazása:**

A webkamerákat videofelvétel készítésére és elemzésre is használhatjuk az oktatásban [50]. A webkamerák könnyen átalakíthatóak úgy, hogy a közeli infravörös tartomány szemléltethetővé váljon [51]. Az eszköz motiváló hatása hosszú távú eredményekhez vezethet a fizikatanítás során. Az egyes kameratípusok átalakításával kapcsolatos figyelmeztetéseket, megjegyzéseket is találhatunk, így könnyebb a saját kamera készítése is. (Egyszerűbb digitális fényképezőgép átalakítására is találunk részletes leírást [52].) A webkamera alkalmazása a színeképelemzés területén is hasznos lehet, ha összeépítjük egy saját készítésű spektroszkóppal [33].

Webkamerával készített felvételeket használhatunk a csillagászat oktatásában is: a Nap megfigyelésében a napfolttevékenységet jellemző Wolf-szám meghatározására, a Nap forgásának vizsgálatára, a Vénusz Nap előtti áthaladásának vizsgálatára, a Hold részletes tanulmányozására vagy a bolygók megfigyelésére is [53].

#### — **Mérések WiiMote segítségével:**

A Wii egy játékkonzol, amit a Nintendo gyárt. Ennek a távirányítója a Wii Remote/WiiMote, ami bluetooth kapcsolattal kommunikál a számítógéppel. A távirányítóban van egy háromtengelyű ADXL335 típusú gyorsulásszenzor, ami 50Hz-es mintavételi frekvenciával mér, mérési tartománya  $-50 \frac{m}{s^2}$ -től  $+50 \frac{m}{s^2}$ -ig terjed. A WiiMote elejében van egy infrakamera is (a 940nm-es hullámhosszra a legérzékenyebb), ami 4 infravörös fénypont egyidejű követésére alkalmas 100Hz-es mintavételi frekvenciával [54]. A kísérletező fizikatanításban számos ötletes megoldást találhatunk alkalmazására akár a nemzetközi irodalomban [55], akár a hazai gyakorlatban [56], elsősorban mozgások vizsgálatára; a Nemzedékek Tudása tankönyvkiadó 2013-as kiadású fizika tankönyvében is szerepel.

— A tananyag hétköznapi élethez való kapcsolására láthatunk egy remek példát Fabrizio Logiurato munkájában, aki a hullámtani jelenséget tanítja a **Google Earth**

segítségével. Megmutatja, hogy a mindennapi életben is előforduló jelenségeket tanít, és a szemléltető eszköz is megjelenik a tanulók hétköznapijaiban is; mindez azért is fontos, mert a diákok fejében gyakran elkülönül a hétköznapi valóság és az iskolában megszerzett tudás [57].

A számítógépek mérési alkalmazásainak lehetőségeivel kapcsolatban széles a választási lehetőségek köre. Kérdés azonban, hogy ezekből mik azok a lehetőségek, amik általánosan elterjedő oktatási segédeszközzé válhatnak a hazai közoktatásban. Az iskolai gyakorlatban szükség van a hosszú távú tervezhetőségre. A gyors amortizáció és a folyamatosan megjelenő új eszközök nem segítik elő a napi tanítási gyakorlat megváltozását. Szükség van az oktatás számára készült, hosszú távon alkalmazható céleszközökre [58]. A tanszergyártók forgalmaznak is ilyen eszközöket, azonban ezek gyakran elérhetetlenül drágák a hazai iskolák számára. Hiánypótlásra irányult a célkitűzés: egy olyan rendszer fejlesztése, amely a hazai közoktatás számára is elérhető áron nyújt megbízható megoldást úgy, hogy mérés közben a mérés elvét is láttatja.

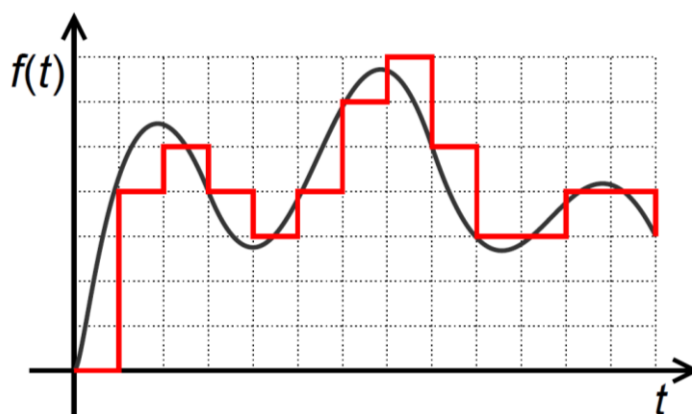
### 3. MÉRÉSELMÉLETI ISMERETEK

A következő fejezetben azokat a méréselméleti ismereteket ismertetem röviden, amelyekre szükség van ahhoz, hogy számítógépes mérőkísérleteket végezhessünk.

#### 3.1 MINTAVÉTELEZETT MÉRÉSEK

A számítógéppel segített kísérletek elvégzéséhez szükséges, hogy a szenzorokkal mért jeleket digitális jellé tudjuk alakítani. Az átalakítás során az időben folytonos jelekből amplitúdóban és időben kvantált jelek keletkeznek. Az átalakítás információvesztéssel járhat, ennek mértéke fontos kérdés a számítógépes mérések tervezésénél, ezért tekintsük át röviden a mintavételezés legfontosabb kérdéseit.

A digitalizált jel esetében csak meghatározott számú és meghatározott gyakorisággal felvett értékek állnak rendelkezésünkre: mintavételezett jelet használunk. Ha a mintavételezések közötti időtartam állandó, akkor ennek az időtartamnak a reciprokát nevezzük a mintavételezés frekvenciájának. A mintavételi frekvencia meghatározása fogja eldönteni, hogy veszítünk-e információt az időbeli kvantálás során. Mivel a mintavételi frekvencia helyes megválasztásának kérdésével mérés közben a tanulók is találkozhatnak, fontos, hogy a mintavételezés alapvető kérdéseit megismerjék a tanárok, mielőtt számítógépes mérőkísérletekkel kezdenek dolgozni.



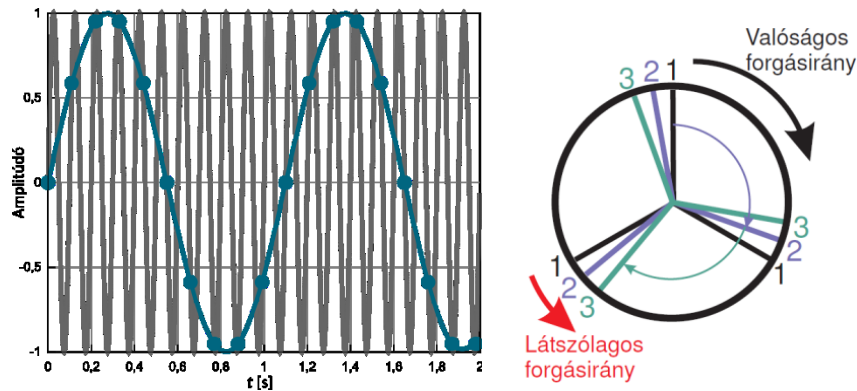
1. ábra Folytonos jel digitális jellé alakítása során időben és amplitúdóban is kvantálni kell [61]

A Shannon-féle mintavételi tétel kimondja, hogy ha egy  $x(t)$  időfüggő jel Fourier-transzformáltja az  $f_m$  mintavételi frekvencia felénél nagyobb frekvenciákon 0, az  $x(t)$  jel egyértelműen és információvesztés nélkül rekonstruálható az egyenlő  $\Delta t = \frac{1}{f_m}$  időközönként mintavételezett értékekből. A kapcsolatot a folytonos  $x(t)$  jel és a

mintavételezett  $x(k\Delta t)$  értékei között az alábbi formula adja meg [59]:

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k\Delta t) \frac{\sin(\pi f_m(t - k\Delta t))}{\pi f_m(t - k\Delta t)}.$$

A mintavételi tétel megsértésének következménye eredményezi az alulmintavételezett mérést. Ebben az esetben hamis képet kaphatunk a mért jellel kapcsolatban [60].



2. ábra A mintavételi tétel megsértésének következményei [60, 61]

A jelenséget jól szemléltetik azok a régi filmek, amelyek esetében az autók kerekeit hátrafelé látjuk forogni [61]. A 2. ábra szemlélteti, hogy a mért frekvencia jóval kisebb lehet, mint az eredeti jelé. A második eset pedig azt mutatja, hogy az egymást követő fázisokban a kűlők valódi elmozdulása helyett (a 2. ábra azonos számú kűlői), úgy látjuk, mintha negatív irányban fordulnának el a kűlők (rendre az 1, 2, 3 helyzetekbe).

### 3.2 ÁTVITELI FÜGGVÉNY ÉS GERJESZTÉSI MÓDOK

Rezgések vizsgálatánál a sajátfrekvencia meghatározásához lehetséges módszer az átviteli függvény vizsgálata. Ez egy egy bemenetű és egy kimenetű rendszernél a gerjesztés (bemenet) és a kialakuló rezgésamplitúdó (kimenet) egymáshoz való viszonya.

Az impulzusválasz helyett a szemléletesebb átviteli függvényt (3) szokás megadni, amit az (1) egyenlet Fourier-transzformációjával (4) kaphatunk meg.

$$x[t] * h[t] = y[t] \quad (1)$$

$$X[f] \cdot H[f] = Y[f] \quad (2)$$

$$H[f] = \frac{Y[f]}{X[f]} \quad (3)$$

Az  $x[t]$  és az  $y[t]$  a bemenő és a kimenő időbeli jel, a  $h[t]$  pedig az impulzusválasz. Az  $X[f]$  és  $Y[f]$  a bemeneti és a kimeneti jel Fourier-transzformáltja ebben a sorrendben, az

$H[f]$  pedig az átviteli függvény. Véges hosszúságú, mintavételezett jelekhez a diszkrét Fourier-transzformációs számítógépes algoritmust (4) alkalmazzuk a frekvenciatartományba való áttérésre.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-i2\pi kn/N}. \quad (4)$$

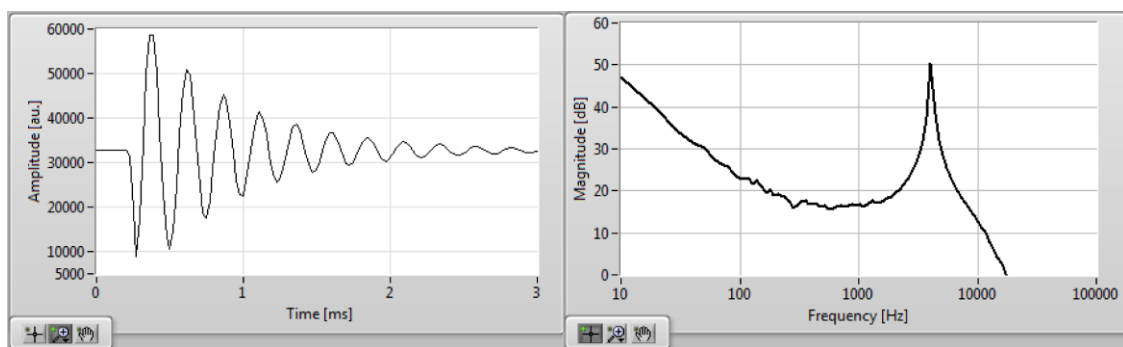
Mért időfüggő jelekre az  $X_k$  az adott frekvenciához tartozó magnitúdó,  $x_n$  az  $n$ -edik minta értéke,  $N$  pedig a minták száma.

Rezonanciavizsgálatok esetén a lehetséges gerjesztési módok: periodikus véletlen zaj, impulzus-gerjesztés, sweep-gerjesztés, chirp-gerjesztés.

A *periodikus véletlen zaj* különböző frekvenciákból álló, véletlenszerű kezdőfázisú szinuszok összege. Előnye, hogy a több frekvenciakomponensnek köszönhetően közel valósidejű mérést tesz lehetővé, a fehér zajjal szemben pedig az, hogy a teljesítmény csak annyi részre oszlik, amennyi az öt alkotó frekvenciakomponensek száma, így növeli a teljesítménysűrűséget a gerjesztésben használt frekvenciákon a spektrumban.

*Impulzus-gerjesztés* esetén egy rövid feszültségimpulzus jut a mérendő áramkör bemenetére, a kimenő jel pedig egy, a sajátfrekvenciával oszcilláló, lecsengő impulzus. Az ellenállás értékétől függően a lecsengés lehet nagyon gyors. Ebben az esetben szokás autotrigger funkciót használni, amely lehetővé teszi, hogy állóképként jelenjen meg a lecsengő jel. Impulzus-gerjesztést egyszerű létrehozni, és számolni vele, ugyanakkor a teljesítmény időben nem optimálisan oszlik el, hanem koncentráltan, ami bizonyos esetekben akár károsíthatja is a mérendő rendszert.

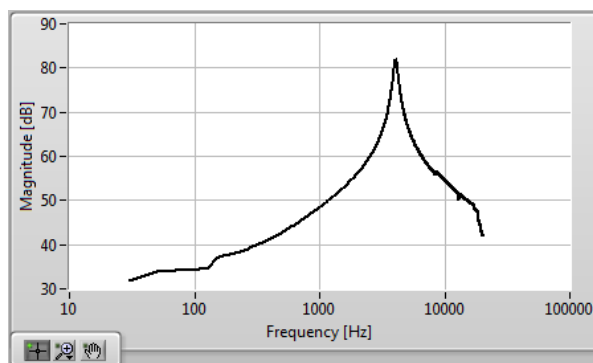
Az 3. ábraán oszcilláló, lecsengő kimenő jel látható impulzusszerű gerjesztés esetén. (Mérőrendszerünk 0,045ms idejű feszültségimpulzust juttat az áramkör bemenetére, amit 0,1 másodpercenként megismétel.)



3. ábra RLC-kör vizsgálata impulzusszerű gerjesztéssel: baloldalon a rendszer időbeli válasza, a jobb oldalon a rendszer frekvenciamenete

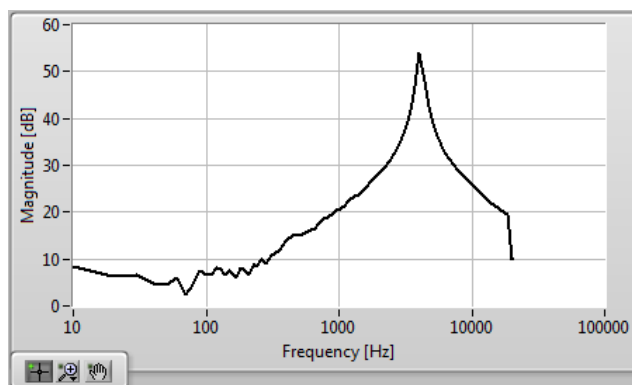


Az egyik leggyakoribb gerjesztési forma a *sweep-elt frekvenciájú gerjesztés*. Ebben az esetben a gerjesztő jel időben csak egy frekvenciájú szinuszt tartalmaz, amelynek frekvenciája a mérés időtartama alatt azonos időközönként változik, ezáltal „végigsöpri” a mérési frekvenciasávot. Ez a módszer eredményezi a legnagyobb jel/zaj viszonyt (4. ábra), ugyanakkor hosszú időt vehet igénybe az átviteli függvény kimérése, nem valósídejű mérés. A mérési eredmény megjelenítésben a peak-hold (csúcsérték megtartása) funkció használata segíthet.



4. ábra A mérendő rendszer átviteli függvénye az időben sweep-elt frekvenciájú szinuszos gerjesztés esetén

*Chirp-ölt gerjesztés* esetén különböző frekvenciájú szinusz függvényeket növekvő sorrendben illesztünk egymás után egyetlen frissítési periódus alatt (0,1s).



5. ábra Átviteli függvény chirp-ölt jeles gerjesztés esetén

A módszer előnye, hogy valósídejű átviteli függvény-mérést tesz lehetővé, hátránya, hogy folytonosan chirp-ölt jelnél – hasonlóan a fehér zajhoz – a teljesítmény az egész frekvenciatartományon egyenletesen oszlik szét. A 5. ábra egy RLC-kör átviteli függvényét mutatja chirp-ölt jeles gerjesztés esetén [T1].

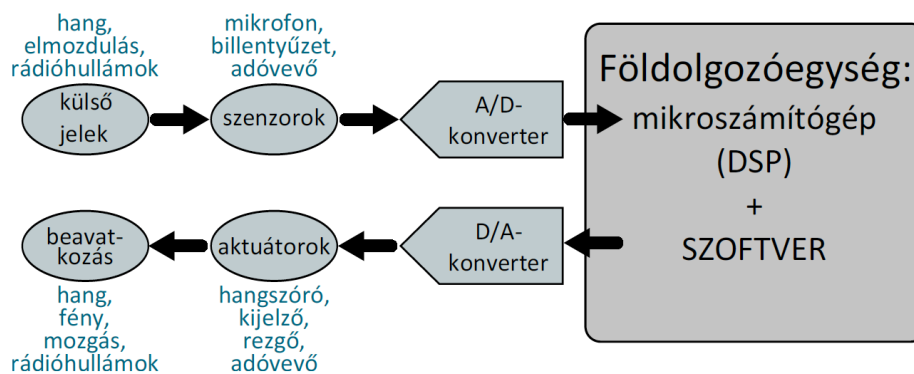
## 4. MÉRÉSI MEGOLDÁSOK FEJLESZTÉSE

### 4.1 EDAQ 530

A következőkben ismertetem az Edaq530 mérőrendszer felépítését, működésének alapjait. A gyakorlati alkalmazáshoz szükséges ismereteket csoportunk nem publikálta magyar nyelven, a tanártovábbképzésekre azonban készítettünk segédanyagokat. Az eszköz működésének bemutatását így Dr. Makra Péter „A kísérletező oktatás támogatása, számítógéppel segített kísérletek bemutatása” című (TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0013) továbbképzésre készített összefoglalója alapján készítettem el, a következő fejezet ábrái ezen továbbképzés előadásanyagából származnak.

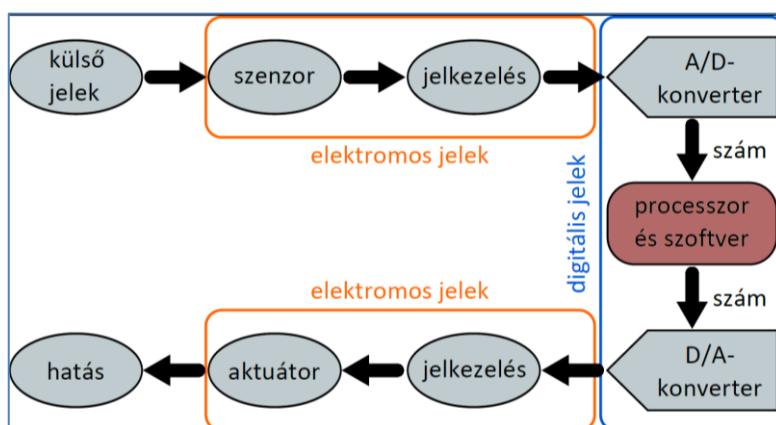
Célkitűzésünk a kísérletező oktatás támogatása volt egy olyan mérőrendszer fejlesztésével, ami kihasználja a számítógép alkalmazásának előnyeit (gyorsaság, pontosság, kényelmes adatfeldolgozás), épít a modern eszköz alkalmazásának motiváló erejére, ugyanakkor nem rejti el a mérés elvét, nem fekete doboz a felhasználók számára. A mérőrendszer kialakításánál fontos szempont volt, hogy elérhető és alkalmazható legyen a mai magyar közoktatás számára: egyszerű, olcsó eszközt készítsünk, ami megbízható és könnyen használható. Fontos tehát, hogy egyetlen eszközben sok műszert tudjunk a tanárok számára nyújtani. Ezzel egyrészt költséghatékonyan lehet szertárt fejleszteni, másrészt az alkalmazott eszközök kis mérete megkönnyíti a kísérletes órák előkészítését. Mindezek mellett a tanári felhasználást az is elősegíti, ha a méréshez és az adatfeldolgozáshoz elegendőek alapvető informatikai ismeretek.

Az alkalmazott szenzorok felhasználhatósága lehetőséget ad az interdiszciplináris alkalmazásokra is, ezáltal is erősíthetjük a diákokban a természettudományos tárgyak egymással, illetve az informatikával és a matematikával való kapcsolatát. Ugyanakkor az eszköz a hétköznapiakhoz is közeli: sok, naponta használt eszközünk működése is hasonló, például a telefonok, mobiltelefonok, modern háztartási eszközök (hűtőgép, mosógép), CD- és DVD-játszók, az autók motorjának vezérlése, vagy a modern orvosi műszerek (6. ábra).



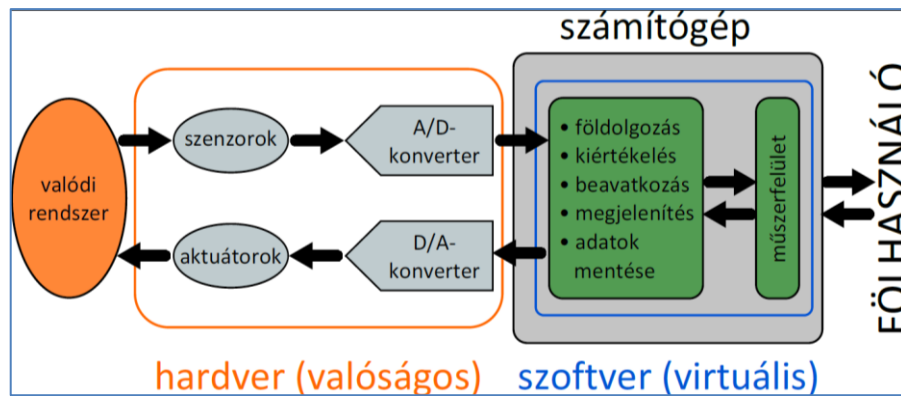
6. ábra A mobiltelefonok is virtuális műszerként működnek

Az alkalmazott technika lényege, hogy a valódi jeleket (elmozdulás, hőmérséklet, nyomás, stb.) szenzorok segítségével elektromos jelekké, majd digitális technika alkalmazásával számokká alakítjuk, így a méréshez kapcsolódó feldolgozás, megjelenítés és más műszerfunkciók már számítógéppel, szoftverekkel valósíthatók meg, ahogyan ezt a 7. ábra is mutatja.



7. ábra Valódi jelek számítógépes feldolgozása

Ezáltal a méréseket végző műszer jelentős részét szoftverként készíthetjük el, úgynevezett virtuális műszert hozhatunk létre. A megvalósításához szükséges tehát számítógép, szenzorok, a számítógép és az érzékelők kapcsolatát megvalósító, analóg-digitális konverziót elvégző adatgyűjtő műszer és a mérőszoftver. Célunk tehát az, hogy a rendelkezésre álló számítógép és az olcsón elérhető szenzorok közti kommunikációt biztosító láncszemet valósítsuk meg, elérhető áron és megbízható minőségben.

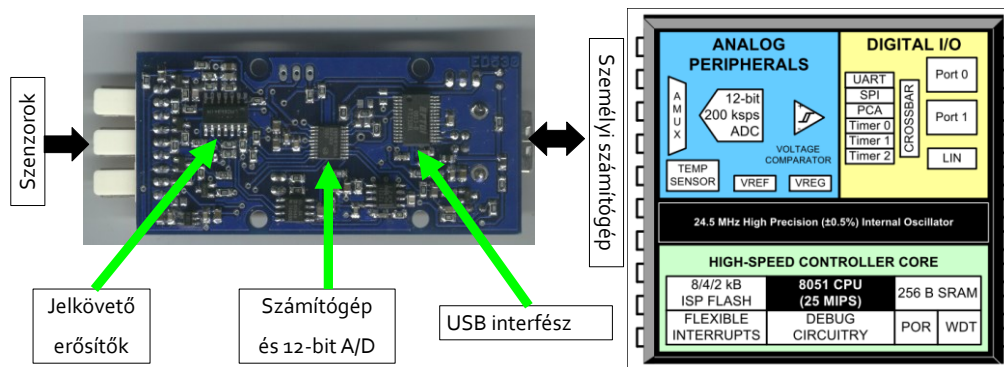


8. ábra Virtuális műszer elvi felépítése

Célkitűzésünknek megfelelően készült el az Edaq530 adatgyűjtő és digitalizáló eszköz, valamint a hozzá tartozó mérőprogram [T5.] A mérőprogram kialakításánál elsődleges szempontként vettük figyelembe az oktatási igényeket. Tervezésekor éppen ezért lényegesnek tartottuk, hogy a felhasználó lássa a mérési módszert is, ezáltal mérnöki, műszaki szemléletet tanuljon, és tudáskoncentrációt is valósítson meg a természettudomány, a matematika és az informatika között.

Az adatgyűjtő három jelet tud egyszerre mérni a 0-3,3 V méréstartományban, a számítógéphez USB-porton csatlakozik, a tápfeszültséget is ezen keresztül kapja. Felbontása 12 bit, így  $2^{12} = 4096$  különböző feszültségszint ábrázolható; a felbontása  $1/4096 = 0,0244\%$ , a kvantumnagyság  $3,3V/4096 \approx 0,8mV$ . A mintavételi frekvencia maximuma 1000Hz, a zaj csökkentésére átlagolási lehetőség is rendelkezésre áll, legfeljebb 16 átlagig.

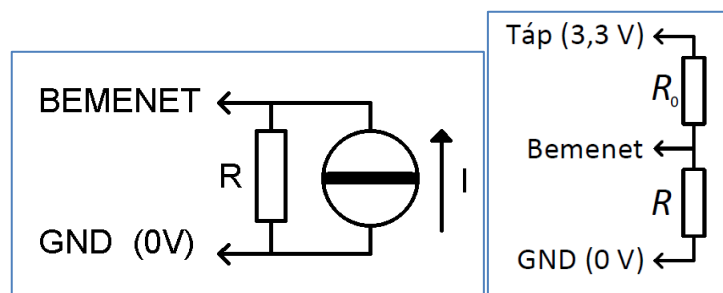
Az Edaq530 központi egysége egy C8051F530A mikrovezérlő, ami egy memóriát tartalmazó kompakt mikroprocesszor. A mikrovezérlő futtatja azt a programot, ami a mérést ütemezi és kommunikál a számítógéppel (futtatja az eszköz „BIOS”-át). A vezérlőprogram C nyelven készült, ezzel kommunikál a számítógépen futó mérőprogram, ami C# nyelven készült, ezáltal bárki számára ingyenesen hozzáférhetővé tehető [62].



9. ábra Az Edaq530 és a Silicon Laboratories C8051F530A mikrovezérlő

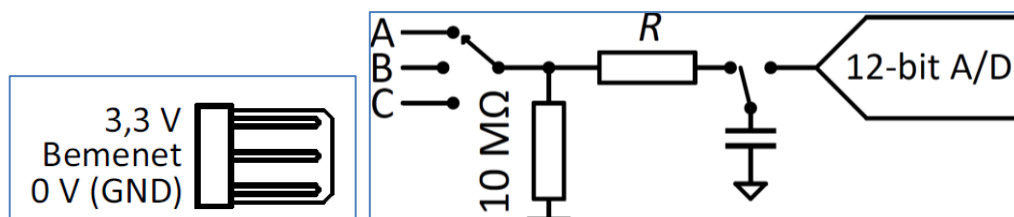
Az Edaq530 bemenetei univerzális csatlakozásokkal különféle szenzorok jeleit tudják fogadni feszültség, áram vagy ellenállás mérésével. A feszültséget közvetlenül lehet mérni, az áramerősséget ellenálláson eső feszültség segítségével. Ellenállásmérés esetén pedig egy beépített, bekapcsolható ellenállásosztót használunk:

$$I = \frac{U_{ref}}{R + R_0}; U = R \cdot I = U_{ref} \cdot \frac{R}{R + R_0}; R = R_0 \cdot \frac{U / U_{ref}}{1 - U / U_{ref}}.$$



10. ábra Áramerősség meghatározása ismert ellenálláson eső feszültség mérésével; illetve feszültség mérése ismert  $R_0$  ellenállás segítségével képezett ellenállásosztóval

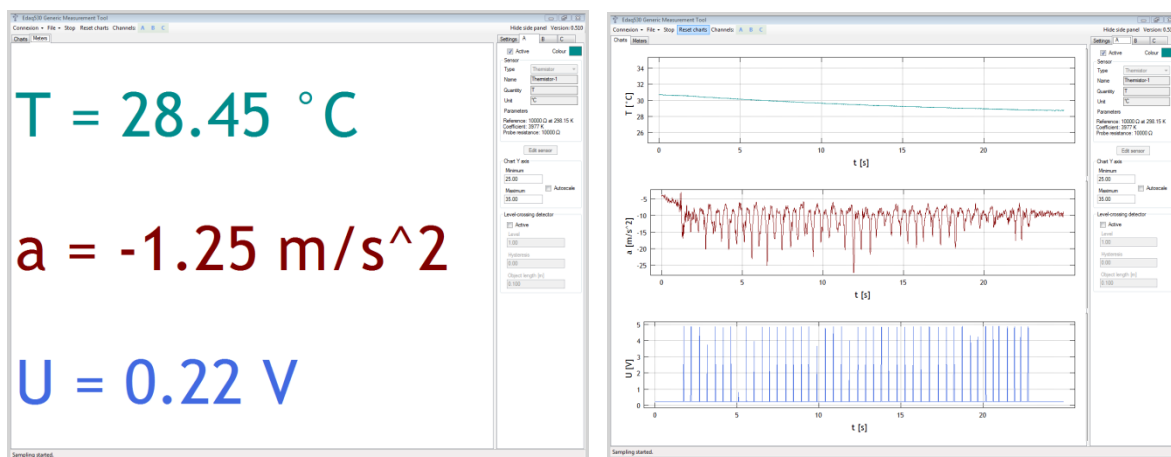
A bemenetek három egyforma csatlakozójának kivezetései: 3,3V, a jel és a föld (GND). A mintavételezés a három csatornán nem párhuzamos: egyetlen A/D-konverter bemenetét kapcsolgatjuk a három csatorna között, így a csatornák között a mintavételi idő harmadának megfelelő időeltolódás van. Az időeltolódás a mintavételi frekvencia reciprokának harmada, ami az iskolai mérések esetén nem zavaró (csak akkor vehető észre, ha nagyon kevés a mérési pont), illetve szükség esetén korrigálható, mert ismert az értéke.



11. ábra Az Edaq530 bemeneti csatlakozói és a csatornák kezelése

A mérőrendszerhez tartozó program három jel egyenletes mintavételezésű mérését teszi lehetővé. A mért adatok valós időben jelennek meg a monitoron. A megjelenítés lehet grafikus: ábrázolhatjuk a mért jel amplitúdóját az idő függvényében, vagy használhatunk számkijelzést is. Mindkét esetben vágólapra másolhatóak a mért értékek. A jelek skálázhatóak: termisztor (speciális beállítás a termisztor ellenállásának exponenciális változása miatt), vagy lineáris. Mérés közben szintmetszések detektálhatóak, így időtartamok, periódusidők és sebesség is mérhető.

A mérőprogram kialakításánál elsődleges szempont volt, hogy jól alkalmazható legyen oktatási környezetben, ezért a programfelület jelentős részét a kijelzési lehetőségek foglalják el. A számkijelzők kifejezetten alkalmasak arra, hogy tantermi körülmények között is könnyen tudják szemléltetésre használni a kollégák. A grafikus kijelzés esetében is törekedtünk arra, hogy a láthatóság minél jobb legyen.

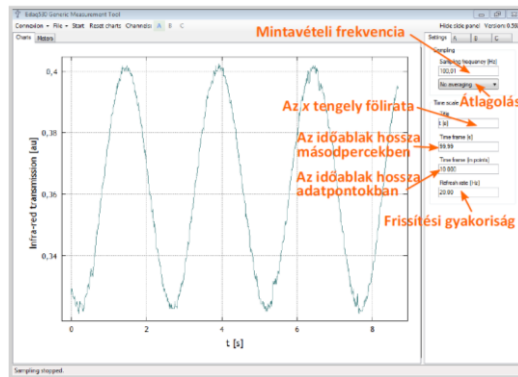


12. ábra A szoftver mérés közben kétféle módon is megjelenítheti az adatokat: a pillanatnyi értéket tünteti fel számkijelzővel, vagy grafikonon jelenik meg a mért jel az idő függvényében

A csatornafüggetlen beállítási lehetőségek és csatornakezelés a fenti célok elérése érdekében egymáson elhelyezett programfüleken érhetőek el.

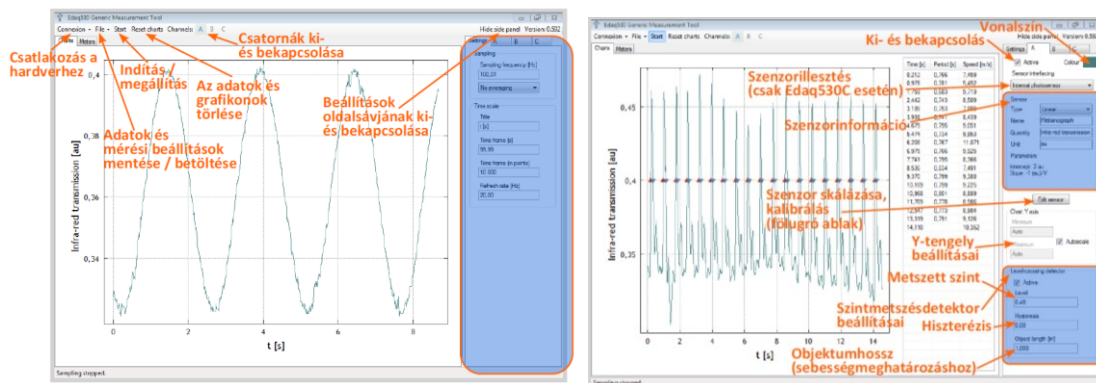
A csatornafüggetlen beállítási lehetőségek:

*Mintavételi frekvencia*, ami 11-1000Hz-ig változtatható a mérési feladat függvényében. Az *átlagolások számának* beállítása 1, 4, 8 vagy 16 értékekre; ez a beállítás a mintavételi frekvenciát nem csökkenti. Beállítható a *grafikon vízszintes tengelyének felirata* is; ha nem állítjuk be, akkor az alapértelmezett felirat: t[s]. A képernyőn megjelenő *grafikon időablakának hossza*, ami kifejezhető másodpercben és adatpontban is. Utóbbi paraméterek a programon belül össze vannak kapcsolva, ha változtatjuk az egyiket, változik a másik is. Az időablak hosszúságának maximuma 10000 adatpont. Állítható a *képernyőfrissítés gyakorisága* is. Utóbbi lehetőség akkor válhat igazán fontossá, ha az iskolában régebbi számítógép segítségével tudunk mérni, mert a képernyőfrissítés ritkítása jelentősen csökkenti a számítógép terhelését.



13. ábra A mérőprogram csatornafüggetlen beállításai

A program felső menüsávja a kísérletező mérések támogatását és az adatmentés sokoldalúságát biztosítja. Az egyes csatornák esetén beállítható, milyen szenzorral mérünk, felugró ablak segítségével skálázhatjuk is. A függő változó beállításai, illetve a szintmetszés funkció beállítási lehetőségei is itt találhatók.



14. ábra A menüsáv funkciói és a csatornafüggő beállítások

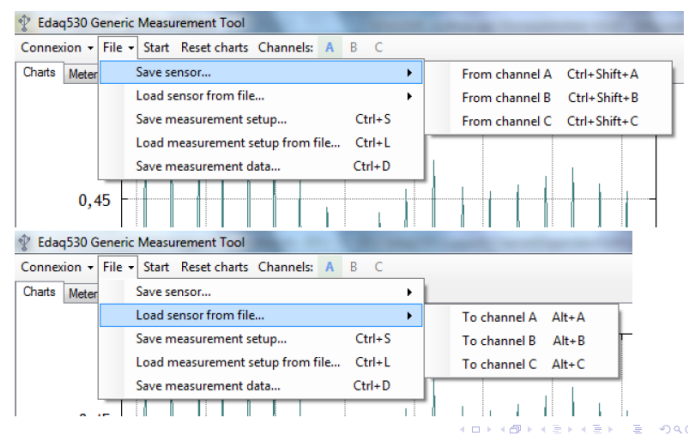
A szenzorok esetén ismerjük az általuk szolgáltatott elektromos jel és az eredeti fizikai mennyiség közötti kapcsolatot. A digitális feldolgozás lehetővé teszi, hogy akkor is könnyen és gyorsan tudjunk mérni, ha ez a kapcsolat nem lineáris. A használt szenzorokat két csoportba sorolhatjuk: lineáris és termisztor.

Lineáris esetben a mért fizikai mennyiség kiszámítása az  $f(U) = f_0 + a \cdot U$  összefüggés alapján történik. A termisztorok ellenállása azonban exponenciálisan függ a hőmérséklettől, így ebben az esetben ez a skálázás nem alkalmazható, helyette az

$$R(T) = R_0 \cdot e^{B(1/T - 1/T_0)} \text{ összefüggés átalakításából kapott } T(R) = \frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right)} \text{ skálázást}$$

használjuk.

A szenzorok elnevezhetők, a csatornafüggő beállításoknál megadott mennyiségnév és egység jelenik meg a grafikonok függőleges tengelyein. Így mérés közben a diákok valóban azt a mennyiséget látják, amit mérünk. A szenzorinformáció megjeleníti a skálázási paramétereket is, beleértve a mértékegységeket is – az oktatásban ez is fontos tényező.

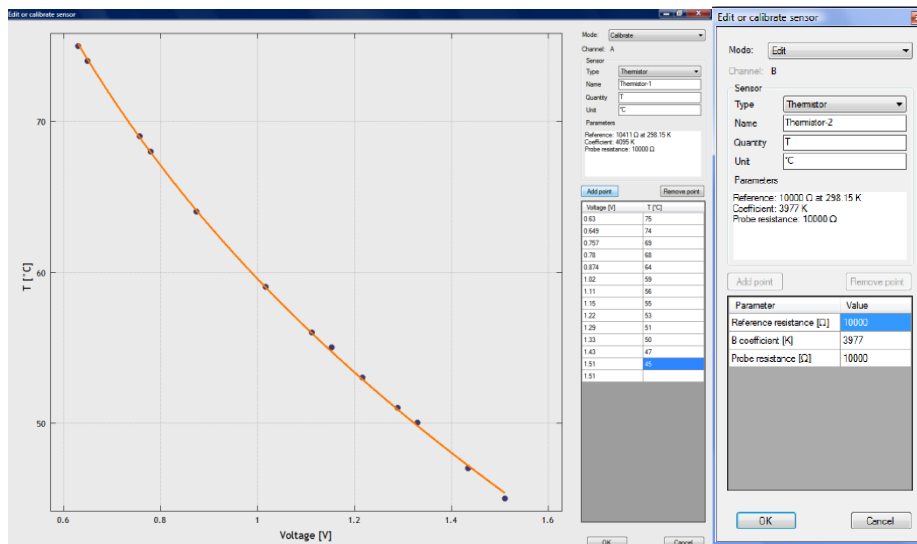


15. ábra Skálázások mentése és betöltése

Az egyes szenzorbeállítások csatornánként is elmenthetőek és ismét felhasználhatóak. Ez különösen praktikus iskolai gyakorlatban, hiszen így az előzetes beállítások segítségével gyorsan lehet osztálytermi környezetben is mérni. Az egyes szenzorok paraméterezése, kalibrációja felugró ablakban állítható.

Az egyes szenzorok beállítására kétféle lehetőségünk van: a kalibráló ablak használatával vagy a skálázási beállítások beírásával az alkalmazott szenzor adatlapja alapján. Kalibráció esetén egy táblázat segítségével rendelhetőek egymáshoz a feszültség és a mért fizikai mennyiség értékei. A függvénykapcsolat azonnal meg is jelenik egy grafikonon. Ez egyrészt a szenzor működésének tanításához hasznos, másrészt az esetlegesen kiugró adatok ellenőrizhetőek, korrigálhatóak, ezáltal a kalibrálás pontosabbá tehető. A paramétereket egyenesillesztés után kapjuk meg (az eljárás linearizálás után alkalmazható termisztorskálázásra is).





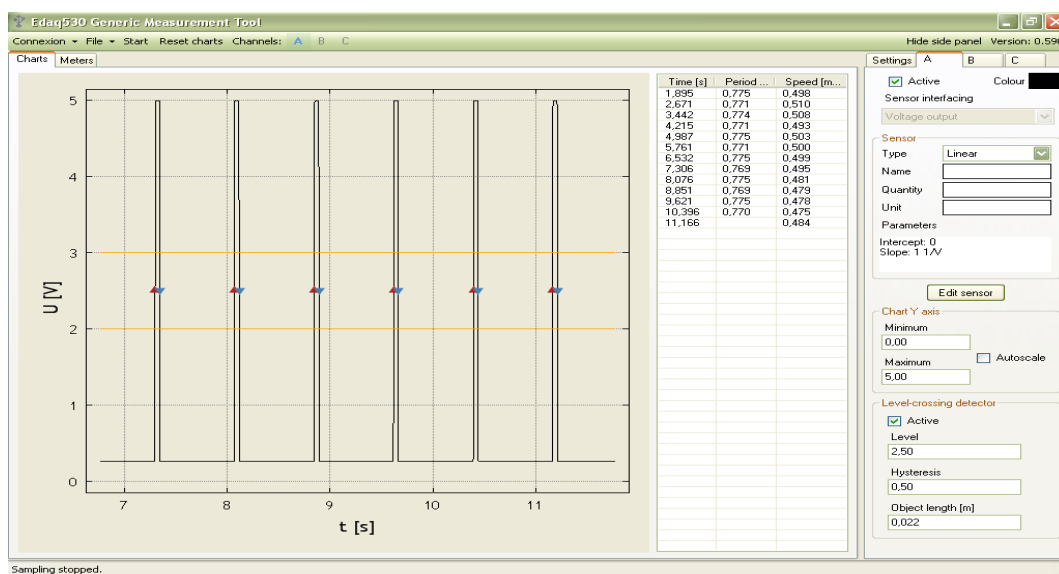
16. ábra Az egyes szenzorok beállítására lehetőségünk van kalibrálással vagy szerkesztéssel az alkalmazott szenzor adatlapja alapján

A felmerülő igények alapján az újabb változatokban (Edaq530C) további szenzorillesztési lehetőségek is rendelkezésre állnak:

- Feszültségkimenetű („Voltage output”): a „hagyományos” mérési elv, minden csatornán választható.
- Ellenálláskimenetű („Resistance output”): bekapcsol egy referenciaellenállást a műszeren belül, minden csatornán választható. Ezzel a lehetőséggel például egyszerűbb a termisztorok csatlakoztatása, amelyekhez az első megoldásokban még egyesével kellett ellenállást is forrasztani.
- Belső fotoszenzor („Internal photoszenzor”): az „A” csatornán választható, bekapcsolja a beépített fotoszenzort.
- Feszültségkülönbség („Voltage Difference”): a „B” csatornán választható, a „B” és „C” csatornák közötti differenciamérés. Például termoelemek esetén alkalmazott beállítás.
- Wheatstone-híd („Wheatstone bridge”): a „B” csatornán választható, Wheatstone-hídkapcsolás a „B” és „C” bemenetek között. Alkalmazzuk például relatív nyomásmérők esetén.

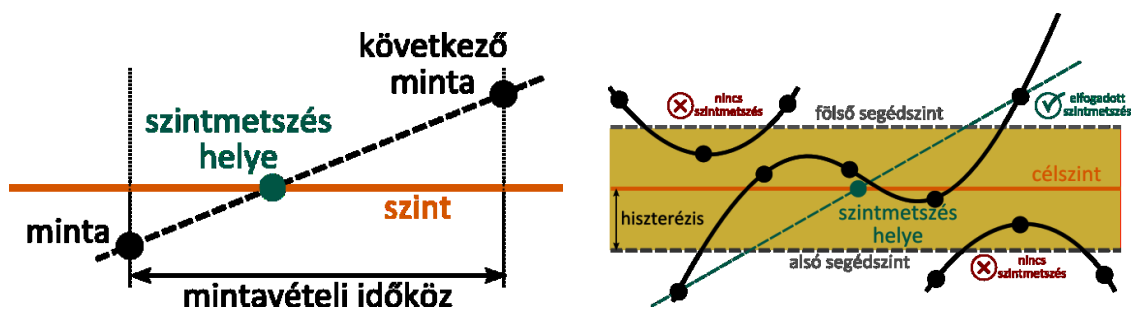
A számítógép alkalmazásának további előnye lehet, hogy időtartamok és sebesség mérésére is használhatóak az összeállítások. Erre az a körülmény ad lehetőséget, hogy az események gyakran egy jel szintmetszéséhez köthetőek, például a fotokapu jele a fény kitakarásakor vált.

A 17. ábra a programfelületet mutatja, miközben ingamozgást tanulmányozunk fotokapuval. A mozgás periódusidejének meghatározásához használhatjuk a szintmetszés („Level crossing detector”) funkciót.



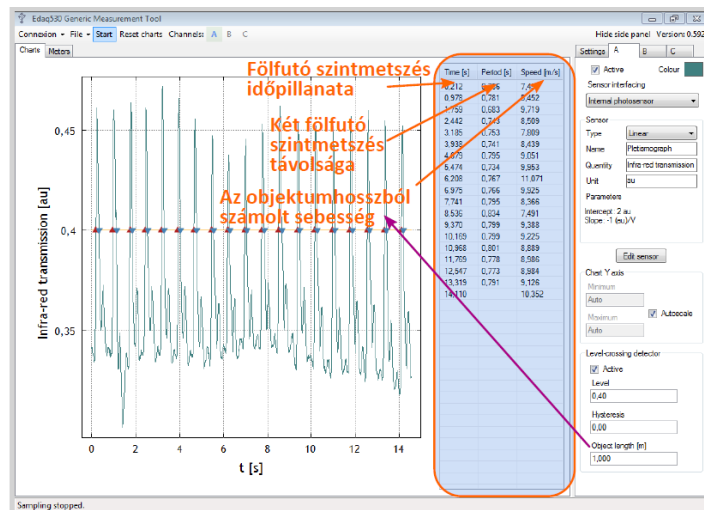
17. ábra A szintmetszés-funkció a programfelületen

A program rögzíti a fölfutó és lefutó élekkel történő szintmetszéseket; a szintmetszés helyét interpolációval számolja, ezáltal is javítja az időbeli detektálás pontosságát. A periódusidőt két fölfutó élű szintmetszés közti időtartamból határozza meg. Pillanatnyi sebességnek tekinthető átlagsebességet is számol a program: ha megadjuk a fotokapu előtt áthaladó test méretét („Object length”), az út megtételéhez szükséges időtartam a fölfutó és lefutó szintmetszés közt eltelt időtartam.



18. ábra A szintmetszés-funkció elvi háttére, illetve a hiszterézis alkalmazása „hamis” szintmetszések elkerülésére

A szintmetszés funkció esetén problémát okozhat az esetleges zaj, ezért a véletlen szintmetszések kiküszöbölésére hiszterézis állítható be, ahogyan azt a 18. ábra mutatja, így csak a valódi szintmetszéseket veszi figyelembe a program. A szintmetszés funkció mindhárom csatornán működik, egymástól függetlenül.



19. ábra A szintmetszés-funkció alkalmazásával kapott táblázat: periódusidő és számolt sebesség

A mérési beállítások elmenthetőek és betölthetőek. Minden beállítás (mintavételi frekvencia, átlagolás, csatornák láthatósága, az egyes csatornák beállításai, szintmetszései) egyetlen fájlban kerül mentésre. Ez a megoldás lehetőséget biztosít arra, hogy előkészíthessük a méréseket, oktatási környezetben gyorsan állíthassuk be azokat, illetve válthassunk a mérési elrendezések között, vagy hogy megoszthassuk a méréseket. Kilépéskor a program automatikusan elmenti az aktuális mérési beállításokat, indításkor pedig az utolsó beállításokat tölti vissza.

A mérések eredményeinek tárolására, további feldolgozására több lehetőség áll a felhasználó rendelkezésére. A program a legutolsó százezer mérési adatot eltárolja a háttérben, ez szöveges állományba menthető, aminek a további elemzésére használhatunk például táblázatkezelő programokat. A grafikonok és a szintmetszési táblázatok tartalma vágólapra tehető és átvihető más alkalmazásokba. (A program leállításakor nem vesznek el az adatok, csak akkor, ha újraindítjuk a mérést, vagy magunk választjuk a mérőcsatorna adatainak törlését a „Reset charts” funkcióval.) A grafikonok elmentésére is lehetőség van, igény szerint .jpg, .png állományba, vagy GnuPlot-scriptbe is menthetőek az ábrák.

A szoftver nyelve angol. Ezt egyrészt indokolják nemzetközi kapcsolataink és publikációink, másrészt a program használatával az angol nyelv szakmai környezetben való használatát is taníthatjuk diákjaink számára.

## 4.2 HANGKÁRTYÁS MÉRÉSEK

A mai számítógépekben meglévő hangkártya beépített lehetőséget kínál az analóg-digitális konverzióra: kimenete megfeleltethető egy jelgenerátornak (digitális-analóg konverter), a bemenete pedig adatgyűjtőként (analóg-digitális konverter) használható. Alkalmazása 44kHz-es mintavételezéssel nagyon pontos mérések lehetőségét kínálja. Mint azt a 2. fejezetben elemeztem, hangkártyát többen is alkalmaznak méréseikhez ingyenesen letölthető szoftverek alkalmazásával. Ezeket a programokat azonban nem oktatási vagy mérési célokra fejlesztették. Ennek következménye, hogy a mérés, mintavételezés elvi hátterét nem látják a tanulók, arról nem is beszélve, hogy a mérés közben megjelenő grafikon tengelyein nem megfelelő feliratozás jelenik meg. Éppen ezért csoportunk a hangkártya mérési alkalmazásához is készített egy ingyenesen letölthető mérőprogramot, amely magában foglalja az Edaq mérőprogramjának bevált és alkalmazható elemeit [63].

A hangkártyát az időmérésen túl azokban az esetekben lehet könnyen mérésre használni, ha a mért jelben a frekvenciaváltozásra vagyunk kíváncsiak. Amplitúdómérés esetén mindössze annyit állapíthatunk meg, hogy az változott-e, az abszolút érték meghatározása nem megbízható. Több próbálkozás is volt arra például, hogy ellenállásmérőként használva a hangkártyát, termisztort csatlakoztassunk hozzá. [64]. Ennek a megoldásnak az oktatási gyakorlatban való elterjedését akadályozza az, hogy az egyes számítógépek másként kezelik a hangkártyát, több esetben automatikus szabályozással találkozunk, ami egy, az informatikában kevésbé jártas tanár számára nehézkessé, adott esetben lehetetlenné teszi az alkalmazást.

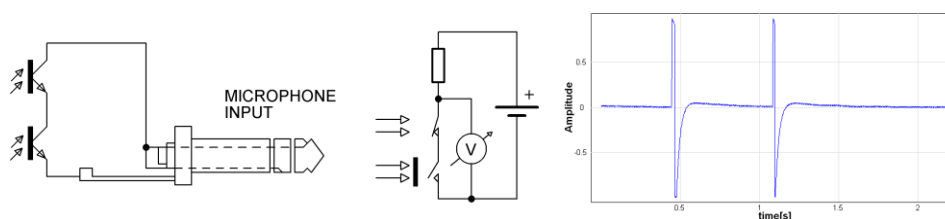
A számítógépek konfigurálásának eltérő volta miatt problémát jelenthet a beépített mikrofon, illetve annak kikapcsolása. Tapasztalataink alapján egyszerű, és mindenki által könnyen kezelhető megoldást jelent, ha USB-porton keresztül csatlakoztatható külső hangkártyát használunk. Az általunk használt a C-media CM119A típusú USB-s hangkártya [65] kis méretű, olcsó és minősége megfelelő az adott feladatra. Ekkor a csatlakoztatás után a külső hangkártya válik alapértelmezetté, így nem „zavarja” mérésünket a beépített mikrofon.



20. ábra C-media CM119A típusú USB-s hangkártya

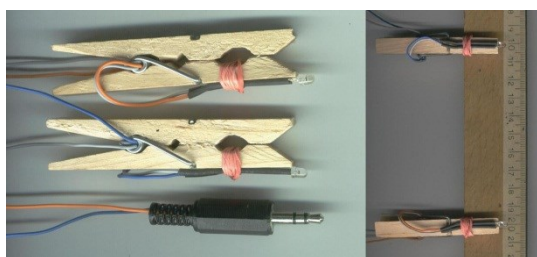
Nincs szükség tehát arra, hogy a számítógép beállításain módosítsunk, és bármilyen „baki” történik is mérés közben, a számítógép beépített hangkártyája nem károsodik. Ezzel a megoldással kapcsolatban kedvező tapasztalatokat szereztünk a gimnáziumi laborgyakorlatok során is.

A hangkártyához csatlakoztatható fotokapu könnyen elkészíthető: két, sorba kapcsolt fototranzisztort jackdugón keresztül csatlakoztatunk a mikrofonbemenetre. Ha bármelyik fototranzisztor előtt kitakarjuk a fényt, feszültségimpulzus detektálható, ami könnyen kimutatható a célszoftverrel [63].



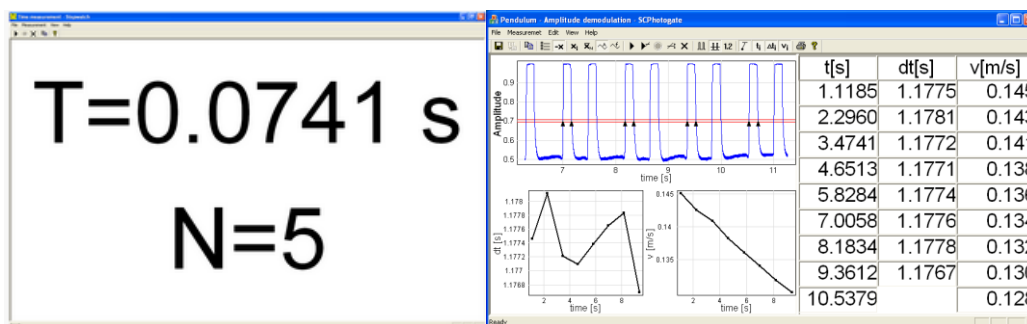
21. ábra Két, sorba kapcsolt fototranzisztort csatlakoztatunk a számítógép mikrofon bemenetéhez. Középen látható a helyettesítő kapcsolás, a jobb oldalon pedig az fénymegszakítás okozta jelváltozás [T4.]

Az egyes fototranzisztorok pontos elhelyezése megoldható például ruhacsipeszek segítségével. Ahhoz, hogy pontos méréseket tudjunk végezni, érdemes az egyes fototranzisztorokat külön-külön lámpával megvilágítani. Erre a célra alkalmazhatunk folytonos fényű zseblámpákat is. Előnyösebb egyenáramú lámpákat használni, a hálózatról működő lámpák fénye ugyanis a hálózati frekvencia kétszeresével oszcillál, ami növeli a mérési bizonytalanságot. LED-es zseblámpák alkalmazásánál is könnyen előfordulhat, hogy a lámpa nem folyamatosan világít, hanem villog, ezért érdemes mérés előtt ellenőrizni a használni kívánt fényforrásokat.



22. ábra A fotodetektorok rögzítésére csipeszeket használunk

A mérési elrendezéshez két, ingyenesen letölthető célszoftver is készült. Az egyik stopperóraprogram: méri a két fénymegszakítás között eltelt időt (az első megszakítás indítja a stoppert, a második megállítja), és azt is, hányadik mérést végzi éppen a program. [63] A mért adatokat tárolja a szoftver, ezek vágólapra másolhatóak a további feldolgozás céljából.



23. ábra A Stopwatch és az SCPhotogate programok programfelülete

Hangkártyát alkalmazó fotokapuk esetén részletesebb vizsgálatra alkalmas másik program az SCPotogate [66]. A program működése és funkciói sokban hasonlítanak az Edaq530 szoftverének megoldásaira. A mért adatok kijelzésére két alapvető lehetőség áll rendelkezésre: időfüggő jel ábrázolása és számkijelzés. Szintmetszés-funkció is használható periódusidő és sebesség számításához. További lehetőségként jelenik meg a periódusidő és a sebesség időfüggésének ábrázolása és az inga-mód. Utóbbi ingamozgás tanulmányozásához lehet hasznos, ilyenkor ugyanis a fotokapu által érzékelt két periódus összege adja az ingamozgás egy periódusát, így ingamozgás módban összeadódik két-két egymást követő periódusidő, és ezt látjuk a képernyőn.

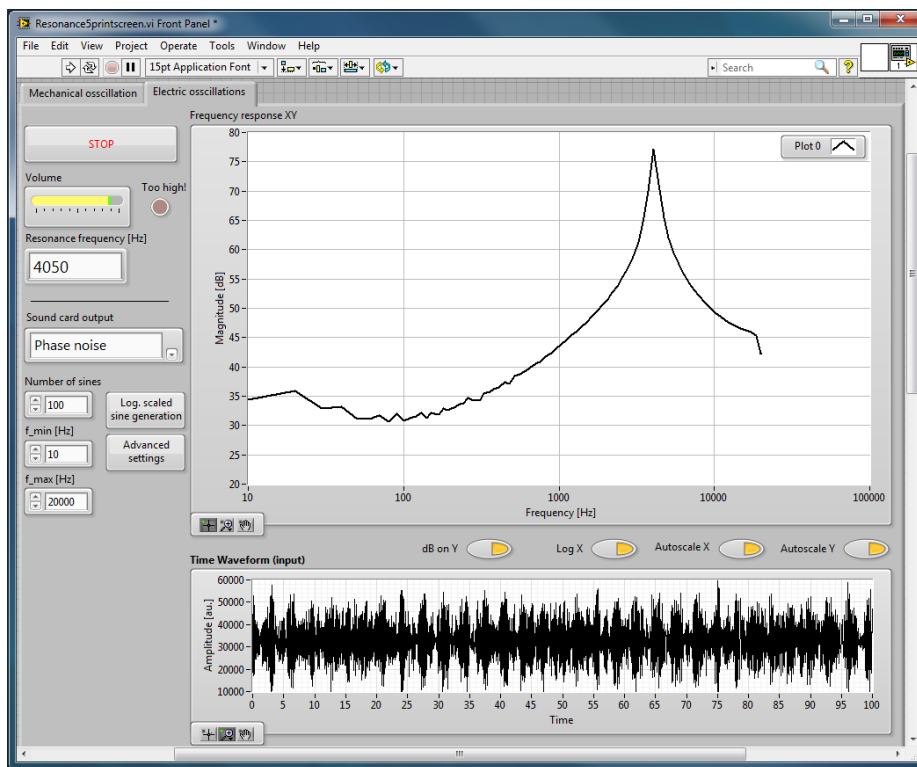
A hangkártya 44kHz-es mintavételi frekvenciája kínálja a lehetőséget olyan alkalmazások fejlesztésére is, amelyek kiválthatják az oszcilloszkópokat. Erre azért lehet szükség, mert az iskolák számára (kevés kivételtől eltekintve) nem elérhetőek a modern oszcilloszkópok, a régiek pedig egyre kevésbé használhatóak. Hangkártyát alkalmazó oszcilloszkóp-programból többet is találhatunk. Ezek között létezik ugyan olyan, ami ingyenesen hozzáférhető és valós időben mér, de ezek túl bonyolultak, felesleges és hiányzó funkciókat egyaránt találtunk, amik nehézkessé teszik oktatási alkalmazásukat. Ugyanakkor a virtuális műszerek készítése lehetőséget biztosít arra, hogy olyan, valós időben mérő célszoftvert készítsünk, amelynek kijelzőjén a vizsgált jelenség szempontjából releváns eredmények azonnal megjelennek. A tanítási gyakorlatban nehezen szemléltethető rezonanciajelenségek vizsgálatához így mindezen szempontok alapján készült el egy alkalmazás LabVIEW környezetben. (A grafikus programozási nyelv kifejezetten alkalmas virtuális mérőműszerek fejlesztésére.) A Makan Gergely által készített program forráskódja elérhető az interneten, így működésének részletei megismerhetők, a lehetséges funkciók továbbfejleszthetők. Emellett a szoftver futtatható formában (.exe) is elérhető kutatócsoportunk honlapján [67]. A mérőprogram használatához az ingyenesen letölthető Run-Time Engine szoftver szükséges. A

szoftverünk futtatható linux operációs rendszeren is, ezen kívül a mérőrendszerünk portolható National Instrument-es berendezésekre is.

A program alkalmazásával mérhetőek a vizsgált rendszer módusai többféle gerjesztés és az ezekre adott válaszok segítségével. A gerjesztési lehetőségek: periodikus véletlen zaj, impulzus, chirp-ölt jel és frekvencia-sweep.

Az általunk generált periodikus véletlen zaj elektromos esetben 0,1 másodpercenként ismétlődve jelenik meg a hangkártya kimenetén, ami közel valós idejű mérést (10 Hz-es képfrissítést) tesz lehetővé, 10 Hz-es frekvenciafelbontás mellett. A periodikus véletlen zaj főbb paraméterei; a frekvenciatartomány, a frekvenciakomponensek száma valamint a generált komponensek frekvenciamenete állíthatóak. A kijelzésnél állítható a tengelyek skálázása, az átlagolás és az ablakozás. Chirpölt jel esetén a frekvenciatartomány tetszőlegesen állítható 20 Hz és 20000 Hz-es tartományon belül.

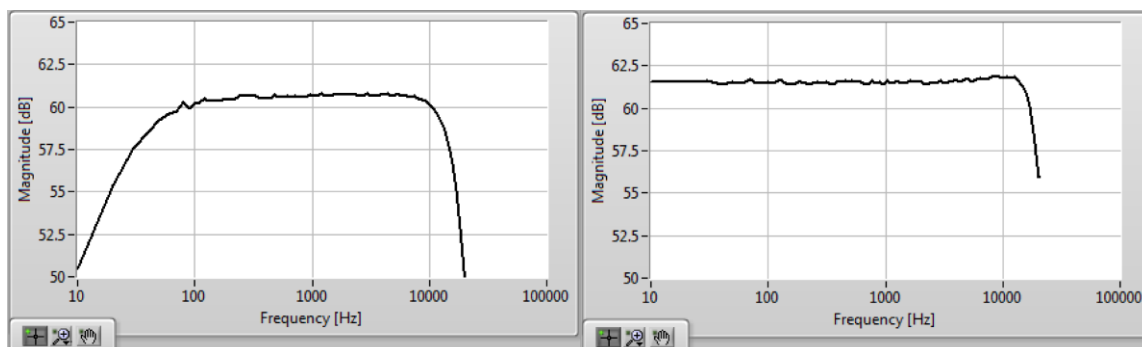
A virtuális műszer előlapjának elemei: a legnagyobb kijelző a mért átviteli függvényt mutatja, alatta pedig a gerjesztés időbeli jele látható. Az ablak bal oldalán kaptak helyet a vezérlő elemek, a hangerő-visszajelzés és a rezonanciafrekvencia kijelzése. A gerjesztő jelszintet a szoftveren kívül, a hangerő-szabályozó segítségével állíthatjuk, a megfelelő értékről a szoftver előlapján található színes indikátor ad visszajelzést.



24. ábra A szoftver főbb vezérlői és kijelzői

A program áttekinthetősége érdekében csak az „advanced settings” gomb segítségével jeleníthetjük meg a kiadott időbeli jelet, a visszamért jelet és egy részletesebb spektrumot. Ugyanezzel a gombbal tehetjük láthatóvá a részletesebb beállításokkal kapcsolatos vezérlőket és kijelzőket.

Az egyszerűbb külső hangkártyák minősége általában elmarad a számítógép beépített hangkártyájának minőségétől. Ennek kompenzálására a frekvenciamenet egyenetlenségein a program egy kalibrációs fájl készítésével tud korrigálni (25. ábra).



25. ábra A külső hangkártya frekvenciamenetének korrigálása. Baloldalon az eredeti, a jobb oldalon a korrigált frekvenciamenet látható közvetlenül összekötött kimenet és bemenet esetén

Rendszerünk alkalmas a mérendő jel relatív amplitúdójának és frekvenciájának kellően pontos mérésére. Felbontása 16 bit, ami lényegesen finomabb magnitúdó-felbontást eredményez a spektrumban, mint egy átlagos oszcilloszkóp, aminek 8 bit a felbontása.



## 5. MÉRŐKÍSÉRLETEK AZ EDAQ530 FELHASZNÁLÁSÁVAL

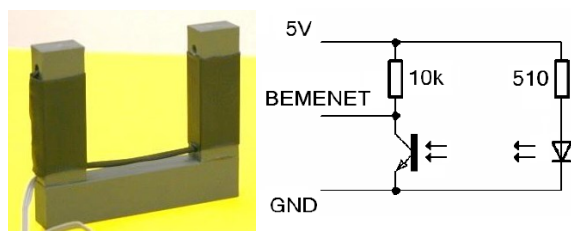
A következő fejezetben az Edaq530 alkalmazásához általam fejlesztett és tesztelt kísérleteket mutatom be. Az eszköz első változatának elkészülte óta négy olyan tanártovábbképzést is tartottunk egyetemünkön, melynek résztvevői használták az eszközt, valamint három évben is tartottam mérés technika-szakkört az SZTE Ságvári Endre Gyakorlógimnázium diákjai számára. Ezen alkalmak, valamint a további együttműködési megkeresések (erről bővebben a 7. fejezetben írok) tapasztalatai jelzik a mérőkészlet és a mérőkísérletek gyakorlati használhatóságát. Az alábbiakban bemutatott mérések fő célja egy-egy téma tanításának könnyítése, modernizálása, a kutatásalapú tanítás és tanulás támogatása, valamint a tanulói készségek fejlesztése. Ez indokolta a döntést, amely szerint az esetek jelentős részében olyan mérési eredményeket szerepeltetek a dolgozatban, amelyek diákoktól, képzéseinken részt vevő kollégáktól származnak. Az ilyen mérések elvégzése alatt mint tanár vagy mint továbbképző voltam jelen, legfőbb eredményem pedig a kísérleti összeállítások megtervezése, a hallgatók sikeres kísérleti munkájának és a kísérletező tanítás aktív elősegítése.

### 5.1 MECHANIKAI KÍSÉRLETEK

A mechanikai kísérletek időskálájához jól használható az Edaq530. A mintavételi frekvencia maximuma 1000Hz, ami elegendő a mérések többségének elvégzéséhez. Méréseink során fotokapu mellett gyorsulás- és nyomásszenzort, valamint Hall-szenzort is használtunk. A kísérleti munka során törekedtünk a felfedeztetésre, ami a fogalmak tanításán túl a mélyebb megértést is segíti, így a munkában az IBL-módszer alkalmazásának példáit is látjuk, a strukturált kutatásban és az irányított felfedezésben egyaránt.

#### 5.1.1 FOTOKAPU ALKALMAZÁSA

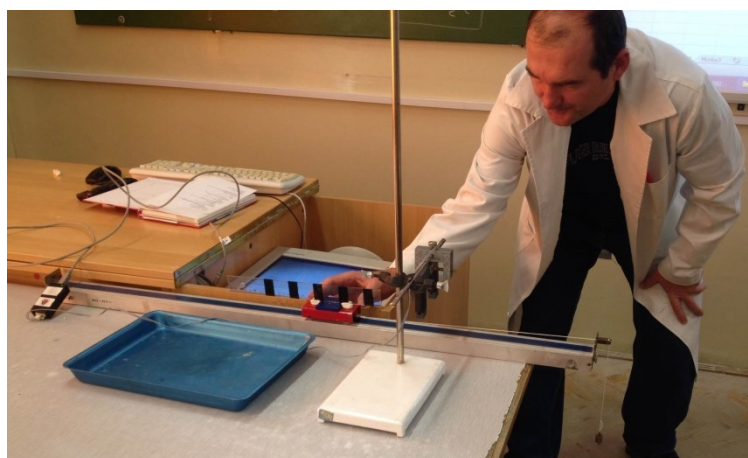
A fotokapu működésének alapja, hogy a kapu egyik szárába épített infra-LED megvilágítja a másik szárba beépített fototranzisztort. A fotokaput és kapcsolását a 26. ábra mutatja. Zárt fényút esetén magasabb feszültségértéket mérünk, mint nyitott fényút esetén.



26. ábra A fotokapu fényképe és szerkezete

#### 5.1.1.1 Egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás vizsgálata

Alumíniumpályán mozgó kiskocsi sebességváltozásának vizsgálatára használhatunk egyetlen fotokaput is, ha a kiskocsira felerősítjük az egyébként szabadesések vizsgálatára használt ejtőlétrát [68]. Vízszintesen elhelyezett sín esetén az egyenletes gyorsulást biztosíthatjuk fonál és mérő súly alkalmazásával. Ez az elrendezés pontosabb beállítást, így pontosabb mérést tesz lehetővé (a fotokapunak a pályára merőlegesen kell elhelyezkednie.)



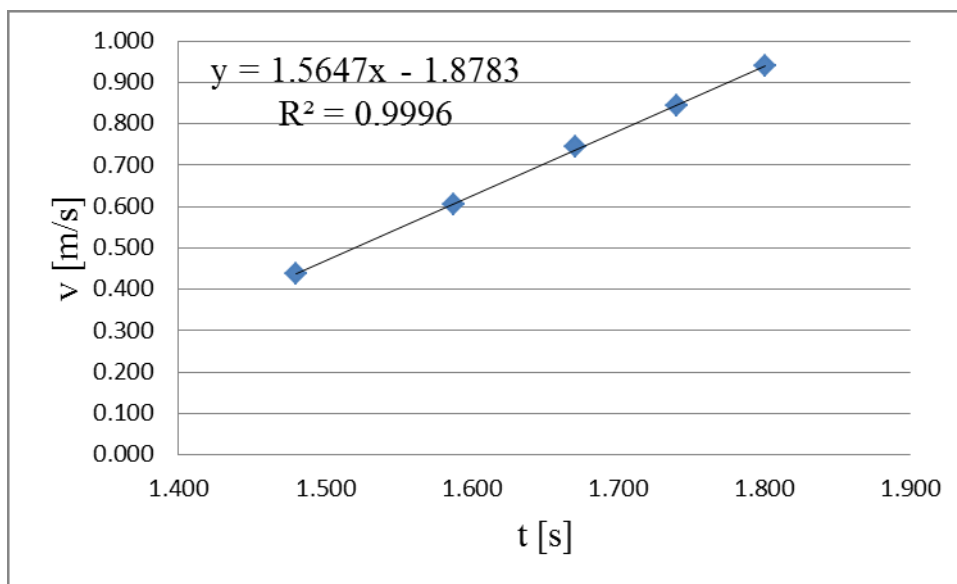
27. ábra Tóth Károly tanár úr egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgást vizsgál Edaq530-cal tanítási órán

Az ejtőlétra beosztása és a program által mért adatok alapján elkészíthető a 1. táblázat.

s [m]	t [s]	$v \left[ \frac{m}{s} \right]$
0.05	1.481	0.438
0.1	1.588	0.604
0.15	1.671	0.744
0.2	1.741	0.842
0.25	1.801	0.939

1. táblázat: Egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás vizsgálatának mérési eredményei

A kapott értékek alapján két grafikont is érdemes elkészíteni. Mivel a kísérletet a gyorsuló mozgás bevezetésénél alkalmazzuk, először a sebesség-idő grafikon felrajzolását végezzük el.

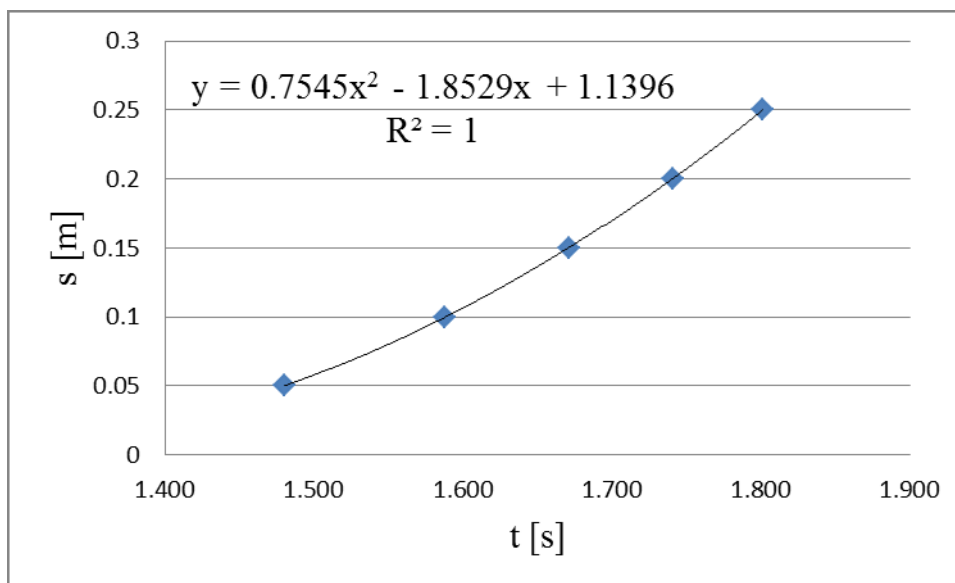


28. ábra Sebesség-idő grafikon: egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás

A kapott grafikon szépen látszik, hogy a sebesség változása egyenesen arányos az eltelt idővel. Ennek alapján a gyorsulás fogalma bevezethető:  $\Delta v \sim \Delta t$ , így  $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{állandó}$ :

$$\bar{a} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}.$$

Felhasználva azt, hogy a sebesség-idő grafikon görbe alatti területe megadja a megtett út mérőszámát, levezethetjük a négyzetes úttörvényt is:  $s = v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2$ . Ennek alapján az a várakozásunk, hogy ábrázolva a kiskocsi által megtett utat az idő függvényében „félparabolát” kell kapnunk, ezt a 29. ábra és a mérési pontokra illesztett másodrendű görbe igazolja.



29. ábra  $\dot{U}$ - $t$  grafikon: egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás vizsgálata

A mérés előkészítése időigényes, ugyanakkor az órán nagyon rövid idő alatt elvégezhető és nagyon pontos eredményt ad, ezért mindenképpen érdemes elvégezni. A grafikon számítógépes elkészítése is segíti a tanári munkát: mivel a tanulók a kivetített grafikon alapján dolgoznak, a pedagógusnak alkalma nyílik arra, hogy ellenőrizze a füzetképeket.

#### 5.1.1.2 Szabadesés vizsgálata

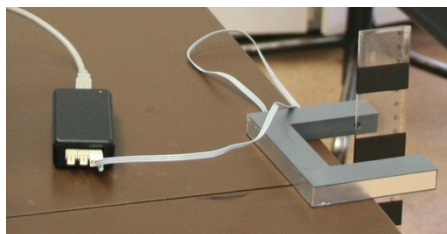
A nehézségi gyorsulás meghatározásának sok szép módszere ismert. A kérdés vizsgálata kiváló lehetőséget biztosít arra, hogy ugyanazt a jelenséget többféle kísérleti módszerrel is megvizsgáljuk. A mérés pontosságának növeléséhez több eljárás ismeretes: növelhetjük az időmérés pontosságát például útsokszorozással vagy számítógépes méréssel, elektromágneses indítással, és alkalmazhatunk az eső testre erősített szenzort is.

Számos számítógépes mérés ismert a szabadesés vizsgálatára, ezek esetében tipikus elrendezésekkel találkozhatunk. Alkalmazhatóak függőlegesen, egyenlő távolságban elhelyezhető fotokapuk [69]. Használható úgynevezett ejtőlétra is, melynek segítségével az egyetlen fotokapu szárai között leeső létra segítségével határozható meg a szabadon eső test sebességének változása. Az elrendezésre példa a Cassy-rendszer (Leybold), melynek alkalmazásáról Rácz László 2006-ban készült szakdolgozata is ír [70], de a cég azóta is folyamatosan fejleszti oktatási célú mérőeszközeit [71]. Ejtőlétra alkalmazása esetében az eső test sebességváltozását használjuk a gyorsulás meghatározására, így másodfokú függvények használata nélkül is eljuthatunk  $g$  értékének pontos meghatározásához. A mérés pontossága növelhető elektromágneses indítás alkalmazásával is, ebben az esetben

elegendő lehet egyetlen fotokapu is, ha az időmérés indítása egybeesik az elektromágnes kioldásával. Ezen a módon a könnyen mérhető úthosszhoz pontosan meghatározott esési idő rendelhető, amelyekből  $g$  értéke meghatározható. Mivel az időmérést a kísérletet indító elektromágnes kioldásával egy időben indítjuk, a mozgás kezdősebessége zérus.

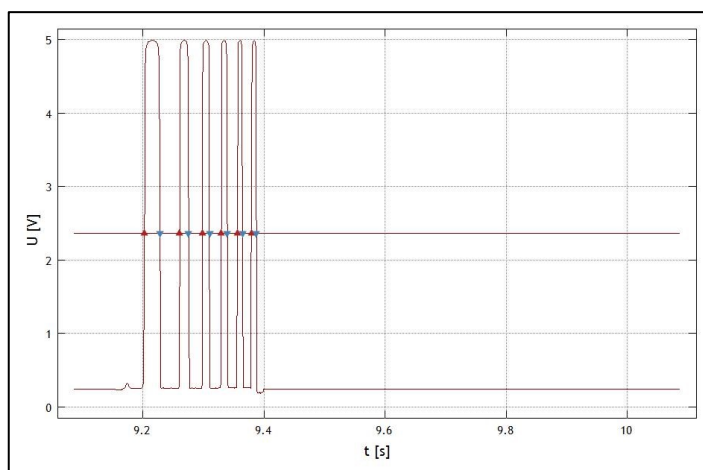
A gravitációs gyorsulás méréséhez készletünk alkalmazását indokolja a pontosság mellett az, hogy így tanulói mérés lesz az eddigi tanári demonstrációból. A szabadesés vizsgálata ezen túl kiváló lehetőséget nyújt a helyes mintavételi frekvencia fontosságának megtapasztalására: alacsony mintavételi frekvencia esetén akár azt is mérhetjük (teljesen helytelenül), hogy nem gyorsul a szabadon eső test.

A kísérlet elvégzéséhez a számítógép mellett az Edaq-hoz csatlakoztatott fotokaput használtuk, ejtőlétraként pedig egy olyan vonalzót, amelyre egyenletesen szigetelőszalagcsíkokat ragasztottunk (30. ábra).



30. ábra Fotokapu ejtőlétraként használt vonalzóval

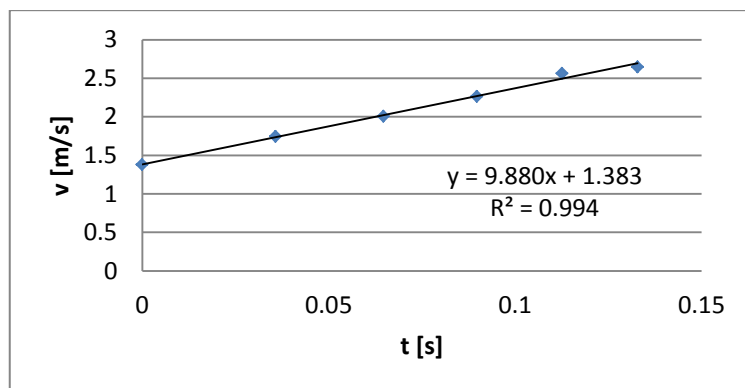
A vonalzó megfelelő ejtése után (ehhez esetleg egy kis gyakorlás szükséges lehet), a program szintmetszés-funkciója segítségével megkapjuk a vonalzó pillanatnyinak tekinthető sebességét azokban a pontokban, amikor épp kitakarja egy-egy szigetelőszalagcsík a fotodetektort.



31. ábra A fotokapu által mért feszültség az idő függvényében, a program szintmetszés-funkciójának alkalmazásával

A kapott sebességértékeket az idő függvényében ábrázolva az illesztett egyenes meredeksége adja a vonalzó gyorsulását. A 32. ábra tanulói mérést és adatfeldolgozást mutat, a grafikonra illesztett egyenesből látható, hogy a kapott gyorsulásérték:  $g = 9,88 \frac{m}{s^2}$ .

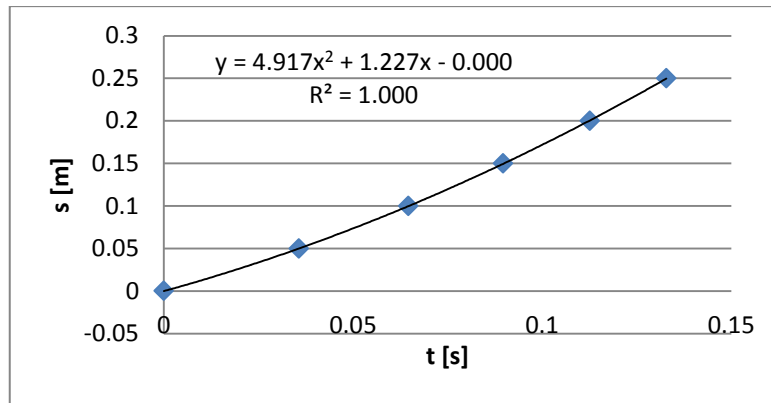
Az irodalmi értéktől való relatív eltérés: 
$$\frac{9,88 \frac{m}{s^2} - 9,81 \frac{m}{s^2}}{9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,0071.$$



32. ábra Gravitációs gyorsulás mérése fotokapuval; az adatfeldolgozás táblázatkezelő programmal történt (Mayer Jakab mérése)

A gravitációs gyorsulás mérése elrendezésünkkel tehát tanulói mérésenként is elvégezhető. A módszer kellően pontos eredményre vezet. Mérési elrendezésünk előnye még, hogy a sebességváltozás állandósága miatt ezzel a mérési módszerrel lineáris függvényt vizsgálunk, szemben például azzal az eljárással, amikor egy ejtőzsinór segítségével az út-idő összefüggését tanulmányozzuk. Mivel a kilencedikes évfolyamokban egyre nagyobb kihívást jelent a másodfokú függvények használata, tanár és diák feladatát egyaránt megkönnyíti, ha a jelenség tanulmányozására sebességméréssel is lehetőség nyílik.

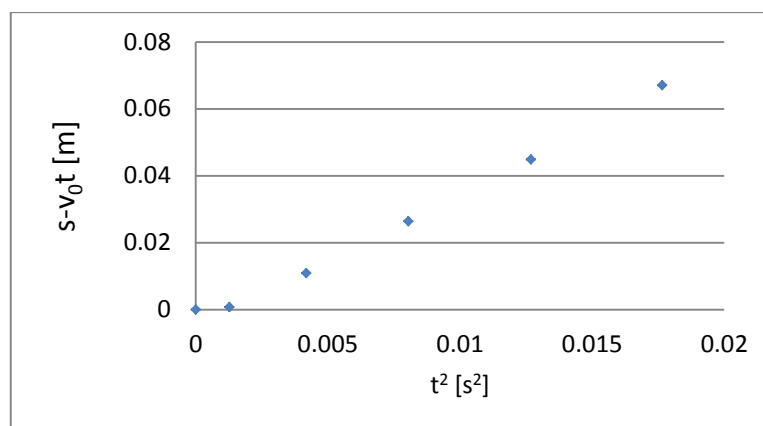
Mérési eredményeink további elemzésére ad lehetőséget az, hogy tudjuk, hogy a vonalzó két sebességmérés között 5cm utat tett meg. Ábrázolva az első sebességmérési ponttól a megtett utat az idő függvényében, a kirajzolódó görbe másodfokú függvénynek tűnik, amint ezt a 33. ábra is mutatja. A polinomillesztés egyenletében szereplő főegyüttható kétszerese a gravitációs gyorsulás értékét mutatja, melyre így  $g = 9,83 \frac{m}{s^2}$  adódik.



33. ábra Gravitációs gyorsulás mérése ejtőlétrával: út-idő grafikon

Az illesztés pontosságának ellenére fontos, hogy a megsejtett összefüggést linearizálás segítségével is meg tudjuk erősíteni, ehhez pedig a négyzetes úttörvény pontos ismerete szükséges. A feladat megoldása azért is érdekes lehet, mert az ejtőlétra alkalmazásánál az első sebességmérés pillanatában már van sebessége az eső testnek, és itt már figyelembe kell venni a mérés elemzésekor, hogy elrendezésünkkel nem pillanatnyi sebességet mérünk, hanem az egyes sötét sávok áthaladásához szükséges időtartamhoz rendelhető átlagsebességet. Az  $s = v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2$  négyzetes úttörvény átalakítása után, amennyiben az  $(s - v_0 \cdot t) \cdot 2$  mennyiséget ábrázoljuk  $t^2$  függvényében, a kapott egyenes meredeksége a gyorsulás értékét adja.

Amennyiben az adatfeldolgozás során az első mért sebességértéket vesszük kezdősebességnek, a kapott egyenes ellentmondásra vezet. Amint azt a 34. ábra is mutatja, ebben az esetben az első pont kivételével tendenciózus eltérést kapunk, ami azt jelzi, hogy a mérés kezdetén a kezdősebesség valójában kevesebb volt.



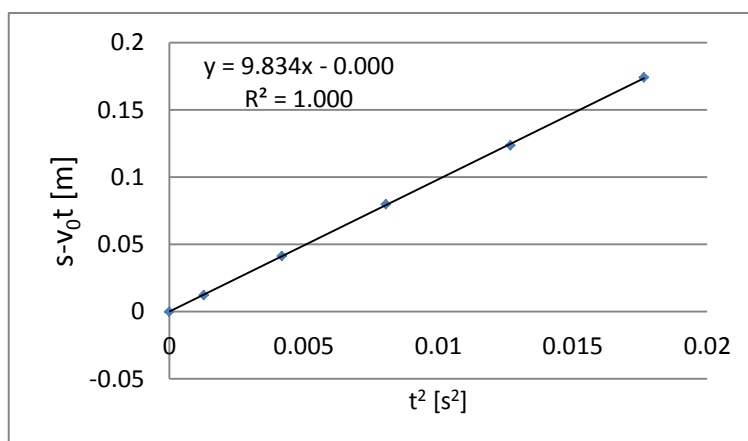
34. ábra Szabadesés vizsgálata: az út-idő összefüggés linearizálásának eredménye abban az esetben, ha nem vesszük figyelembe, hogy sebességmérésünk nem pillanatnyi sebességet, hanem átlagsebességet eredményez

A négyzetes úttörvény linearizálásához érdemes az előző grafikonok alapján meghatározni a lehetséges kezdősebességet, és ezzel módosítani a táblázatot (2. táblázat) és a grafikont is.

Time [s]	Measuring time [s]	Speed [m/s]	s [m]	t*t [s <sup>2</sup> ]	v <sub>0</sub> *t	(s-v <sub>0</sub> *t)*2
11.441	0.000	1.378	0.000	0.000	0.000	0.000
11.477	0.036	1.743	0.050	0.001	0.044	0.012
11.506	0.065	2.006	0.100	0.004	0.079	0.041
11.531	0.090	2.264	0.150	0.008	0.110	0.080
11.554	0.113	2.563	0.200	0.013	0.138	0.124
11.574	0.133	2.649	0.250	0.018	0.163	0.174
		v <sub>0</sub>				
		1.227				

2. táblázat: Gravitációs gyorsulás mérése ejtőlétrával: a mérési eredmények feldolgozása során készített táblázat (A szürkével kiemelt mezők adatai a mérőprogramból származnak.)

A módosítások eredményeként kapott egyenes meredeksége lesz a gyorsulás értéke, amelyre így  $g = 9,83 \frac{m}{s^2}$  adódik.



35. ábra: Nehézségi gyorsulás tanulmányozása: az út-idő függvény linearizálásával a g-re kapott érték  $9,83m/s^2$

### 5.1.1.3 Ütközések vizsgálata

A saját tervezésű fotokapu alkalmazásával elegendően pontosan tudunk sebességet mérni ahhoz, hogy a hagyományosan légpárnás pályára tervezett ütközékes kísérleteket alumíniumsíneken mozgó kiskocsikkal végezhessük el. A légpárnás pálya természetesen kisebb súrlódási veszteséget okoz, így az energia- és lendületmegmaradás jobban teljesül alkalmazásával. Ugyanakkor az iskolákban kevesebb ilyen eszköz áll rendelkezésre, illetve hosszadalmas előkészítést igényel az alkalmazásuk. Indokolt tehát egy olyan alternatív megoldás, ami elegendően pontos mérést biztosít, ugyanakkor a tanárok számára



könnyebben alkalmazható, illetve a nagyobb számban rendelkezésre álló eszközök (sínek, kiskocsik) miatt a tanulói mérések számára is utat nyithat. Tehetséggondozó szakkörünk keretében tanulói mérésként vizsgálták a diákok a jelenséget, miközben párosával dolgoztak. A következőkben közölt mérési eredmények a tanulók mérései. Ezek tanúsítják, hogy rendszerünk alkalmazásával könnyen és pontosan tudnak dolgozni a diákok.

Mérésünk célja az volt, hogy megvizsgáljuk, hogyan változik a kiskocsik sebessége rugalmas, illetve rugalmatlan ütközések során. Kilencedikes tanulóink nem ismerték még a lendület fogalmát, amikor elkezdték a munkát, feladatuk tehát a strukturált vizsgálatok közé tartozott (ismerték a mérés eszközeit és az eljárást is, ugyanakkor nem ismerték a várható eredményt). A tanári célkitűzés az, hogy a diákok felfedezzék a lendület fogalmát és a lendületmegmaradás törvényét.



36. ábra Tanulók mérés közben: a lendületmegmaradás törvényének vizsgálata ütköző kiskocsik segítségével

A mérés során felhasznált eszközök: számítógép és Edaq530, két fotokapu, alumíniumsín, kiskocsik papírzászlóval, laprugók, illetve gyurma és tű a rugalmas és a rugalmatlan ütközések megvalósításához.

A tanulók a rugalmas ütközések tanulmányozásakor figyelték a kiskocsik ütközés előtti és ütközés utáni sebességeit, valamint a tömegeket. Első kísérletükben rugalmas ütközéseket vizsgáltak. A kísérletek szempontjából nem volt fontos a kocsi pontos tömege, ezért az önkényesen választott  $m$ , illetve  $2m$  egységet használták. Először álló kocsinak ütköztették a mozgót, majd két mozgó kocsi használtak. Táblázatban rögzítették mérési eredményeiket, és azt vizsgálták, hogyan változnak az ütközés során a sebességek. Megfigyelték az  $mv$  szorzat állandóságát [T2.], [E11.]. (Mivel valódi mérésről van szó, a lendületváltozások összege nem pontosan 0 lett, de a mérés pontossága elfogadható a törvény igazolásához.)

	1. kiskocsi					2. kiskocsi					
	m [*]	v <sub>e</sub> $\left[\frac{m}{s}\right]$	v <sub>u</sub> $\left[\frac{m}{s}\right]$	Δv $\left[\frac{m}{s}\right]$	ΔI [**]	m [*]	v <sub>e</sub> $\left[\frac{m}{s}\right]$	v <sub>u</sub> $\left[\frac{m}{s}\right]$	Δv $\left[\frac{m}{s}\right]$	ΔI [**]	Σ Δ I [**]
<b>rugalmas ütközés</b>	1	1.696	0.847	-0.849	-0.849	1	0	0.847	0.847	0.847	-0.002
	1	1.689	0.831	-0.858	-0.858	1	0	0.831	0.831	0.831	-0.027
	1	1.398	0.678	-0.72	-0.72	1	0	0.678	0.678	0.678	-0.042
	1	1.114	0.42	-0.694	-0.694	2	0	0.42	0.42	0.84	0.146
	1	0.829	0.276	-0.553	-0.553	2	0	0.276	0.276	0.552	-0.001
	2	0.985	0.554	-0.431	-0.862	1	0	0.554	0.554	0.554	-0.308
	2	0.847	0.666	-0.181	-0.362	1	0	0.666	0.666	0.666	0.304

3. táblázat Azonos tömegű kiskocsik ütközésének vizsgálata. Az első kiskocsi áll, amikor nekiütközik a második kiskocsi. Az utolsó oszlopban a lendületváltozások összege látható. (\*, \*\*: A kiskocsik tömegét egységnyiinek vettük, így a tömeg önkényes egységben, a lendület tömegegységszer méter/másodpercben értendő.) (Horváth Róbert mérése)

A munkához használt táblázatban nem adtuk meg előre a lendületek rögzítésére használt oszlopot. Először fel kellett fedezniük, hogy nem elegendő önmagában a sebesség arra, hogy jellemezzék az ütközéseket, hanem a kiskocsik tömegének is fontos szerepe van.

Tanulóink kíváncsiak lettek, mi a helyzet rugalmatlan ütközések esetén. Ennek vizsgálatához gyurmát és gombostűt erősítettünk a kiskocsikra. A következő táblázatban olyan mérési eredmények láthatóak, melyek igazolják, hogy az  $m \cdot v$  mennyiségek összegének állandósága rugalmatlan ütközések esetén is teljesül. Szakkörös tanulóink saját méréseik alapján fedezték fel tehát a lendület fogalmát és a lendületmegmaradás törvényét.

	1. kiskocsi					2. kiskocsi					
	m [*]	v <sub>e</sub> $\left[\frac{m}{s}\right]$	v <sub>u</sub> $\left[\frac{m}{s}\right]$	Δv $\left[\frac{m}{s}\right]$	ΔI [**]	m [*]	v <sub>e</sub> $\left[\frac{m}{s}\right]$	v <sub>u</sub> $\left[\frac{m}{s}\right]$	Δv $\left[\frac{m}{s}\right]$	ΔI [**]	ΣΔI [**]
<b>rugalmatlan ütközés</b>	m	0.896	0.374	-0.522	-0.522	m	0	0.374	0.374	0.374	-0.148
	m	1.216	0.472	-0.744	-0.744	m	0	0.472	0.472	0.472	-0.272
	m	0.827	0.508	-0.319	-0.319	m	0	0.508	0.508	0.508	0.189
	2m	0.9	0.497	-0.403	-0.806	m	0	0.497	0.497	0.497	-0.309
	2m	0.902	0.477	-0.425	-0.85	m	0	0.477	0.477	0.477	-0.373
	2m	0.901	0.549	-0.352	-0.704	m	0	0.549	0.549	0.549	-0.16

4. táblázat Az első sorozatban az ütközés előtt álló és a mozgó kiskocsi tömege azonos volt, a második sorozatban az ütközés előtt mozgó kiskocsi tömege kétszeres az álló kocsihoz képest. (\*, \*\*: A kiskocsik tömegét egységnyiinek vettük, így a tömeg önkényes egységben, a lendület tömegegységszer méter/másodpercben értendő.) (Nemes Ágnes mérése)

Az első továbbképzésünkön részt vevő Tóth Károly tanár úr (SZTE Ságvári Endre Gyakorlógimnázium) frontális osztálymunka keretében is alkalmazza az Edaq530-at a lendületmegmaradás törvényének tanításakor. A megszokott fotokapus mérési elrendezést

használva, de az Edaq segítségével mérve az időt és a sebességet, mérési eredményeit egy előre elkészített Excel-táblázatba importálja, így sokkal rövidebb idő alatt (akár tanórai keretek között) tudja méréssel és számolással igazolni a törvényt. A 5. táblázat mutatja tanórai eredményeit, melyekből az is kiolvasható, hogy rugalmatlan ütközés esetén nem teljesül az energiamegmaradás törvénye.

Teljesen rugalmatlan ütközés (B áll)							
Csatorna A	U [V]					A test	
Idő [s]	Periódusi dő [s]	Sebesség [m/s]	Tömeg [kg]	I [kgm/s]	E [J]	$\Delta I$ [kgm/s]	Eltérés[%]
2.0348		0.5985	0.0990	0.0593	0.0177		
		0.2999	0.0990	0.0297	0.0045	0.0296	
							3.5308
						B test	
Csatorna C	U [V]						
Idő [s]	Periódusi dő [s]	Sebesség [m/s]	Tömeg[kg]	I [kgm/s]	E [J]	$\Delta I$ [kgm/s]	
2.2747		0.2999	0.0952	0.0000	0.0000		
2.6947		0.26	0.0952	0.0286	0.0043	0.0286	
					Energia ütközés előtt [J]	Energia ütközés után [J]	
					0.0177	0.0087	
							-50.7415

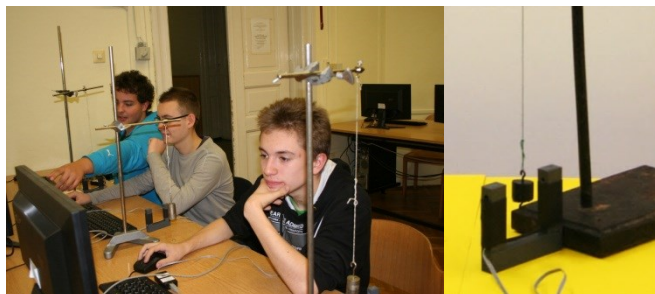
5. táblázat Tóth Károly fizikatanár által készített táblázat a lendületmegmaradás tanórai tanításához

Megállapíthatjuk tehát, hogy a mérési elrendezés és a program alkalmas arra, hogy a tanórai keretek között, kevés idő alatt is használjuk, így kisebb óraszámokban fizikát tanuló osztályokban is igazolhatjuk mérőkísérlettel a megtanítandó összefüggéseket. Elrendezésünk az IBL-módszer alkalmazásával önálló tanulói mérések elvégzését is lehetővé teszi [E6.], [E8.]. Az összefüggések önálló felfedezése pedig mélyebb megértést és maradandóbb tudást eredményez.

#### 5.1.1.4 Ingamozgás tanulmányozása:

Kilencedikes tanulóink az energia fogalmát már ismerték, de a periodikus mozgások közül még csak a körmozgással találkoztak tanulmányaik során akkor, amikor szakkörön először foglalkoztunk ingával. Az eddig ismeretlen eszköz viselkedésének felderítésében a tanulók a már ismert mérőeszközön kívül nem kaptak utasításokat, és nem ismerték azt sem, milyen eredmény várható vizsgálataik végén. A szituáció tipikus nyílt végű kutatási helyzet volt, az IBL magasabb szintű megvalósulása: a mérőprogram mellett fotokapu, egy állvány, fonalak és súlysorozat állt a tanulók rendelkezésére, feladatuk pedig

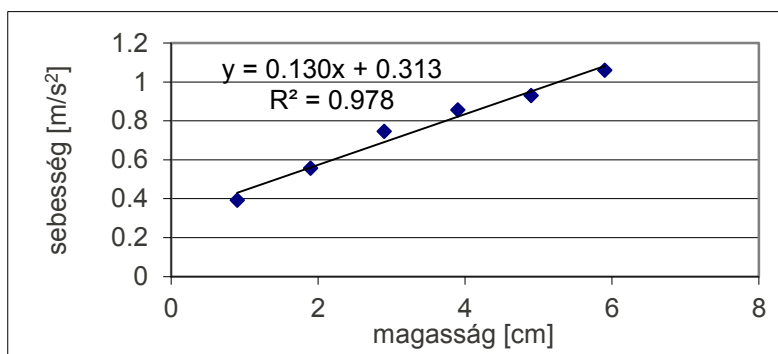
az volt, derítsenek ki minél több információt a fonálingáról. A tanulók első ötlete az volt, vizsgáljuk meg, hogyan befolyásolja az indítás magassága a legalsó ponton mérhető pillanatnyi sebességet.



37. ábra Tanulók vizsgálják a matematikai inga mozgását; a fotokapu és az inga

Ekkor még nem ismerték a helyzeti energia fogalmát. Méréseik eredményeként megállapították, hogy az indítási magasság növelésével növekszik a sebesség, és azt is láttuk, hogy ez az összefüggés nem lineáris. Az adatelemzési, adatfeldolgozási módszerek tanítása valós kutatási helyzetben, ezáltal erősen motivált állapotban hatékony lehet, mélyebben rögzült tudást eredményez.

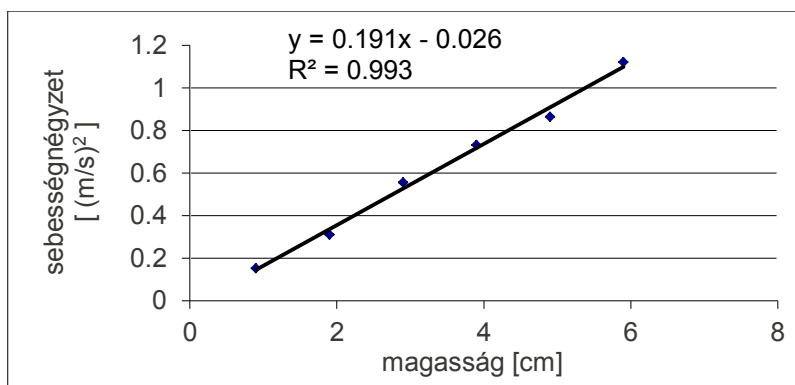
A tanulóknak valóban szükségük volt a táblázatkezelésen túl beépített függvények használatára is ahhoz, hogy választ kaphassanak az inga mozgásával kapcsolatos kérdéseikre, igazolhassák feltételezéseik helyességét, elvethessék az esetleges helytelen hipotéziseket. Ennél a mérésnél gyakorlati tapasztalatra tettek szert a linearizálás szerepének fontosságában is, hiszen a megsejtett összefüggés igazolását csak akkor fogadtuk el, ha a megfelelő transzformáció után kellően pontosan sikerült a grafikonon az egyenes illesztése is.



38. ábra Az inga alsó pontján mért sebesség az indítási magasság függvényében. A pontok elhelyezkedéséből gyökfüggvényre gondoltak a diákok, ezért megvizsgálták az indítási magasság és a sebesség négyzetének kapcsolatát

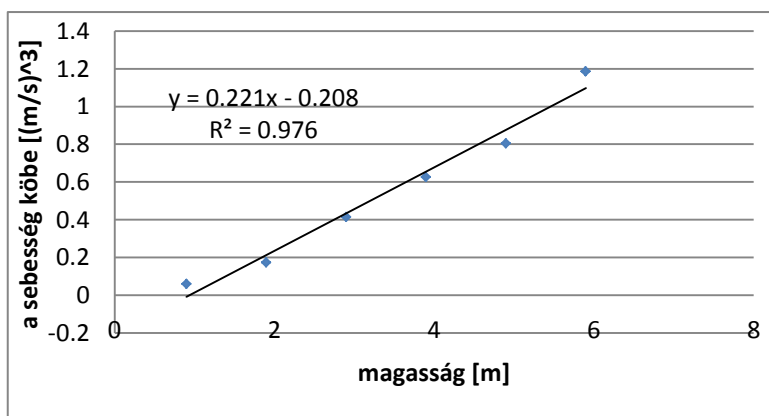
A 38. ábra mutatja, hogyan változik az inga alsó pontján a nehezék sebessége az indítás magasságának függvényében. A csoport több tagja jutott arra a következtetésre,

hogyan van valamilyen összefüggés a vizsgált mennyiségek között, de az nem lehet egyenes arányosság. Vizsgálatuk további lépéseként egyenest illesztettek a grafikonokra, és tendenciózus eltérést tapasztaltak. Az a sejtés fogalmazódott meg, hogy a kapott függvény leginkább gyökfüggvényre emlékeztet. Ennek igazolására a sebességértékek négyzetét ábrázolták az indítás magasságának függvényében, amint azt a 39. ábra mutatja. Az így kapott görbe már egyenesnek tűnt, az egyenesillesztés is pontosabb lett.



39. ábra Az inga alsó pontján mért sebességének négyzete az indítási magasság függvényében. (Az illesztett egyenes az origóba tart. Látható az egyenes arányosság a vizsgált mennyiségek között, azaz a  $h \sim v^2$  arányosság.)

A kutatásalapú megközelítéshez az is hozzátartozik, hogy amikor felmerül a kérdés, hogy esetleg nem a sebesség négyzetét, hanem annak köbét kellene vizsgálni az indítási magasság függvényében, akkor ezt az esetet is megvizsgáljuk (40. ábra). Megfigyelhető, hogy ebben az esetben ismét kevésbé pontos az egyenesillesztés.



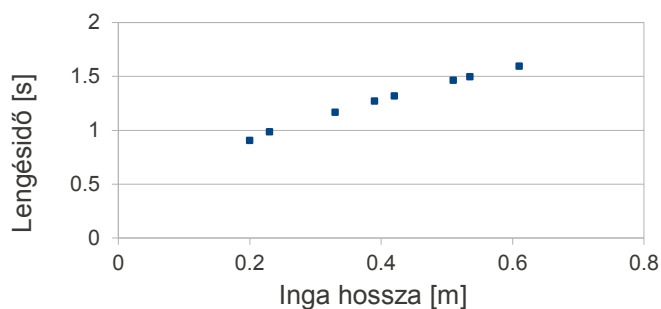
40. ábra: Fonálinga esetén a pálya alsó pontján mért sebesség köbének függése az indítási magasságtól

Tapasztalatunk tehát az, hogy fonálinga esetén az indítás magassága és a pálya alsó pontján mért pillanatnyi sebesség négyzete között tapasztalható egyenes arányosság. Tulajdonképpen a mechanikai energia megmaradásának egy speciális esetét igazolták a diákok, hiszen mérési elrendezésükben a helyzeti energia alakul át mozgási energiává. A

foglalkozás eredeti célja ebben a csoportban ekkor még nem az energiafogalom tanulmányozása volt, és egy teljes foglalkozást kitöltött a tanulók vizsgálata. A teljes tanév távlatából tekintve viszont „előre dolgoztak” kicsit a diákok, hiszen egy későbbi anyagrészhöz tartozó jelenségeket tanulmányoztak alaposan. Abban az esetben, ha van rá lehetőség, hogy átrendezzük kicsit a haladási sorrendet, a belső tanulói motiváció megerősítése (azt tanuljuk, amire mi vagyunk kíváncsiak) indokolhatja ezt a lépést. Mindez azzal a következménnyel is jár, hogy az is előfordul, hogy a diákok nem a megszokott kísérleti repertoárral igazolnak összefüggéseket, de végül „ugyanahhoz a fizikához” jutunk el, és közben valódi kis tudósként, lelkesen kutatnak tanulóink [E13.].

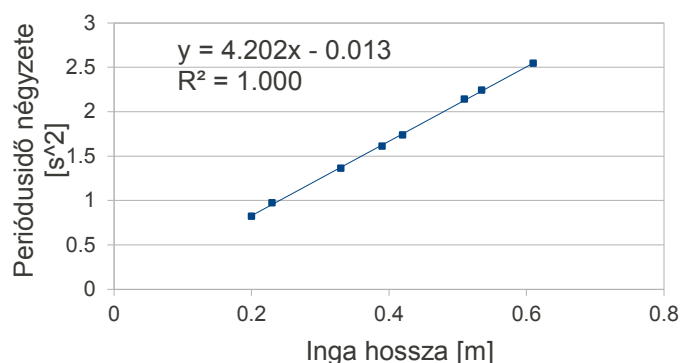
Mérőprogramunk sebességszámoló paneljén található egy periódusidő-oszlop is. A diákok megfigyelték, hogy az indítási magasság nem befolyásolja a periódusidőt, így felvetődött az a kérdés is, amit tanárként elsősorban vizsgáltatni szerettem volna: mitől függ a lengés periódusideje? Ennek vizsgálata előtt a mérési elvek alapján részletesen megbeszéltük, hogy a program az inga félperiódusát látja periódusidőként. (A fotokapu azt érzékeli, amikor elhalad előtte az ingatest, azt nem, melyik irányból érkezik.)

Ezek után saját ötleteik alapján vizsgálhatták a gyerekek, mitől függ az inga lengésideje. A tanulók önálló kutatómunkába kezdtek, és mérték, milyen tényezők hogyan befolyásolják a lengésidőt. Ötleteik alapján vizsgálhatták a hossz és a tömeg szerepét is.



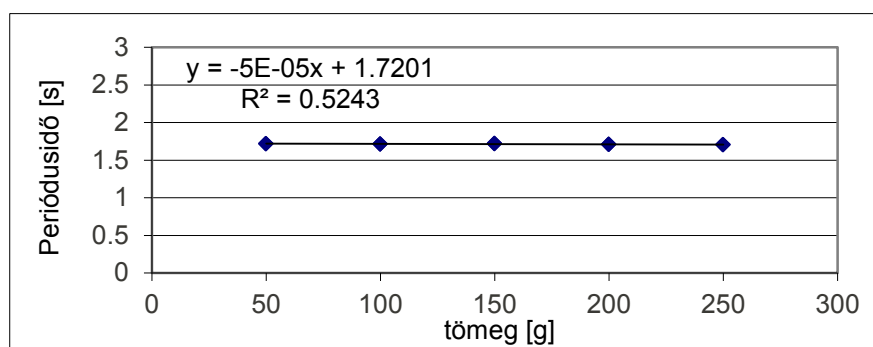
41. ábra Az inga lengésideje az inga hosszának függvényében (Bindics Blanka mérése)

A 41. ábra mutatja a tanulói mérés eredményét: hogyan befolyásolja az inga hossza a lengésidőt. A mérési eredmények alapján a tanuló a gyökfüggvényre gondolt, ezért ábrázolta a lengésidő négyzetét az ingahossz függvényében. Eredményét a 42. ábra mutatja. Megállapította tehát, hogy a periódusidő az inga hosszának négyzetgyökével áll egyenes arányban.



42. ábra Az inga lengésidejének négyzete egyenes arányt mutat az inga hosszával, amint ezt az illesztett egyenes paraméterei is mutatják (Bindics Blanka mérése)

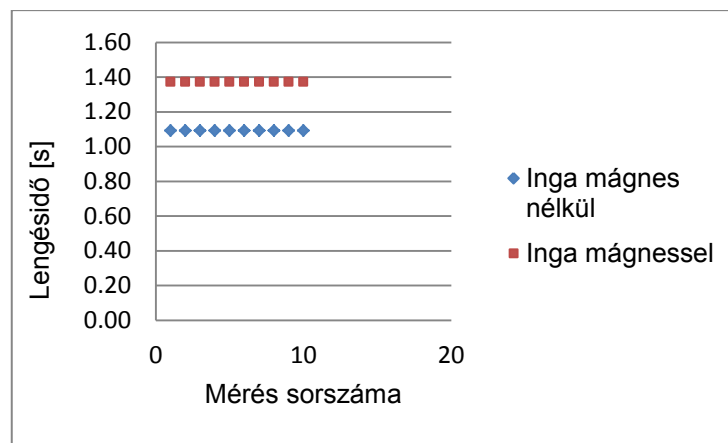
A kutatásalapú tanulásnak fontos eleme az is, hogy tegyük lehetővé a diákoknak, hogy minél több ötletüket megvizsgálhassák. Amikor felvetették a lengésidő és az ingatest tömege közötti kapcsolatot, természetes volt, hogy mérésekkel vizsgálhatták meg, van-e összefüggés. A 43. ábra mutatja, hogy a diákoknak nem sikerült kapcsolatot kimutatni a periódusidő és a tömeg között (ahogyan ezt egyébként el is várjuk).



43. ábra Az inga lengésideje nem mutat összefüggést az inga tömegével (gyakorlatilag a tömeg-tengellyel párhuzamos egyenest kaptunk) (Horváth Róbert mérése)

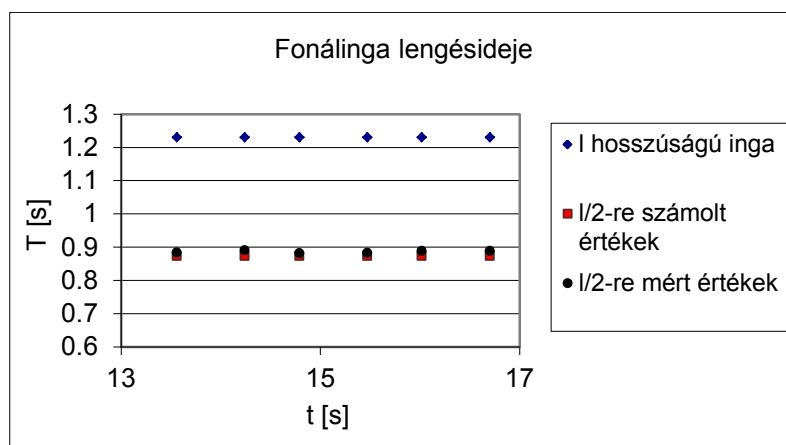
Az illeszkedés minőségét jellemző korrelációs együttható értéke jóval kisebb egynél, ennek oka jelen esetben azonban az, hogy a kapott lineáris függvény gyakorlatilag egy konstans.

Annak kimutatására, hogy az ingára ható erők eredője befolyással van-e a lengésidőre, vasból készült súlyt használtak ingaként, és lebegő pörgettyűhöz használatos, erős mágnes segítségével változtatták meg az ingára ható erők eredőjét. Ez az elrendezés azért is volt praktikus, mert a mágneslapot könnyen be lehetett helyezni a fotokapu alá, mágnes nélküli méréskor pedig könyvvel lehetett helyettesíteni, így a mérés pontosságát kevésbé befolyásolta a mérési elrendezés esetlegesen pontatlan beállítása. A mérés eredményét a 44. ábra mutatja. A tanuló arra a megállapításra jutott, hogy a lengésidő és az ingára ható erők eredője között lennie kell valamilyen kapcsolatnak.



44. ábra Erős mágnes hatása a vasból készített matematikai ingára (Kosztándi Gergő mérése)

A mérések pontosságának elemzéséhez készítettünk egy olyan mérést is, ahol az eredeti ingahosszhoz tartozó periódusidőből kiszámítottuk a fele akkora hosszhoz tartozó lengésidőt, majd meg is mértük ezt. A 45. ábra szemlélteti eredményünket.



45. ábra Az ingahossz szerepének vizsgálata

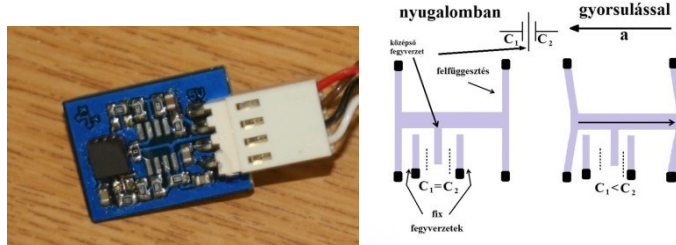
Ha nem is sikerült teljes egészében megalkotunk a  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  összefüggést, azért megtapasztaltuk, hogy az inga lengésideje nem függ a tölegetől, az amplitúdótól (kis kitérések esetén), függ viszont az inga hosszától, méghozzá annak négyzetgyökétől, illetve az ingára ható erők eredőjétől. Az ingamozgás tanulmányozása kifejezetten alkalmas a kutatásalapú tanulásra. Aránylag egyszerűen összeállítható eszköz (akár csoportmunkához elegendő számban is), ugyanakkor a kutakodásban több „zsákutca” is előfordul, ami hozzásegíti a tanulókat ahhoz, hogy valóban kis kutatóként éljék meg vizsgálataikat, és a sikerélmény is biztosított, ami a további kísérletek szempontjából fontos.



### 5.1.2 REZGŐMOZGÁS VIZSGÁLATA GYORSULÁSSZENZORRAL

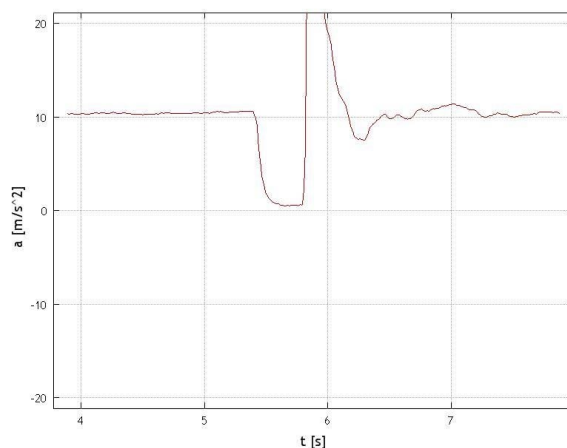
A harmonikus rezgőmozgás témaköre komoly kihívást jelent, ha nem matematika tagozatos diákokat tanítunk. Ideális a helyzet, ha rendelkezésre áll a szertárban olyan összeállítás, amelynek segítségével párhuzamot tudunk vonni az egyenletes körmozgás és a harmonikus rezgőmozgás között, de sajnos ez meglehetősen ritka. A vetületek képzése és a párhuzam felállítása így általában rajzon, jó esetben animáción, filmen valósul meg, kevés a megtapasztalt jelenség. Gyorsulásszenzorok alkalmazása segíthet a jelenség megértésében, annak elfogadásában, hogy a mozgás során a gyorsulás folyamatosan változik, és a változás jellege szinuszos. A gyorsulásszenzort könnyen és gyorsan tudjuk kalibrálni, így mérés közben a grafikonon valóban a gyorsulás értékét láthatjuk. Ugyanakkor a mérés megkezdése előtt komoly kihívás megértetni a diákokkal, mit is mér pontosan a gyorsulásszenzor.

Az általunk használt érzékelők működésének alapja a kapacitásváltozás. Gyorsulás hatására a fésűs elrendezésű kondenzátorok szabadon elmozduló fegyverzeteinek relatív helyzete, ezáltal a kondenzátor kapacitása megváltozik, ahogyan azt a 46. ábra mutatja [72].



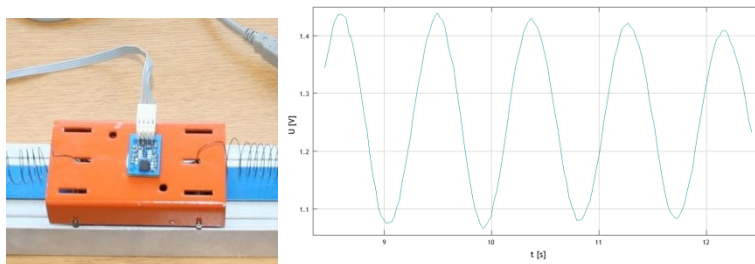
46. ábra A gyorsulásszenzor és működésének alapja [72]

A fegyverzetek elhelyezkedéséből az is következik, hogy az álló szenzor függőleges tengelyének irányában  $g$  értékét jelzi (sok helyen éppen ezért  $g$ -mérőnek is nevezik is a gyorsulásszenzorokat), szabadesés közben pedig 0 értéket mutat, mert a szabadon elmozduló fegyverzetek (is) a súlytalanság állapotába kerülnek. A jelenség szemléltethető, ha a gyorsulásszenzort például fém pálcára erősítjük, és mérjük a gyorsulás értékét, miközben a pálcát ejtjük, majd elkapjuk. (A fém pálcát elősegíti azt is, hogy a szenzor elhelyezkedésének iránya ne változzon esés közben.) Ahogyan azt a 47. ábra mutatja, a szabadesés szakaszában a mért gyorsulás 0. (A mérés pontatlanságát a kalibrálás okozza: nyugalmi helyzetben is nagyobb értéket mutat a szenzor, mint a  $g$  értéke.)



47. ábra Szabadesés vizsgálata gyorsulásszenzorral (Csiszár Imre tanár úr mérése)

A gyorsulásszenzor működésének megértése után már nyugodtan használhatjuk azt a rezgések vizsgálatára is. Függőleges síkú rezgések esetén könnyen kapunk szép mérési eredményt, ugyanakkor az elemzés során figyelembe kell venni a gravitációs erőt, illetve a helyzeti energia változását is. Ezért nem célszerű, hogy elsőként a rugóra függesztett test harmonikus rezgését vizsgáljuk. Az ütközéses kísérleteknél már jól bevált kiskocsit laza rugók segítségével csatlakoztathatjuk az alumíniumsín végeihez, és rögzíthetjük rá a gyorsulásszenzort. Ezzel az elrendezéssel, amit a 48. ábra mutat, vízszintes síkú rezgések esetén vizsgálhatjuk a gyorsulás időfüggését, valós időben megjelenített grafikon segítségével. (A 48. ábra azt is szemlélteti, hogy ha valami miatt nincs idő kalibrálni a szenzort, annak feszültségváltozása is szemlélteti a sebességváltozás jellegét.)



48. ábra Rugókhoz csatlakoztatott, alumíniumsínen mozgó kiskocsi, a tetejére rögzített gyorsulásszenzorral, valamint a kiskocsi rezgése közben a szenzor feszültsége az idő függvényében

Rugóra függesztett súly esetén az egyensúlyi helyzetben a rugó nyújtatlan állapotához képest  $y_0$  távolsággal megnyúlik, a rugón függő testre ható nehézségi erő ( $mg$ ) és a rugó által kifejtett erő ( $Dy_0$ ) nagysága megegyezik, irányuk ellentétes. Ezért a koordináta-rendszer origóját az egyensúlyi helyzetben választva, a mozgást ugyanazok az egyenletek írják le, mint a vízszintes síkú rezgőmozgást [73].

$$\sum F_y = m \cdot a_y$$

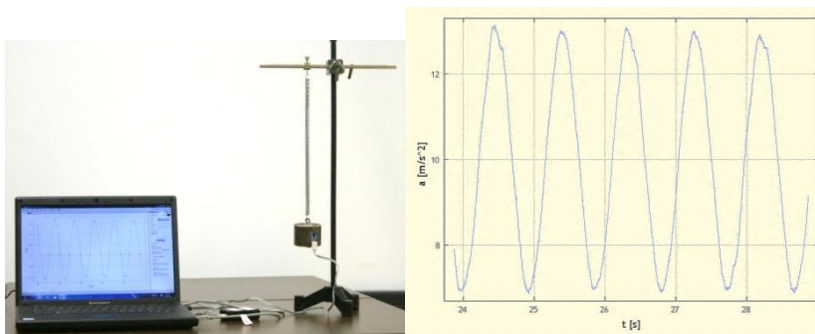
$$D(y_0 - y) - m \cdot g = m \cdot a$$

$$-D \cdot y = m \cdot a$$

Azaz a  $-Dy$  visszatérítő erő megfelel a vízszintes mozgásra érvényes Hooke-törvénynek.

A mérés elvégzéséhez a gyorsulásszenzort egy nagy tömegű (250g) nehezékre erősítjük, amelyet egy rugóra függesztünk. (Az iskolában megszokott 50g-os súlyokkal is elvégezhető a mérés, de ekkor nagyobb lesz a mozgás imbolygása, ami nehezíti a mérés elvégzését.) A megfelelő csatorna kiválasztása és kalibrálás után a monitoron valós időben jelenik meg a test gyorsulásának időbeli változása, amit a 49. ábra mutat [T5].

A gyorsulásértékek változása mellett megfigyelhető még az is, hogy a függőleges síkban elhelyezett szenzor  $g$  értéket mutat akkor, amikor a rezgő test gyorsulása valójában nulla.

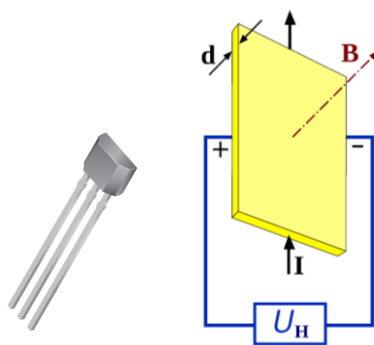


49. ábra Felfüggesztett rugóra erősített nehezék esetén a gyorsulásszenzor által mért értékek

Mérési elrendezésünk egy nehéz és kevésbé népszerű témakör tanításában nyújt demonstrációs lehetőséget. A körmozgás és a rezgőmozgás analógiájának megértetése mellett a trigonometrikus függvények is nehézséget okoznak a tanulók számára. A valós idejű mérés igazolja számukra a gyorsulás-idő függvény alakját, ami tanárt és diákot egyaránt segít abban, hogy a rezgőmozgást leíró  $y(t)$ ,  $v(t)$ ,  $a(t)$  függvényeket megismerjék a tanulók [T7.]. A gyorsulásszenzor működésének megértése is fontos cél lehet a tanítás során, hiszen ezzel egy, a majdnem minden diák zsebében ott lévő eszköz (telefon) működésének megértéséhez is hozzájárulunk, valamint a mindenkit körülvevő digitális eszközök mérési célú felhasználása felé is teszünk egy lépést.

### 5.1.3 FORDULATSZÁM MÉRÉSE HALL-SZENZORRAL

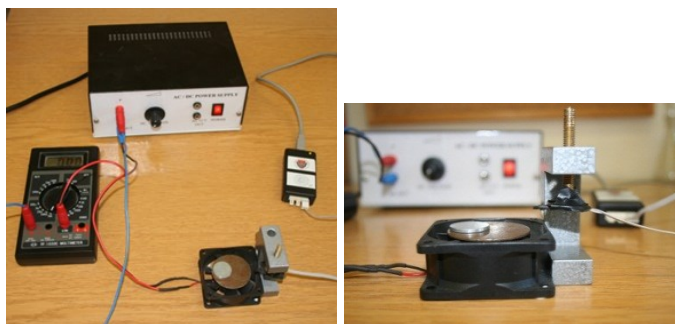
A Hall-szenzor működése a Hall-effektuson alapul. Egy félvezető lapka, melyen áram folyik keresztül; ha síkjára merőleges mágneses mezőbe helyezzük, az áramra merőleges mágneses tér a töltéseket eltéríti, így a lapkán feszültség keletkezik az áram folyására merőlegesen, ez az ún. Hall-feszültség. A Hall-feszültség változásának mértéke egyenesen arányos a mágneses indukció változásának mértékével.



50. ábra A Hall-szenzor és működésének elvi alapja [74]

A Hall-szenzor gyakorlati alkalmazásai között szerepel a távolságmérés, pozícióérzékelés és a fordulatszám-mérés. Utóbbi működését modellezhetjük egy könnyen megvalósítható elrendezéssel: mérhetjük például egy egyenáramú motor fordulatszámát a feszültség függvényében.

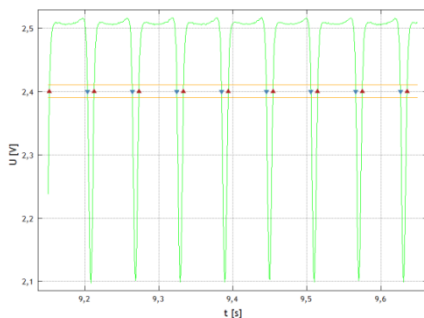
Elrendezésünkben régi számítógépből kiszerelt ventilátorra ragasztottunk egy vaslemezt, erre pedig neodímium-mágnest helyeztünk. Gyurmaragasztóval az asztalhoz rögzítettük a ventilátort, melynek 12V-os egyenáramú motorját egy változtatható tápegységről hajtottuk meg. A Hall-szenzort iskolai állványra ragasztva helyeztük a ventilátor fölé. A motor forgása közben mértük a Hall-feszültséget.



51. ábra Kísérleti összeállítás fordulatszám Hall-szenzorral történő méréséhez

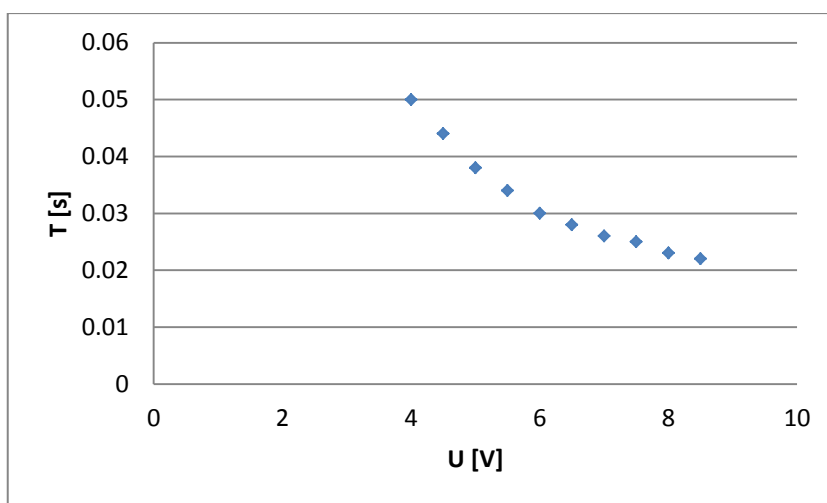
A szintmetszés funkció használatával a körmozgás periódusidejét is meghatározhatjuk. (Az esetleges zajok okozta hiba elkerüléséhez a hiszterézist is alkalmazzuk, lásd a 4.1 fejezetben.) A 52. ábra a mért jelet és a szintmetszést mutatja. Az

egymás utáni azonos irányú szintmetszések közti időt a program kiszámítja, és egy külön táblázatban folyamatosan megjeleníti a periódusidőt.



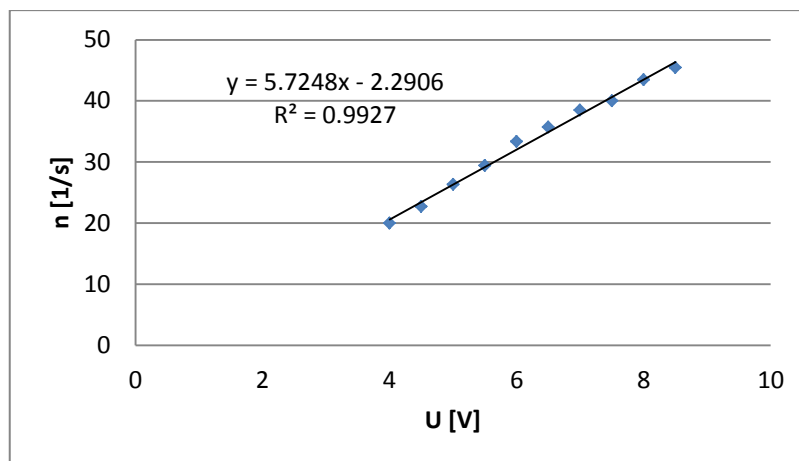
52. ábra A Hall-feszültség értékének változása a motor adott feszültségű üzeme esetén – a szintmetszés funkció segítségével a periódusidő megállapítható

Különböző feszültségek esetén mértük meg a motor fordulatszámát, majd ábrázoltuk a motor forgásának periódusidejét a feszültség függvényében (53. ábra). A grafikon alapján az a sejtés fogalmazódott meg, hogy a vizsgált mennyiségek között fordított arányosság áll fenn. (Az exponenciális függvényt még nem ismerték tanulóink, így az elemzés során nem foglalkoztunk az esetleges exponenciális kapcsolat lehetőségével.)



53. ábra Egyenáramú motor periódusideje a motorra kapcsolt feszültség függvényében (Király Móric mérése)

A fordított arányosság igazolásához a táblázatkezelő program segítségével ábrázoltuk a motor fordulatszámát feszültségének függvényében (54. ábra). A kapott egyenest elfogadtuk az előzőekben megsejtett fordított arányosság igazolására [T2.].

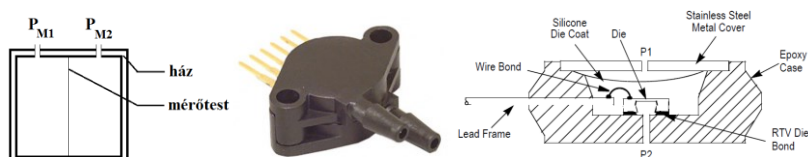


54. ábra Egyenáramú motor fordulatszáma a motorra kapcsolt feszültség függvényében  
(Király Móric mérése)

Mérésünk célja a Hall-szenzor alkalmazási lehetőségeinek megismerésén túl az volt, hogy elmélyítsük a periódusidő és a fordulatszám fogalmát, a közöttük lévő összefüggést. A motorok működésével kapcsolatban érdekes megfigyelés, hogy az induláshoz szükséges minimális feszültség felett a fordulatszám szabályozható a feszültség változtatásával – ez a tapasztalat későbbi tervezőmunka során hasznos lehet. Az adatok feldolgozása pedig segíti a diákokat abban, hogy fejlesszék képességeiket a táblázatkezelő szoftver használatában is.

#### 5.1.4 FOLYADÉK NYOMÁSA ÉS SŰRŰSÉGE; A RELATÍV NYOMÁSSZENZOR ALKALMAZÁSA

A relatív nyomásszenzor működésének alapja a piezorezisztív jelenség: mechanikai feszültség hatására megváltozik a nyomásmérő lap elektromos ellenállása. (A félvezető kristály deformációjának hatására a szabad töltéshordozóknak több vagy kevesebb hely áll rendelkezésükre, ami gyorsabb vagy lassabb áramlást tesz lehetővé, azaz megváltozik a fajlagos ellenállás.) Relatív nyomásszenzor esetén a nyomásérzékeny membrán mindkét oldalán mérendő közeg van, így a membrán deformációját az eredő nyomás határozza meg. A teljes érzékelő hermetikus tokban helyezkedik el, a gáz csöcszonkokon keresztül hat a membránra. A szenzornak két kivezetése van, az ezek közti nyomáskülönbséget méri.



55. ábra Relatív nyomásszenzor és működése [75]

Vízmélység mérésére is használhatjuk eszközünket. Ehhez az egyik csatlakozó csomagra erősítünk átlátszó műanyag csövet, amelynek a szabad végét zárjuk le vékony

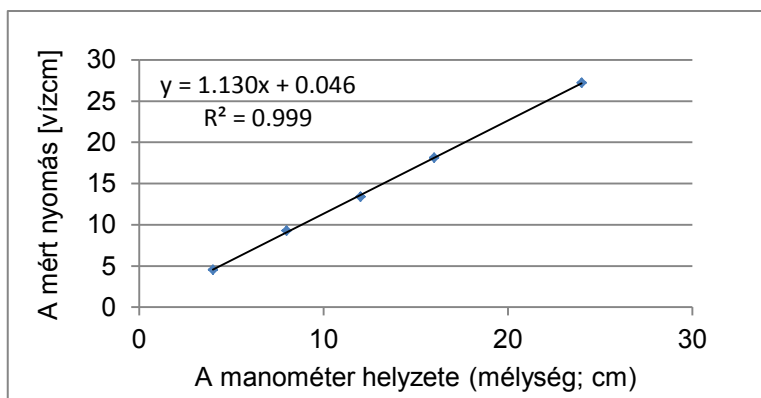
műanyag fólia (Folpack) és szigetelőszalag segítségével. Az eljárással érzékeny és könnyen kezelhető membránt kapunk, a nyomásváltozásokat pontosan, a csőbe befolyó víz görbületi nyomásának befolyása nélkül mérhetjük. A szabadon maradó csonk a levegőben marad, így a légköri nyomáshoz viszonyított többletnyomást mérhetjük az elrendezéssel. A folyadékmélység pontos beállításához érdemes a csövet egy pálcához/üvegbothoz rögzíteni. A vízkiszorításból eredő pontatlanság elkerülhető, ha a merevítőként használt pálcán tűtetjük fel a beosztást. (Mindezt megvalósíthatjuk például 5cm-enként felragasztott szigetelőszalag-csíkokkal is, lásd a képen.)



56. ábra Relatív nyomásszenzor az Edaq 530-hoz csatlakoztatva, az egyik mérőcsonkra benzincsövet csatlakoztattunk, melyet üvegbotra erősítettünk. A szigetelőszalag-csíkok biztosítják a vízszint pontos beállítását.

A második képen: Csiszár Imre tanár úr kalibrálja a relatív nyomásszenzort

A kalibrálás egy lehetséges megoldása, hogy vízcm-ben mérjük a nyomás értékét (ezt a nyomásmértékegységet az orvosi gyakorlatban ma is alkalmazzák). Az ilyen módon kalibrált eszközzel mérhetjük folyadékok sűrűségét is. Ha különböző mélységekben mérjük meg a folyadék (esetünkben sós víz) nyomását, akkor megkaphatjuk a vizsgált folyadék sűrűségét, illetve a mérések eredményei a sűrűségeloszlásra is engednek következtetni. Esetünkben a mélység növelésével egyenes arányban változott a vízcm-ben mért nyomás értéke, ami azt jelenti, hogy a sóoldat koncentrációja állandó volt, és sűrűsége 1,13-szor nagyobb a csapvíz sűrűségénél [T2.].



57. ábra Sós víz nyomása a folyadékszint függvényében (Csiszár Imre tanár úr mérése)

Kalibrálhatjuk a nyomásszenzort SI-egységekre is, ebben az esetben (is) megfigyelhetjük, hogyan függ a folyadékoszlop nyomása a vízoszlop mélységétől. Ebben az esetben is fontos hangsúlyozni, hogy az eszköz a légköri nyomáshoz viszonyított túlnyomást méri, nem pedig az abszolút nyomás értékét az adott helyen. Az átlátszó műanyag csőhöz illesztett hajlított üvegcsövecske segítségével kimutathatjuk azt is, hogy adott vízmélység esetén a nyomás irányfüggetlen.



## 5.2 HŐTANI MÉRÉSEK

Hőtani mérésekhez általában termisztorokat használunk. Az NTC (negative temperature coefficient, negatív hőmérsékleti együtthatójú) termisztorok ellenállása a hőmérséklet növekedésével exponenciálisan csökken. Az NTC ellenállások értéke változik

a hőmérséklettel:  $R_T = R_{25} e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{25}}\right)}$ , ahol  $R_{25}$  a 25°C-os hőmérséklethez tartozó ellenállás,  $B$  a termisztorra jellemző érték (táblázatból kikereshető),  $T$  pedig abszolút hőmérsékletet

jelent. A hőmérséklet a következő formulából számolható:  $T = \frac{1}{a_0 + a_1 \ln \frac{R}{R_{25}}}$ , ahol

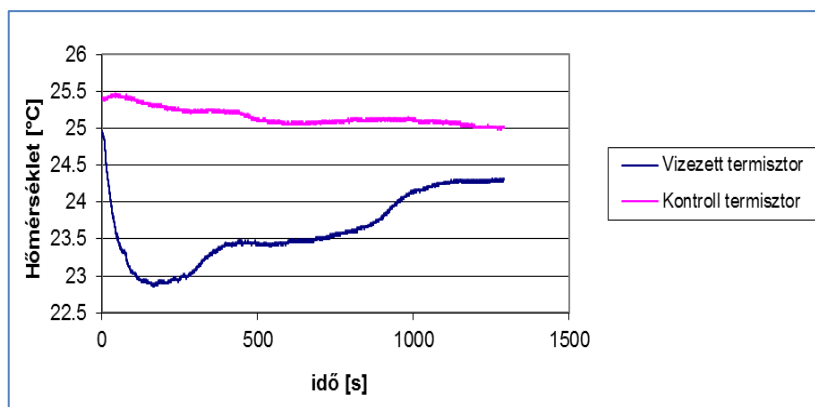
$a_0 = \frac{1}{T_{25}}$  és  $a_1 = \frac{1}{B}$ .  $B$  és  $R_{25}$  az adott termisztorra jellemző értékek, amelyek az adatlapból

tudhatóak meg. Ezek a szenzorok nagy érzékenységek, a mérendő ellenállás kΩ nagyságrendű, így könnyű velük mérni a -40°C-+115°C tartományban. Ilyenek a kereskedelemben készen és olcsón kaphatóak [72].

### 5.2.1 PÁROLGÁS HŐELVONÁSA

A termisztorral való mérés megismeréséhez kiváló lehetőség a párolgás hőelvonásának szemléltetése. Ennél a látszólag nagyon egyszerű mérésnél jól megtanulhatják a diákok, milyen sok tényezőre kell figyelnie a kísérletezőnek, ugyanakkor könnyedén szemléltethetővé válik egy sokszor emlegetett, de ritkán ellenőrzött jelenség.

A kísérlet elvégzéséhez szükségünk van két termisztorra és egy kevés, szobahőmérsékletű vízre. A két termisztorral egyszerre mérjük a hőmérsékletet, majd az egyikre cseppentünk egy csepp szobahőmérsékletű vizet. A vizezett termisztor csökkenő hőmérsékletet jelez (58. ábra), majd, miután elpárolgott róla a víz, visszamelegszik szobahőmérsékletre.



58. ábra Párolgás hőelvonásának szemléltetése termisztorok segítségével

Tanulói mérések során nagyon sok olyan hőmérséklet-idő grafikon készül, amelyeken az egyik vagy a másik, esetleg mindkét termisztor hőmérsékletingadozásokat mutat. Elemezve a mérési körülményeket, ilyen esetekben kiderül, hogy valamilyen, a tanulók által lényegtelennek tűnő behatás érte a termisztort mérés közben: huzat volt, legyezték az eszközt, kinyitották az ablakot. Ez az egyszerű mérés tehát azon túl, hogy alkalmas arra, hogy ténylegesen lássák a diákok, hogy a párolgás hőt von el (hiszen a vizezett termisztor a környezet és a víz hőmérséklete alá hűl), pedagógiai szempontból is fontos tanulságokat hordoz. A körültekintés, a precizitás és az apró részletek szerepe kerül előtérbe, és gyorsan kiderül, ha valaki nem volt elegendően figyelmes. A körültekintő kísérletezés gyakorlata más területeken fellépő problémák elemzése során is hasznos munkamódszert ad a tanulók kezébe [E14.],[E15.].

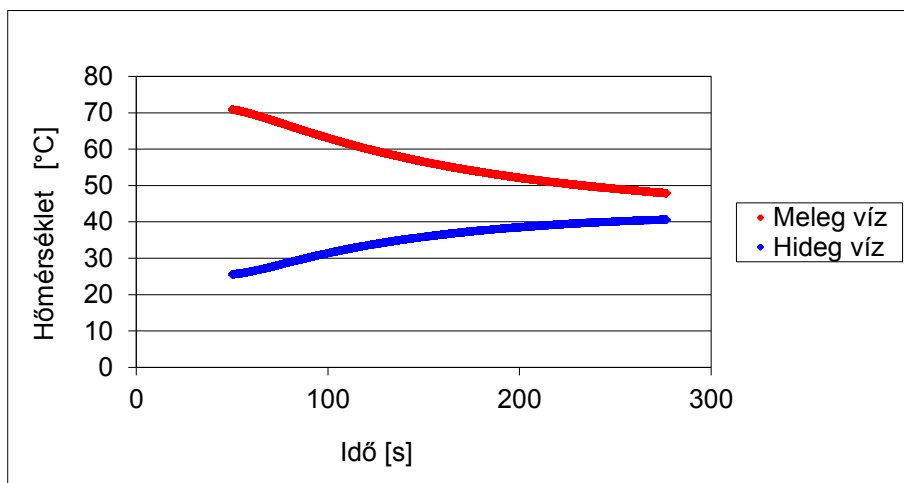
Hőtani méréseknél szintén fontos szempont a mintavételezés beállítása. Lassabb folyamatoknál nem veszünk információt a mintavételi frekvencia alacsonyra választásával, ugyanakkor a későbbi adatfeldolgozás szempontjából fontos, hogy ne legyen feleslegesen sok adatunk. Utóbbi esetben problémánk lehet például az ábrázolásnál, mert a táblázatkezelő programok nem tudnak tetszőlegesen sok adatból grafikont készíteni. A mintavételi tétel pontos ismerete nélkül is tudnak tehát olyan tapasztalatokat szerezni a diákok, amelyek után mérések tervezésekor végig tudják gondolni, hogy ne válasszanak se túl magas, se túl alacsony mintavételi frekvenciát. Ezen tapasztalatok birtokában könnyebben fogják megérteni és pontosan megtanulni a Shannon-féle mintavételi tételt (3. fejezet), amikor már megfelelő matematikai tudásuk lesz hozzá.

## 5.2.2 FOLYADÉKOK KÖZTI HŐKIEGYENLÍTŐDÉS VIZSGÁLATA

A hőterjedés és a hőmérséklet-kiegyenlítődés fogalmát a természettudományos tantárgyak tananyagában több helyen is megtaláljuk: az Apáczai Kiadó 7-8. osztályos

fizika tantervi ajánlásától [76] a Közgazdasági Politechnikum természettudományos kerettantervéig [77], ami indokoltta teszi, hogy lehetőség szerint kísérletekkel is vizsgáljuk ezen jelenségeket. Legegyszerűbb esetként a folyadékok közötti hőmérsékletkiegyenlítődés időbeli vizsgálata valószínűsíthető meg.

A kísérlet analóg hőmérővel elvégezhető változatának leírása megtalálható a Fizikai Kísérletek Gyűjteményében [78], tanulóink ennek a mérésnek a digitalizált változatát hajtották végre. Egymásba helyezhető, különböző méretű főzőpoharakba rögzítették a termisztorokat úgy, hogy azok ne érintkezzenek az edények falával, majd azonos tömegű hideg és meleg vizet töltöttek ezekbe, és a poharakat egymásba helyezték, időközben mindkét pohárban mérték a hőmérsékletet. A mérési eredményeket szemléltető 59. ábra mutatja a hőkiegyenlítődés folyamatának egy részletét.



59. ábra Különböző hőmérsékletű vizet tartalmazó főzőpoharak egymásba helyezése után kialakuló közös hőmérséklet (Varga László mérése)

Az alkalmazott vizsgálati körülmények nem tették lehetővé a környezet befolyásoló hatásainak kiküszöbölését, ezt mutatja az a körülmény, hogy a kialakuló közös hőmérséklet az azonos víztömegek ellenére sem egyezik meg a kezdeti vízhőmérsékletek számtani közepével. A kapott grafikon alakja egyezést mutat a tankönyvekben a hőkiegyenlítődés szemléltetésére használt ábrákkal [79]. Ez azért fontos, mert ha mélyebb matematikai analízisre nincs is lehetőség a közoktatásban, a tanulók számára fontos megerősítést jelent az, ha saját méréseik eredményeként látják viszont a tananyagot – már nem csak azért kell elhinni valamit, mert a tanár azt állítja, hogy igaz, hanem maguk is megtapasztalják a jelenséget [E16.].

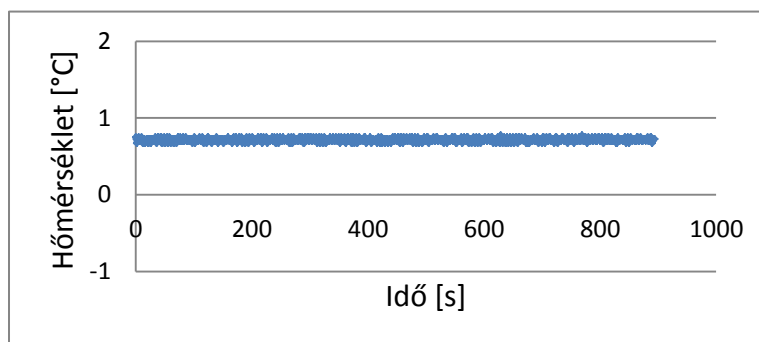
A mérés ilyen formátumú elvégzése azért is fontos lehet a közoktatás számára, mert az OFI által készített fizikatanterv Vízkörnyezetünk fizikája fejezetének fejlesztési

követelményei között szerepel a következő: „A végső hőmérséklet meghatározása különböző halmazállapotú, ill. különböző hőmérsékletű anyagok keverésénél” [80].

Ez a kísérlet (is) szerepel a Szegedi Regionális Természettudományos Diáklaboratórium moduljai között. A partnerintézményeik tanárai gyakran választják ki az általános iskolák tanulói számára, akik sikeresen és lelkesen végzik el a feladatot.

### 5.2.3 HALMAZÁLLAPOT-VÁLTOZÁSOK VIZSGÁLATA

A halmazállapot-változások vizsgálata az általános és a középiskolai tananyagban egyaránt szerepel. A téma általános iskolai tárgyalását érdemes lehet egy nagyon egyszerű motiváló kísérlettel kezdeni. Ehhez tegyünk egy nyitott termoszbba olvadó jeget, és mérjük folyamatosan a hőmérsékletét. A tapasztalat az lesz, hogy olvadás közben nem változik a hőmérséklet (60. ábra). (A mérés akár melegítési lehetőség nélkül is elvégezhető.)



60. ábra Nyitott termoszbba lévő olvadó jég hőmérséklete az idő függvényében

A diákok egy részének előzetes elvárásaival ellentétben a víz-jég keverék hőmérséklete állandó mindaddig, amíg van jég az edényben. Ez az egyszerű összeállítás alkalmas arra, hogy a tanulóknak kétségek ébredjenek előzetes tudásukkal kapcsolatban, ami kedvező tanulási helyzetet teremthet a továbbhaladáshoz.

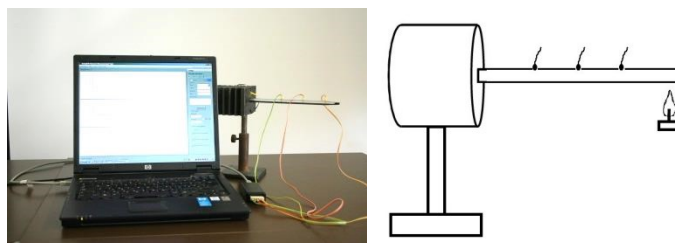
A 60. ábra alapján levonhatnánk azt a következtetést is, hogy a jég olvadáspontja  $0,7^{\circ}\text{C}$ . Mielőtt arra gondolnánk, hogy alkalmazott termisztor nem elegendően pontos, érdemes arra is gondolni, hogy a folyadékos hőmérők alkalmazásánál sem kapunk ennél pontosabb eredményt, legfeljebb „kellő körültekintéssel” olvassuk le a mért értéket. Eredményünk elemzése kiváló lehetőséget nyújt arra, hogy felhívjuk rá a figyelmet, a mérőműszerekről leolvasott értékeket körültekintően kell kezelni, figyelni kell a determinisztikus és a véletlen hibákra is. Azt is figyelembe kell venni, hogy a vizsgálat tárgya csapvíz és a belőle fagyasztott jég volt, így el is várjuk, hogy ne pontosan  $0^{\circ}\text{C}$  legyen az olvadáspontja. A virtuális műszer által kirajzolt hőmérséklet-idő grafikon

legfontosabb tanulsága nem is az olvadáspont pontos meghatározása, hanem annak felismerése, hogy fázisátalakulás közben a víz-jég keverék hőmérséklete állandó.

#### 5.2.4 HŐVEZETÉS VIZSGÁLATA

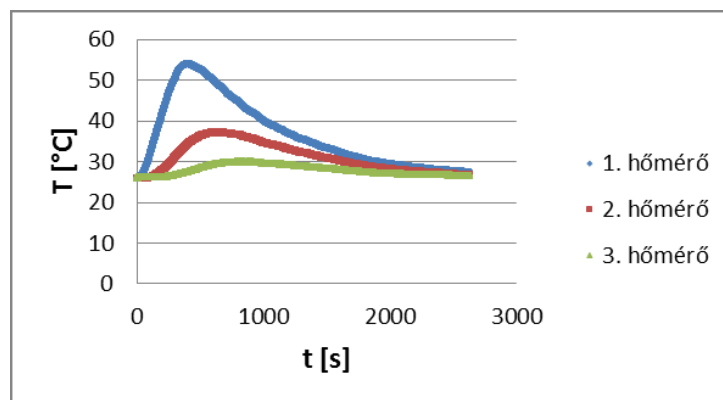
A hővezetés az energia térbeli terjedésének az a formája, amikor a hő az adott közeg magasabb hőmérsékletű részéből úgy áramlik a közeg alacsonyabb hőmérsékletű része felé, hogy közben a közeget alkotó részecskék elmozdulása rendezetlen, nem számottevő. Ez a jelenség figyelhető meg akkor is, amikor egy rúd egyik végét melegítjük, és közben a másik vége is felmelegszik: az energia hővezetéssel jut át a rúd melegebb végéből a másik végébe. Fémek esetén a hővezetés két mechanizmus segítségével történik: a kristálysíkokat alkotó atomtörzsek rezgése és a szabad elektronok diffúziója révén valósul meg [81].

A hétköznapiakból is jól ismert jelenség (például forró levesbe tett fém merőkanál teljes egészében átmelegszik) vizsgálható az Edaq530 használatával is. Vegyünk egy hosszú fémrudat, amelybe egyenletes távolságokban egy-egy termisztort ragasztunk (61. ábra). A környezeti hatások csökkentése érdekében a rúd egyik végére hőtartályként rögzítsünk egy nagyméretű fémdarabot, a másik végét pedig melegítsük nyílt lánggal [T5.].



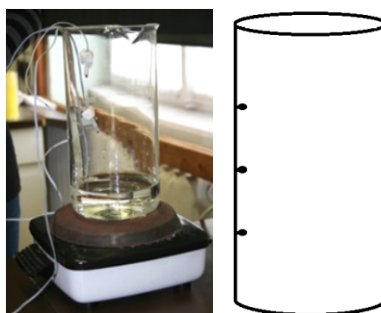
61. ábra A hőterjedés vizsgálatához készített összeállítás fényképe és sematikus ábrája

A termisztorok mindegyikének hőmérsékletét mérjük a melegítés alatt és után. Az eredményekből táblázatkezelő program segítségével készített grafikonon (62. ábra) látható, hogyan változik az egyes pontok hőmérséklete. Megfigyelhető, hogy a hőmérséklet maximuma egyre kisebb, és időben késleltetve jelenik meg, ahogyan a melegítés helyétől távolodunk.



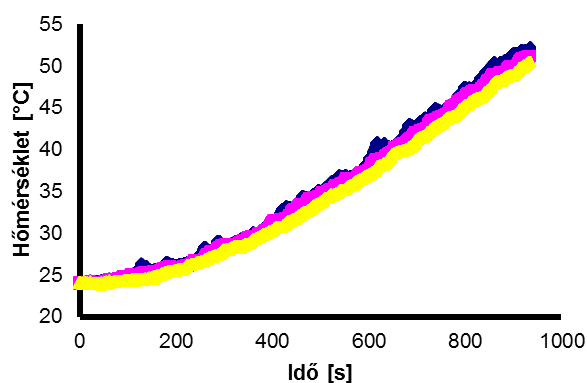
62. ábra: Egy fémrúd három pontjában mérjük folyamatosan a hőmérsékletet, miközben a rúd egyik végét melegítjük, majd magára hagyjuk a rendszert (Szerencsés Szabolcs mérése)

A jelenség vizsgálata közben egyik diákomban felmerült a kérdés, hogyan alakul a hőterjedés a folyadékok esetében. Az IBL-módszer alkalmazását előtérbe helyezve a hallgató azt a feladatot kapta, hogy tervezzen kísérleti elrendezést a kérdés vizsgálatára és elemezze eredményeit.



63. ábra Mérési elrendezés folyadék melegítésének vizsgálatára (Laczkó Alexandra hallgató mérése)

A hallgató nagy méretű főzőpohárban különböző magasságokban rögzített termisztorok (63. ábra) segítségével mérte a főzőlappal melegített víz hőmérsékletét. Az egyes pontokban mért hőmérsékletekben alig látszik különbség (64. ábra).



64. ábra Folyadékoszlop melegítésének vizsgálata, a mérés eredménye (Laczkó Alexandra hallgató mérése)

A tapasztaltak magyarázata: folyadékok esetén a hőterjedés áramlással valósul meg, a felmelegedett közeg sűrűsége megváltozik, és természetes konvekciós áramlás alakul ki, ami sokkal hatásosabb módja a hőterjedésnek, mint a vezetés [73].

Az eredmények megcáfolták a hallgató előzetes tudását, így azon túl, hogy megismerte a jelenség magyarázatát, azt nagyobb eséllyel építette be ismeretrendszerébe is: a fogalmi váltás előfeltétele, hogy a tanulónak elégedetlennek kell lennie előzetes elgondolásával [82].

### 5.3 HŐMÉRSÉKLETMÉRÉS A KÖRNYEZETI NEVELÉSBEN

#### 5.3.1 HŐSZIGETELÉS ÉS HŐMEGTARTÁS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

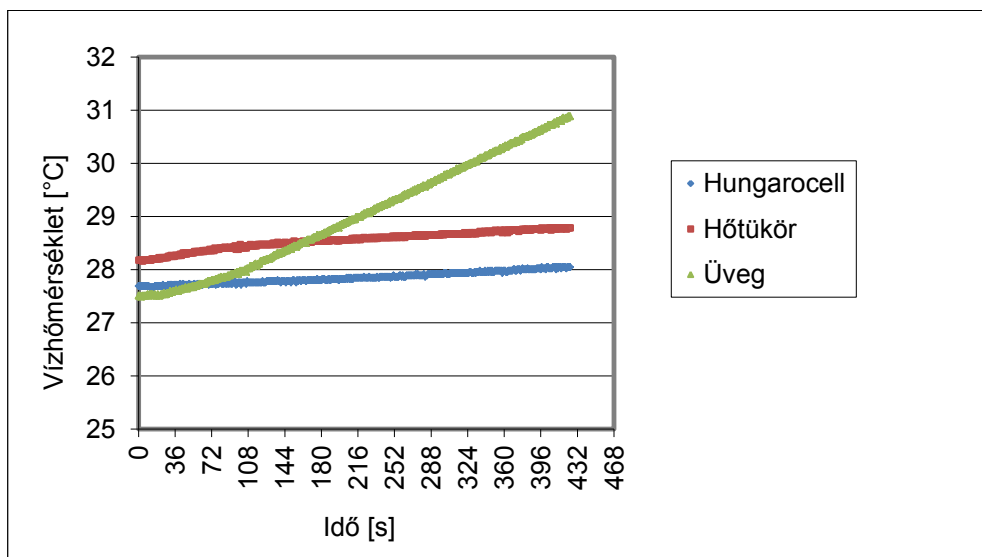
A hőszigetelés témakörében a külső hőszugárzás elleni védelmet és a hőmegtartást érdemes külön vizsgálni. Az építőiparban is más megoldásokat alkalmaznak a házak hőszigetelő rétegeinél kívül és belül.

Továbbképzési beszámolójához Moróné Tapody Éva tanárnő vizsgálta a hőszigetelés kérdését. A méréseihez előkészített üvegeket mutatja a 65. ábra. Egy borítatlan üveg mellett volt egy hungarocellel és egy buborékfóliával bélelt, hőtükör-fóliával borított üvege.



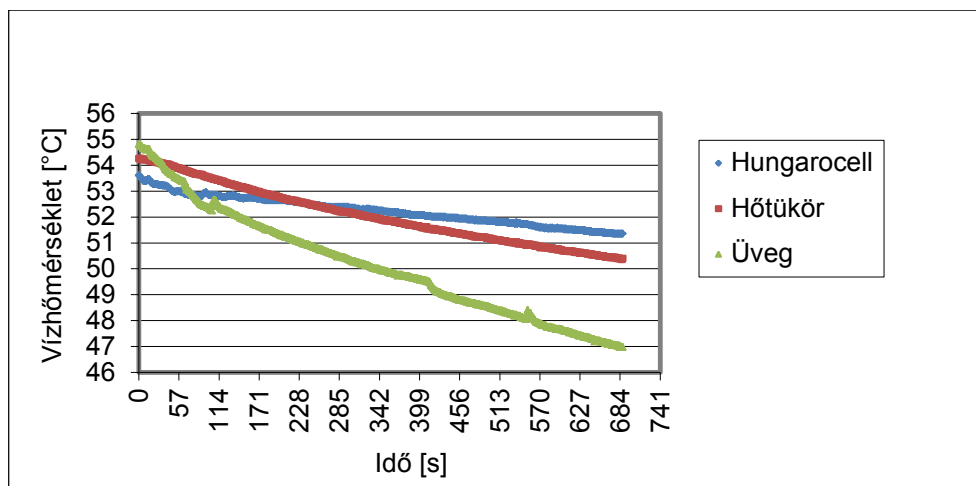
65. ábra Azonos méretű befőttesüvegek különböző borítással a hőszigetelés vizsgálatához (Moróné Tapody Éva tanárnő összeállítása)

Először vizet melegített a három befőttesüvegben, infralámpa segítségével. A 67. ábra első grafikonján látható, hogy a várakozásnak megfelelően a hungarocell és a hőtükör megvédi a belső teret a hőszugárzástól, míg a borítatlan üvegben gyorsabban emelkedik a hőmérséklet.



66. ábra Hőszigetelés vizsgálata (Moróné Tapody Éva tanárnő mérése)





67. ábra Hőmegtartás vizsgálata (Moróné Tapody Éva tanárnő mérése)

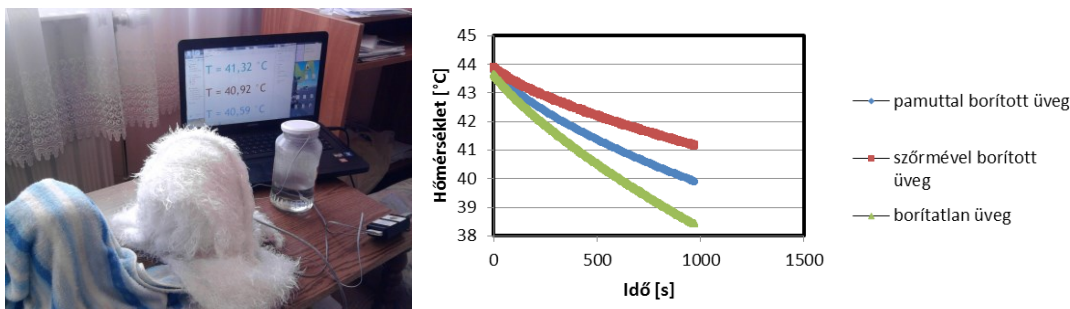
A második esetben meleg víz kihűlését vizsgálta a tanárnő, ugyanazon üvegeket használva méréseihez. A 67. ábra második grafikonján látható, hogy mindkét szigetelőanyag jól megtartja a hőt, míg a szigeteletlen üvegben gyorsan hűl a víz.

Fontos gyakorlati szempont az ilyen típusú mérésekhez, hogy az üvegek átmelegednek, ill. áthűlnek a mérések alatt. Ha egymás után többféle mérést végzünk, másik üveg-garnitúrát érdemes használni, mert így lesz csak azonos a kezdőhőmérséklet.

A mindennapi élet részét képező jelenségek vizsgálatával akkor is érdemes foglalkozni, ha nem teljesen profi berendezések állnak rendelkezésünkre. Kihasználhatjuk a motiváló hatást, illetve megmutathatjuk, hogy a fizika nem csupán a tankönyvekben létező, hétköznapioktól elszakadt tudomány. A megközelítés illeszkedik az új NAT szellemiségéhez is [E13.].

Termisztorokkal elvégezhető, környezeti neveléshez is kapcsolódó mérési javaslat: érdemes vizsgálni a különböző színű textíliával borított üvegeket – mikor milyen színű ruhát érdemes viselni; illetve hasonlóképpen tanulságos lehet megvizsgálni a különböző anyagok viselkedését hőmegtartás szempontjából is (milyen anyagból készült ruhát érdemes viselni télen).

Azonos hőmérsékletű vizet tartalmazó üvegek közül egyet pamuttal, egyet szőrmével beborítva, a harmadikat pedig borítás nélkül hagyva mérjük a víz hőmérsékletet (68. ábra).



68. ábra Különböző textiliák hőmegtartó-képességének vizsgálata  
(Laczkó Alexandra hallgató mérése)

A mérés eredménye alátámasztja előzetes elképzeléseinket az anyagok hőmegtartásával kapcsolatban: pamutborítással is csökkenthető a lehűlés üteme, szőrme alkalmazásával pedig ez a hatás még erőteljesebb. Az egyszerű kísérlet elvégzésének indoka lehet, hogy a témafelvetés alkalmas kevésbé motivált leánytanulók érdeklődésének felkeltésére is.

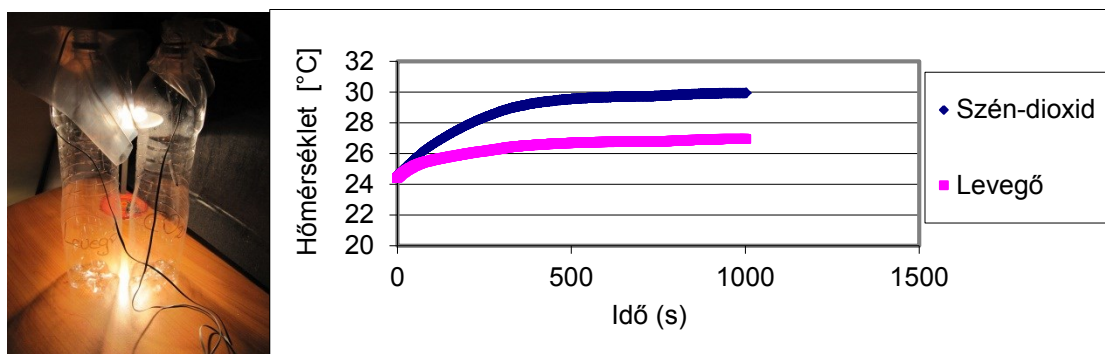
Példáim túlnyomó részében olyan tapasztalatokról számoltam be, amikor az Edaq-készletet tanulásra motivált diákok használták munkájukhoz. Egy volt hallgatóm, Medvegy Tibor segítségével kipróbáltuk az eszközt szakiskolai körülmények között is. Tibor tanulói azt a feladatot kapták, hogy készítsenek otthon olyan szigetelést, összeállítást egy-egy befőttesüveghez, hogy infralámpa segítségével minél kevésbé lehessen felmelegíteni az üvegekbe zárt levegőt. Az elkészült üvegeket azután azonos körülmények közé helyezve, egyszerre mérték a belsejük hőmérsékletét. A tanulók preparáltak üvegeket, ez már önmagában is nagy siker ebben az iskolatípusban. A 69. ábra második képén látható összeállítás pedig azt is mutatja: a tanítási módszer igazán megmozgatta készítője fantáziáját: az üvegbe beépített egy hőmérőt, amelyet egy megfelelő hőkapcsolóval összekötött egy, az üveg tetejére helyezett ventilátorral, így nem lehetett a benti levegőt adott hőmérséklet fölé emelni.



69. ábra Szakiskolai tanulók által készített összeállítások „befőttesüvegek szigetelése”  
projektfeladathoz (Medvegy Tibor tanár úr felvételei)

### 5.3.2 ÜVEGHÁZGÁZOK

Az üvegházhatású gázokkal kapcsolatos kísérletet az egyik továbbképzés beszámolójára készítette Janó Éva kolléganőnk. A kísérlet célja a hőtani ismeretek mellett az is, hogy a környezetvédelemre irányítsa a figyelmet. Két egyforma műanyag flakon egyikében levegő, a másikban pedig szén-dioxid (szódáspatronból származik, így könnyen reprodukálható) van.

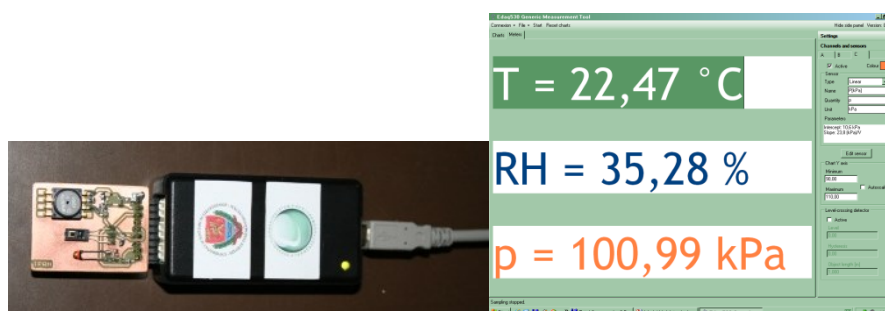


70. ábra Az egyik műanyag flakonban levegő; a másikban szén-dioxid van. Mérjük a hőmérsékletüket azonos melegítés közben. (Janó Éva tanárnő mérése)

Azonos módon melegítve a palackokat, az Edaq530-cal rögzítve a hőmérsékletet az idő függvényében, könnyen szemléltethetjük a felmelegedésbeli különbséget. A flakonokba a fentiekén kívül lehet tölteni még dinitrogén-monoxidot (habpatronból), vízgőzt vagy akár kipufogógázt is.

### 5.3.3 IDŐJÁRÁS-ÁLLOMÁS

A környezeti nevelésben és a háztartásban is megtalálható eszközök megismerésében egyaránt segítség lehet az időjárás-állomás alkalmazása.



71. ábra Az Edaq530-hoz csatlakoztatott időjárás-állomás és a programfelület mérés közben

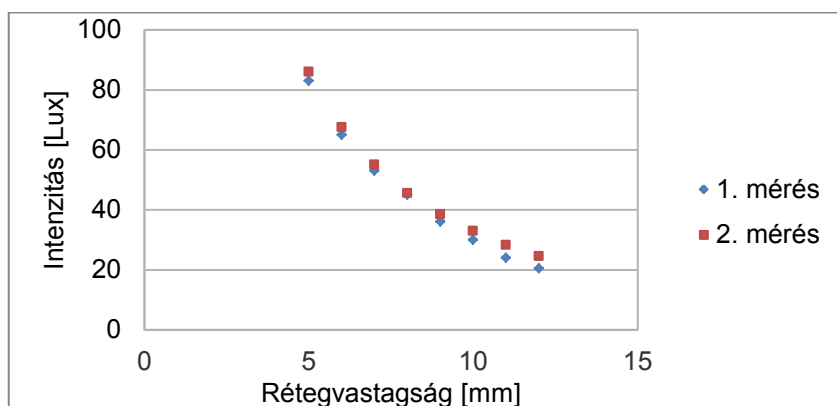
Az Edaq530 csatornáin rendre egy termisztor, egy páratartalom-érzékelő és egy abszolút nyomásszenzor helyezkedik el (71. ábra). A szenzorok kalibrálásához a szenzorok adatlapjait érdemes használni, majd a mérési beállításokat fájlként elmenteni, hogy oktatási

környezetben gyorsan használható eszközt kapjunk. Az elrendezés segítségével tantárgyi koncentráció valósítható meg a földrajzzal, illetve a környezetvédelmi mérési programokban (pl. Globe [83]) részt vevő diákok fizikai ismereteinek bővítésére is kihasználható az összeállítás [E13.].

#### 5.4 FOLYADÉK RÉTEGVASTAGSÁGÁNAK VIZSGÁLATA FOTOELLENÁLLÁSSAL

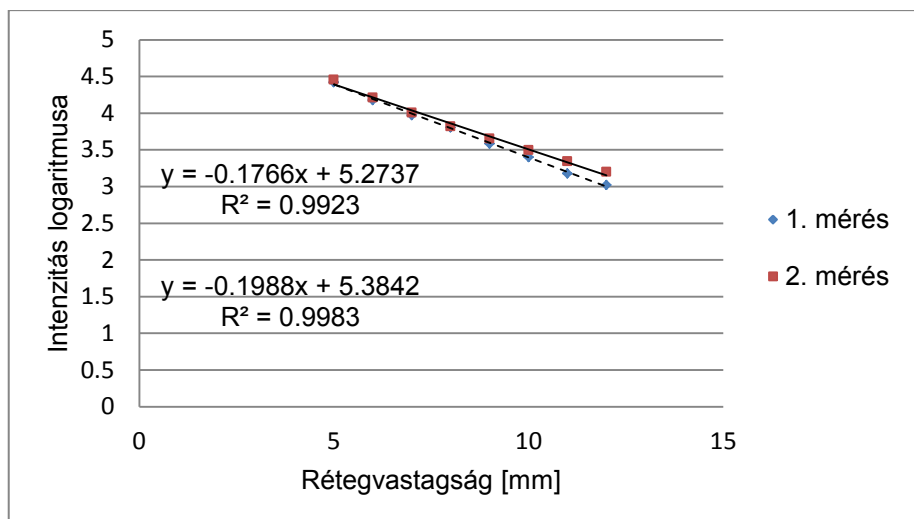
Folyadék rétegvastagsága és fényáteresztő képessége közötti összefüggés vizsgálatához fotoellenállást használtunk. A szenzor adatlapja alapján elvégeztük a kalibrálást, így luxban kaptuk meg a mért mennyiségeket, ezáltal a tanulóknak is könnyebben lehet megmutatni, hogyan változik a folyadék fényáteresztő képessége a rétegvastagság függvényében.

A fényintenzitás csökkenését a Beer-Lambert-törvény ( $\Delta I = -k(\lambda)I\Delta x$ ) írja le, ahol  $I$  az intenzitás,  $k(\lambda)$  a lineáris gyengítési (extinció) együttható,  $\Delta x$  a rétegvastagság. Az anyagban megtett távolság függvényében a fényerősség a következő függvény szerint változik:  $I(x) = I_0 e^{-k(\lambda)x}$  [84]. Ennek alapján a folyadékréteg növelésével exponenciálisan csökkenő jelet vártunk, amit sikerült is reprodukálnunk (72. ábra).



72. ábra Folyadék fényáteresztő képességének változása a rétegvastagság függvényében

Annak igazolására, hogy a görbe valóban exponenciális, ábrázoltuk az intenzitás logaritmusát a rétegvastagság függvényében (73. ábra), és a kapott pontokra egyenest illesztettünk. Az eredmények alapján megállapítható, hogy sikeres volt az igazoló mérőkísérlet elvégzése.



73. ábra A fényintenzitás logaritmus a rétegvastagság függvényében

A mérés elvi háttere ugyan nem tananyag a gimnáziumban, a mérés mégis hasznos lehet, mert könnyen elvégezhető. A jelfeldolgozás során az exponenciális csökkenés igazolásához szükség van linearizálásra, ami jelentősen fejleszti a tanulók matematikai és alkalmazott informatikai készségeit.

## 5.5 ELEKTROMÁGNESES JELENSÉGEK

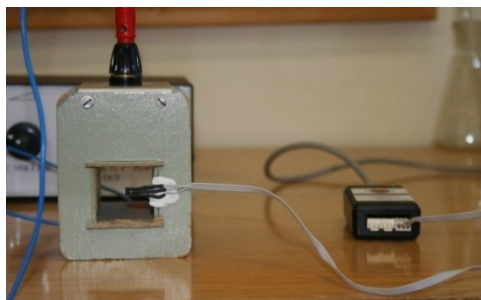
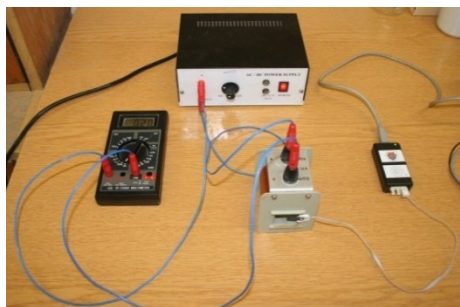
Az elektromágneses jelenségek témakörében nagyon sok szép klasszikus szemléltető kísérlet közül választhatnak a pedagógusok [85]. Ugyanakkor az órák előkészítése során problémát jelentenek az óriási tömegű, előregező oszcilloszkópok (ha vannak egyáltalán) és tápegységek. A témakör ugyanakkor nehezen érthető, viszont tanítását indokolja és fontossá teszi modern környezetünk megismertetésének szándéka. Éppen ezért fontos könnyen használható szemléltetési és mérési eljárások kidolgozása. A következőkben két olyan jelenséghez kapcsolódó mérést mutatok be, amit eddig ilyen formában nem végeztek az iskolákban.

### 5.5.1 ÁRAMJÁRTA TEKERCs MÁGNESES TERE

A mágnességtan tanításához is segítséget nyújthat az eszközünk. A szolenoidok mágneses terének vizsgálata eddig tipikusan kimerült az indukcióvonalak vasreszelékkel való kirajzolásában. Ugyanakkor az áramjárta tekercs mágneses indukcióvektorának nagyságát ( $B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \frac{I \cdot N}{l}$ ) megtanítjuk [86].

A fenti összefüggésből egy tényező szerepét azonban könnyen tudjuk igazolni. A Hall-szenzor érzékenysége lehetőséget nyújt arra, hogy vizsgáljuk az iskolai demonstrációs

tekercsek mágneses mezejét, miközben változtatjuk a tekercseken átfolyó egyenáram erősségét. Ahogyan azt a 74. ábra is mutatja, egy 1200 menetes tekercsbe ampermérőn keresztül változtatható egyenáramot vezettünk. A tekercs végére gyurmaragasztóval erősítettük fel a Hall-szenzort. (Így a mágneses indukció nagysága feleakkora, mint ha a tekercs belsejében lenne a szenzor, viszont könnyebben beállítható a szenzor a megfelelő irányba.)



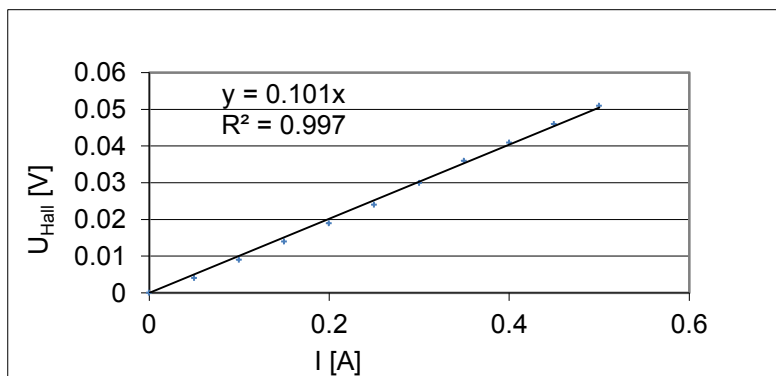
74. ábra Kísérleti összeállítás tekercs mágneses mezejének vizsgálatához

A Hall-feszültséget a tekercsen átfolyó áram erősségének függvényében a 6. táblázat mutatja. Ebben az esetben célunk az arányosság kimutatása volt, így meghagytuk a mért feszültségértékeket, nem kalibráltuk át a programot Teslára.

I [A]	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
U [V]	2,504	2,5	2,495	2,49	2,485	2,48	2,474	2,468	2,463	2,458	2,453

6. táblázat Az első sorban a tekercsen átfolyó áram erőssége, a másodikban a Hall-szenzor feszültsége látható (Tóth Károly tanár úr mérése)

A mérési eredményeket függvényként ábrázolhatjuk, és az egyenesillesztést is könnyen, gyorsan elvégezhetjük, ahogyan azt a 75. ábra mutatja. A kapott egyenes igazolja az egyenes arányosságot. (Megjegyzendő, hogy a táblázat az eredeti mérési adatokat tartalmazza, az ábrázolás előtt azonban a Hall-feszültség értékeiből levontuk az árammentes állapotban mérhető feszültséget. A Hall-szenzor attól függően mutat növekvő vagy csökkenő feszültségértékeket, hogy milyen irányban rögzítjük a tekercshez képest.)



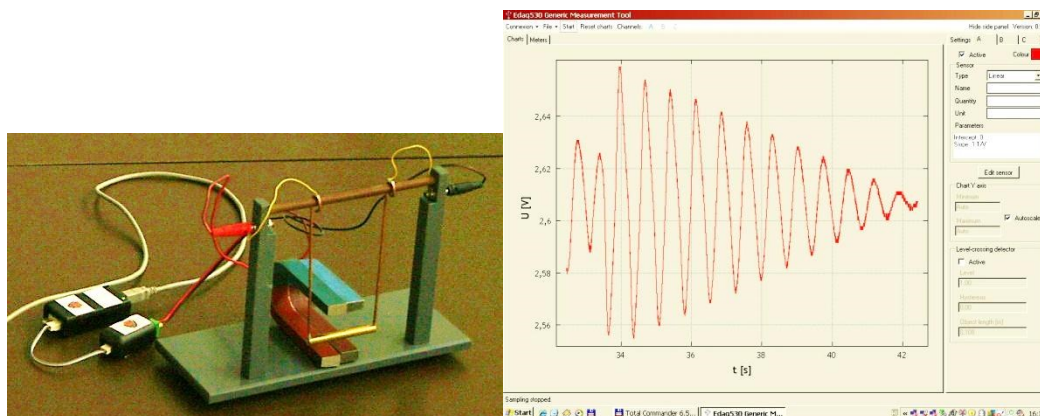
75. ábra A Hall-feszültség a tekercs áramának függvényében (Tóth Károly tanár úr mérése)



A kísérletet elvégezték az egyik tanártovábbképzésünk résztvevői is, a fenti eredmények is erről a továbbképzésről valók [T2.]. Általános tapasztalatként megfogalmazható, hogy a kollégák nem számítottak arra, hogy a Hall-szenzor kellően érzékeny lesz ahhoz, hogy ki tudják mutatni a mágneses indukció értékének változását. A mérés sikeressége mellett előnyként emelték ki a résztvevők, hogy gyorsan vezet látványos eredményre.

### 5.5.2 MOZGÁSI INDUKCIÓ VIZSGÁLATA

Az elektromágnesség tanításában elvi lehetőség eddig is volt a mozgási elektromágneses indukció szemléltetésére, a gyakorlatban azonban galvanométerrel is alig kimutatható változást lehetett elérni a szertárakban rendelkezésre álló eszközökkel. Az első továbbképzésünkön részt vevő Trauer János fizikatanár kolléga ötlete volt, hogy az Edaq530 alkalmas lehet arra, hogy valóban megmutassuk a jelenséget, ne csak beszéljünk róla az órákon. Kisebbsz módosításokkal felhasználhatjuk a Lorentz-erő kimutatására használt kísérleti elrendezést. A „hinta” kivezetéseit mérőműszerünkhöz csatlakoztatva, a hintát patkómágnesek szárai között mozgatva jól látható – ahogyan azt a 76. ábra is mutatja – a kivezetések között mért feszültség, sőt annak időbeli változása is.



76. ábra Mérési elrendezés és programkép a mozgási indukció szemléltetésére

Az elrendezés alkalmas arra, hogy szemléltessük vele a mágneses mezőben mozgó vezetőben indukált feszültséget. A feszültség változása periodicitást mutat, ennek segítségével gyorsan belátható, hogy az indukált feszültség előjele függ attól, hogy a vezető sebességvektora milyen szöget zár a mágneses indukcióvonalakkal. Az inga lengésének csillapodásával folyamatosan csökken az indukált feszültség maximumának értéke is, ami az indukált feszültség nagysága és a vezető sebességnagysága közötti kapcsolatot mutatja [E12.].

Ez az elrendezés (ha egyszer elkészítettük a megfelelő „hintát”) gyorsan összeállítható, így alkalmas arra is, hogy kis óraszámú oktatás esetén is valódi kísérlettel támasszuk alá a tananyagot, ami a téma absztrakt volta miatt különösen fontos. Az egyre gazdagabb képi világban felnövő diákok számára a megértéshez egyre inkább szükséges, hogy a jelenségeket többféleképpen, lehetőleg képi információval is bemutassuk, kísérletünk ennek az elvárásnak jól megfelel.

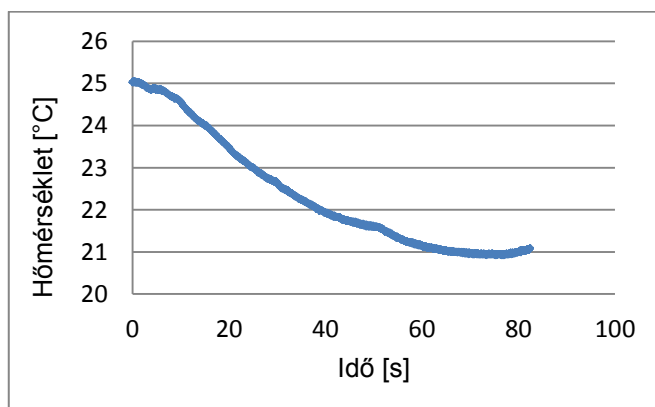
Ez a kísérlet arra is szép példa, hogy a mérőkészlet segítségével kreatív kollégák könnyen fejleszthetnek saját igényeiknek megfelelő összeállításokat.

## 5.6 KÉMIAI ALKALMAZÁSOK

### 5.6.1 EXOTERM, ENDOTERM OLDÓDÁSOK

A kémiában fontos témakör az oldódások közben fellépő hőmérsékletváltozások tanulmányozása. Az emelt szintű kémia tantárgyi érettségi szóbeli részének kísérletei között találjuk például a kálium-nitrát oldódásának vizsgálatát [87]. A kísérlet elvégezhető az Edaq530 segítségével is. A számítógépes adatgyűjtés megkönnyíti a munkát: nem kell a hőmérő folyamatos leolvasásával és az adatok rögzítésével foglalkozni, a hőmérsékletváltozás időfüggése is azonnal látható a szoftver által készített grafikonon.

Az egyik tanártovábbképzés résztvevői is elvégeztek egy hasonló feladatot, fixírsó oldódását kellett vizsgálniuk. A részt vevő kollégáknak főzőpoharat, keverőbotot, termisztoradtunk, a feladatuk pedig az volt, hogy mérjék folyamatosan az oldat hőmérsékletét, miközben 200g desztillált vízben feloldanak 50g fixírsót. Az érettségi feladat leírásához alkalmazkodva nem szigeteltük el az oldódás során az oldatot a környezetétől, a kellő pontosság így is biztosítható volt. Fontos szempont volt, hogy a termisztor vízálló és elegendően gyors legyen.



77. ábra Fixírsó oldódásának vizsgálata (Kovácsné Hegedűs Erzsébet tanárnő mérése)

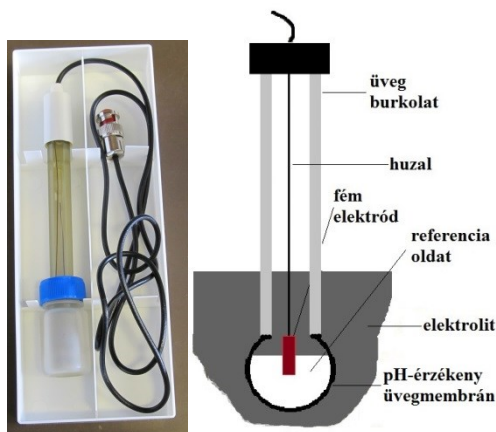


A 77. ábra mutatja Kovácsné Hegedűs Erzsébet kolléganő továbbképzésen végzett mérésének eredményét. Leolvasható a folyamat során bekövetkező hőmérsékletváltozás, amiből az oldódás energiaviszonyai láthatóak. Az oldódás járhat felmelegedéssel (exoterm), vagy lehűléssel (endoterm). A felszabadult vagy felvett energia mennyiségét az határozza meg, milyen arányban áll egymással a hidratációs energia és a rácsenergia. (A hidratáció exoterm, a rács felbontásához azonban energiabefektetés szükséges [88].) Az oldódás ioneqyenletét felírva az oldáshő is kifejezhető. Utóbbi pontos meghatározása meghaladja az emelt szintű érettségi elvárásait, ezért a továbbképzés résztvevőitől sem kértük. Pontosabb eredmény eléréséhez ismert vízértékű kaloriméter alkalmazásával juthatunk.

A mérés kapcsán fontos megjegyeznünk, hogy azon kollégáink is jól tudtak dolgozni a mérőrendszerrel, akik előtte soha nem foglalkoztak számítógépes mérések használatával. A táblázatkezelő szoftver használatának megismerése után az adatfeldolgozást is könnyen el tudták végezni a számítógépet egyébként ritkán használó kollégák is.

## 5.6.2 PH-MÉRÉS

Az Edaq530-hoz csatlakoztathatunk pH-elektrodát is, amelynek felépítését a 78. ábra mutatja.



78. ábra pH-elektroda és felépítése [72]

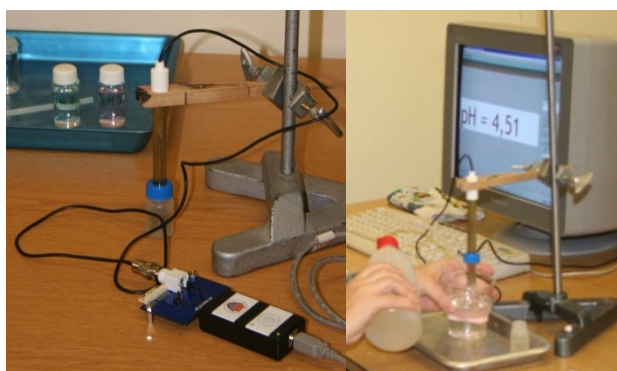
Az elektróda működése: a belső fém elektród és a belső referencia oldat egy fix elektródpotenciált képvisel [72]. Az üvegmembrán átmeneti potenciálja az abszorbeált hidrogénionok mennyiségétől, így a külső közeg pH-jától függ a Nernst-egyenlet szerint

[89]:  $E = E^0 + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \ln \frac{\alpha_{ox}}{\alpha_{red}}$ , ahol  $E$  az elektródpotenciál,  $E^0$  a standard elektródpotenciál,

$R$  az egyetemes gázállandó,  $T$  a termodinamikai hőmérséklet,  $z$  az oxidált és a redukált forma oxidációs számának különbsége,  $F$  a Faraday-állandó, valamint  $\alpha_{\text{ox}}$  és  $\alpha_{\text{red}}$  az oxidált és a redukált forma aktivitása. A referenciaelektród egy Cl-elektród állandó koncentrációjú KCl-oldatba mártva.

Sikerült találnunk egy diáklaborok számára kialakított modellt, melynek tokozása biztossá teszi a használatot, 0,1-es pontossága pedig alkalmassá teszi arra, hogy a középiskolában előforduló méréseket elvégezzük vele. Az elektróda kedvező ára mellett jelentős költségmegtakarítást jelent az Edaq530 használata, hiszen így nincs szükség további feldolgozóegység megvásárlására.

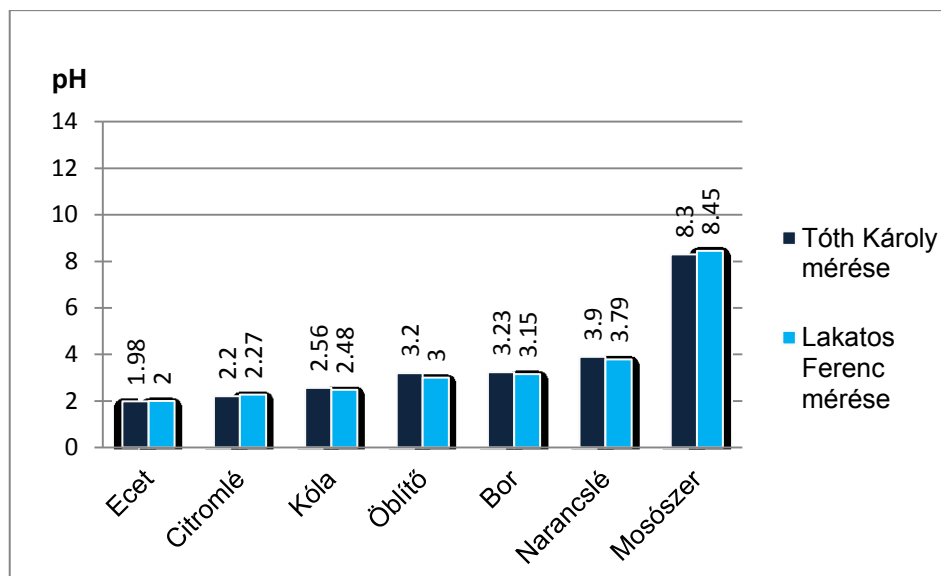
A kalibráláshoz 2,20-es és 7,06-os pufferoldatok álltak rendelkezésre. Kalibrálásra nincs szükség minden mérés előtt, hiszen ha egyszer elvégezzük a program beállítását és kalibrálását, akkor el tudjuk menteni a mérési beállításokat, amelyek segítségével tanítási szituációban könnyen és gyorsan mérhetünk.



79. ábra A pH-elektroda és a csatlakoztatásához szükséges előerősítő

Az elektróda alkalmazásával elsősorban az volt a célunk, hogy a kémia szakos kollégák figyelmét felhívjuk a számítógépes mérések adta lehetőségekre. A középiskolákban általában használt lakmuszpapírhoz képest a digitális pH-mérés jelentős előrelépés lehet: egyrészt pontosabb mérést tesz lehetővé, másrészt az indikátorpapír drága és egyszer használható, pótlása a közoktatásban általában nem megoldott. Eszközünk alkalmazhatóságának vizsgálatához megmértük néhány, az átlagos háztartásban megtalálható folyadék pH-értékét.

Készítettünk egy összehasonlító diagramot is, amelyen két kolléga által végzett mérések eredményeit jelenítjük meg, ennek eredményét mutatja a 80. ábra. Tapasztalataink alapján kijelenthető, hogy alkalmazott elektródáink mérési pontossága elegendő ahhoz, hogy diáklaborokban mérjenek vele.



80. ábra Háztartásban előforduló folyadékok pH-értékének meghatározása; két független mérés eredményeinek összevetése (mindkét kolléga ugyanazokat a folyadékmintákat mérte)

Az egyidejű, folyamatos hőmérsékletméréssel együtt kémiai folyamatok elemzésére is használható eszközt kaptuk, mely segítheti a kémia tantárgyi érettségire való felkészülést is [T2.]. Mérési összeállításunkat használják a SZTE Ságvári Endre Gyakorlógimnáziumának Szegedi Regionális Természettudományos Diáklaboratóriumában a kémiai mérések során.

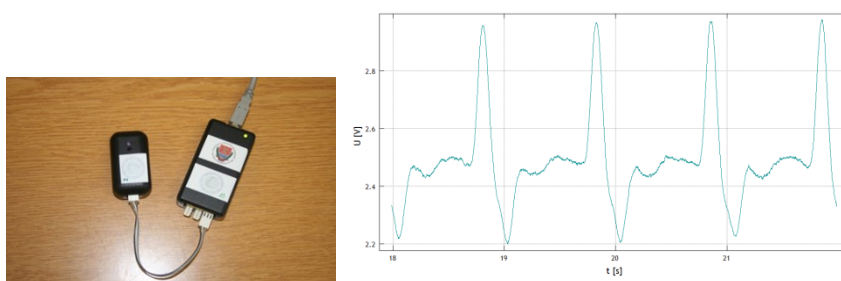
## 5.7 BIOLÓGIAI VONATKOZÁSOK

### 5.7.1 MÉRÉSEK PLETIZMOGRÁFFAL

A pulzus az érfal elmozdulása, amit a vérnyomáshullám hatására az artériás vagy perifériás véredényrendszerben bekövetkező lokális térfogatváltozás okoz. Ennek az elmozdulásnak az időfüggvénye a pulzushullám. Pulzusérzékelőként alkalmazható például a fotoelektromos eljárás: a hajszálerekkel teli szövetet átvilágítva az áthaladó és a visszavert fény intenzitása függ a hajszálerek vérrel való telítettségétől, tehát az átvilágított erek térfogatától. Az így kapott jel a fotopletizmográfias jel (photopletizmogram, PPG). A PPG-jel egy adott helyen (csuklón vagy ujjbegyen) történő mérésével megállapítható, mikor érkezik a pulzushullám erre a helyre [90]. A fotopletizmográfok alakhű, valós idejű vérnyomásjelet eredményeznek, ugyanakkor nem rendelkeznek abszolút kalibrációval. Ezek az eszközök alkalmasak arra, hogy valós időben megfigyeljék velük a szívfrekvenciát különböző helyzetekben (sportolás hatása vagy stressz-vizsgálatok), becsüljék a véráramlás dinamikáját, a vér összetételét, vagy akár biológiai és neurológiai jelenségeket szemléltessenek velük [91]. A PPG-jelek vizsgálata alkalmazható a vérnyomásmérés

pontosságának növeléséhez, további keringési adatok kinyeréséhez [92], valamint az érfali merevség, mint a szívelégtelenség kockázati tényezőjének kimutatására is [93], éppen ezért a pulzushullám megismerése a biológiatanításban is érdekes lehet.

A kísérletező oktatást segítheti, hogy a PPG-jelet megjeleníthetjük az Edaq530-ba beépített fotopletizmográf segítségével is. Ujjunkat az egymás mellett elhelyezett infra-LED-re és fotoellenállásra helyezve megfigyelhető, hogy a műszeren mért feszültség értéke a pulzushullámnak megfelelően változik. A periodikus változásban megfigyelhető kisebb és nagyobb maximumértékek mutatják, hogy a szívben a pitvar és a kamra nem egyszerre húzódik össze, így minden szívdobbanás két maximumot okoz, egy kisebbet és egy nagyobbat. A jel vizsgálatánál alkalmasan választott szintmetszés segítségével mérhető a két szívverés között eltelt idő, ebből pedig könnyen kifejezhető a pulzus értéke is [E13.].

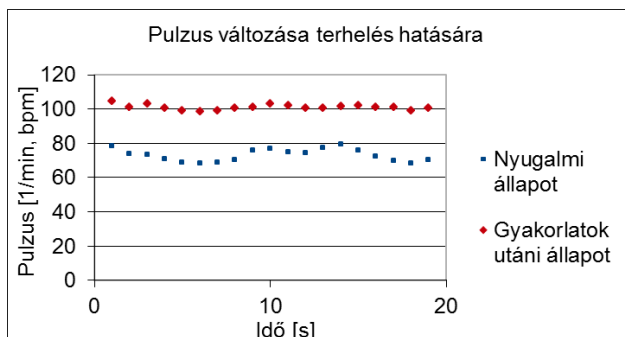


81. ábra Pletizmográf és a program által kirajzolt pulzushullám

A mérőeszközünk segítségével kapott jel segítségével olyan elemzések is elvégezhetőek, amelyek a BME Orvosbiológiai Méréstехnikai Laboratóriumának hallgatói mérései között is megtalálhatóak [90]. Vizsgálhatjuk a pulzus változását nyugalmi állapotban, majd terhelés (például 10 guggolás) után, illetve erőltetett kilégzés esetén (Valsalva-manőver). Az eszköz használatát pedagógus-továbbképzésen is teszteltük. Az alábbiakban az ott készült mérési eredményeket is szerepeltetjük.

Az összeállítással az első feladat a pulzushullám felvétele (81. ábra), majd ennek alapján a pulzusszám vizsgálatához a szintmetszéshez szükséges jelszint meghatározása. A PPG-jel szintmetszésével kapott periódusidőből táblázatkezelő program segítségével meghatározható a pulzus értéke. A pulzusszám meghatározásának ez a módja azért is érdekes lehet, mert nem egyetlen pulzusértéket eredményez, hanem megfigyelhetjük az időbeli változásokat is. A gyakorlat következő részeként testmozgást követően (10 guggolás) ismét megmérjük a pulzus értékét, amit összehasonlíthatunk a nyugalmi állapotban mért értékkel (82. ábra). Megfigyelhető, hogy a terhelés hatására megnövekedett pulzusszám időben kiegyenlítettebb képet is mutat. Ennek egyik lehetséges magyarázata az, hogy a gyakorlatok után egyenletesebb a mért személy légzése, így a

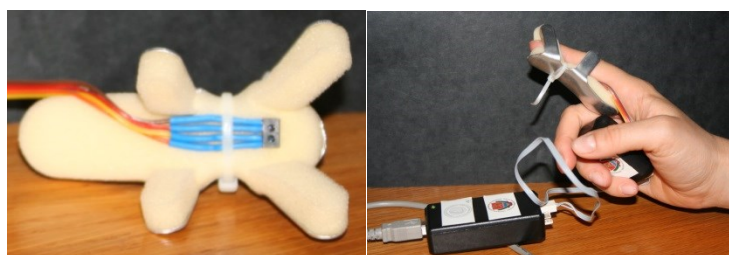
légvételek hatása nem befolyásolja a pulzusszámot. A nyugalmi és terheléses pulzusszám fogalma, a pulzusszámváltozásának elemzése, ismerete a középszintű testnevelés érettséginek is anyaga [94], így ezzel a méréssel egy a fizikától igen távol álló tantárgyhoz is kapcsolódási pontot találhatunk [T2.].



82. ábra Pulzus-változás terheléses vizsgálat esetén (Csiszár Imre tanár úr mérése)

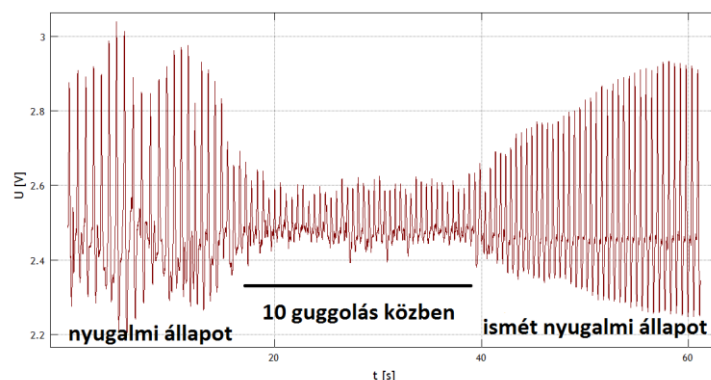
A PPG-jel amplitúdója lineáris függvénye a szenzor alá eső érhálózatban lévő vér térfogatának. Az arányossági tényező ugyan minden páciensnél eltérő, sőt egy-egy páciens esetén is eltérő lehet különböző méréseknél, de egy mérés során állandónak tekinthető. Az értérfogat és a belső nyomás adott körülmények között szintén lineariazálható, így a PPG-jel amplitúdója és a vérnyomás értéke között is lineáris kapcsolat tételezhető fel [92].

Készítettünk egy olyan pletizmográfot is, amit egy ujjrögzítő nevű gyógyászati segédeszközhez rögzítettünk (83. ábra). Ezzel lehetőségünk nyílt arra, hogy a mért jelből a pulzust jelentő frekvencia mellett az amplitúdó értékével is érdemben foglalkozzunk.



83. ábra Ujjrögzítő sínbe épített pletizmográf

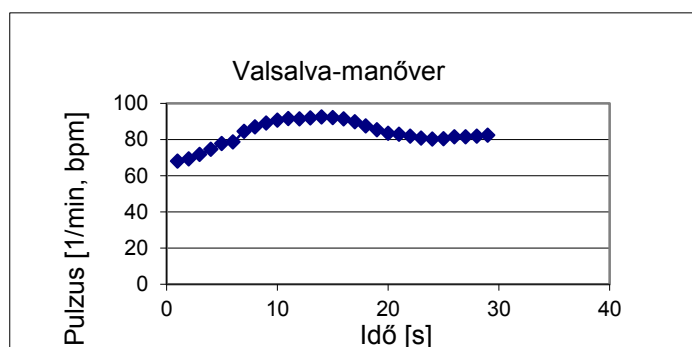
A 84. ábra mutatja, hogy összeállításunk segítségével valóban kimutatható a guggolások hatása a vérnyomásra.



84. ábra Az ujjban lévő vérnyomás lökéshullám amplitúdójának vizsgálata guggolások hatására, ujjrögztős pletizmográfval

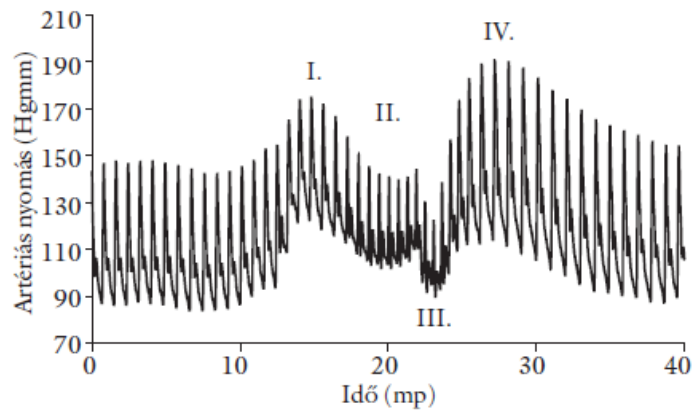
Elrendezésünk segítségével lehetőség nyílik arra is, hogy tanulmányozzuk a Valsalva-manővert. Ennek lényege, hogy légvétel után a levegőt bent tartjuk, préseljük (erőltetett kilégzést végzünk). A hétköznapi életben középfül nyomásának kiegyenlítésére használt módszert az orvosi gyakorlatban diagnosztikai céllal is alkalmazzák.

A gyakorlat közben a pulzusszám jellegzetes emelkedése figyelhető meg. Megkértük a kollégákat, próbálják ki ők is, mérjék meg, hogyan változik a pulzusuk erőltetett kilégzés közben. Az egyik mérési eredményt a 85. ábra mutatja.

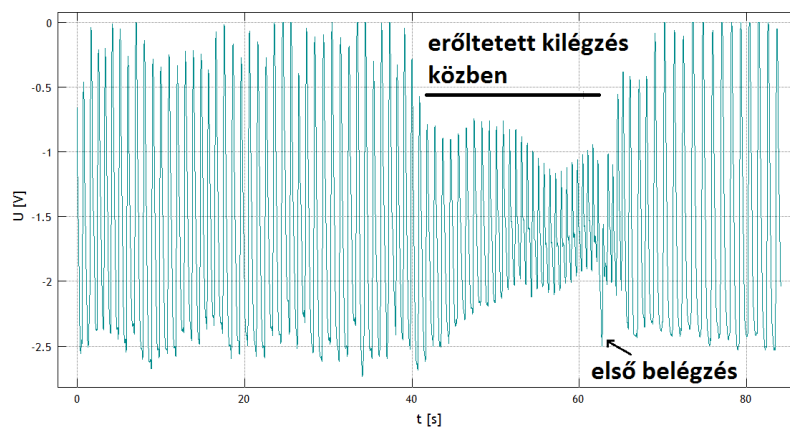


85. ábra Valsalva-manőver eredménye (Csiszár Imre tanár úr mérése)

A pulzusszám-változás sikeres kimutatása után kíváncsiak voltunk arra is, ki tudjuk-e mutatni a Valsalva-manőverre adott vérnyomásválaszt is. Ehhez egy orvosi szaklapban megjelent mérést (86. ábra) tanulmányoztunk, majd összevetettük ezt a saját mérésünkkel (87. ábra).



86. ábra Egészséges páciens Valsalva-manővere [95]



87. ábra Az ujjban lévő vérnyomás lökéshullám amplitúdójának vizsgálata Valsalva-manőver közben, ujjrögzítő pletizmográf

A két grafikont összevetve, anélkül, hogy bármilyen orvosi következtetést vonnánk le a látottakból, megállapítható, hogy elrendezésünk segítségével is tanulmányozható a PPG-jel amplitúdójának, így a vérnyomás értékének változása. Ezen mérések segíthetik az orvosi egyetemre készülő gimnazistákat a rájuk váró laboratóriumi gyakorlatokra való felkészülésben.

## 6. MÉRÉSEK HANGKÁRTYÁVAL

### 6.1 MECHANIKAI KÍSÉRLETEK HANGKÁRTYÁVAL

A hangkártyát alkalmazó mérések kidolgozásánál fontos szempont volt, hogy kihasználjuk a mintavételezés gyorsaságát, és megtartsuk az alkalmazott eszköz egyszerűségét [T6.].

#### 6.1.1 FORDULATSZÁM MÉRÉSE

A számítógépes mérések megismeréséhez alkalmas bevezető kísérlet lehet a fordulatszám-mérés. Egyszerű összeállítással egy – első közelítésben – nem túl bonyolult jelenséget vizsgálhatunk, ha mérjük egy motor fordulatszámát mozgása során. Egyenáramú motorhoz juthatunk például régi számítógépekből a hűtőventilátor kiserelésével. (A 12V üzemi feszültségű motor már 3,4-4V feszültség hatására forogni kezd, így többféle vizsgálatra is alkalmas lehet.) A ventilátor forgó részére pici lyukkal ellátott fotokartont ragasztva máris készen állunk a fordulatszám mérésére, így minden kör megtétele alatt pontosan egyszer jut fény a fotodetektorra.

Ha valóban az a cél, hogy a mérések menetével, módszerével ismerkedjenek meg a tanulók, akkor érdemes először látható fényre érzékeny fotodetektort alkalmazni, a megvilágítást pedig biztosíthatja egy zseblámpa. Ez az elrendezés jól működhet, de több kérdést is felvethet. Az egyik a megvilágítás folytonossága. Az egyre jobban elterjedő LED-es zseblámpák között sok olyat találunk, amelynek a fénye csak látszólag folytonos. Ezért mérések előtt mindenképpen meg kell győződni az alkalmazott lámpák alkalmasságáról. (Ez akár egy külön mérési feladat is lehet.) A másik kérdés a környezeti zavaró hatások jelenléte. Ha tanteremben végezzük a mérést, bizony nem elhanyagolható körülmény az, hogy a zaj olykor a jellel összemérhető nagyságú is lehet; érdemes körültekintően eljárni. Csökkenthetjük a környezet zavaró hatását, ha fotokapunkhoz infravörös tartományban érzékeny fotodetektort alkalmazunk. Ekkor zseblámpa helyett infra-LED-et használhatunk a megvilágításhoz. Az elrendezés alkalmasságának vizsgálatához két zseblámpában a LED-eket infra-LED-ekre cseréltük ki, illetve használtunk saját tervezésű infra-fényforrásokat is.

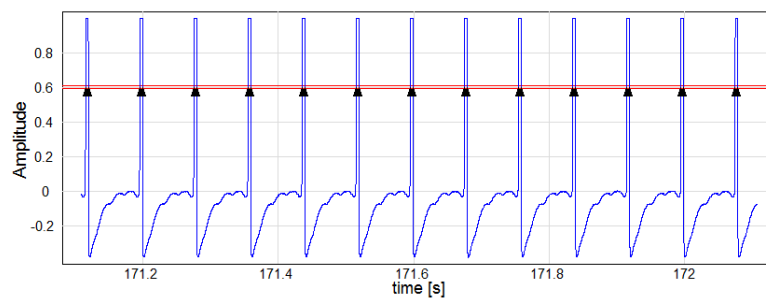
A mérések elvégzéséhez a bevezetőben leírt, a munkacsoport által készített, ingyenesen elérhetővé tett SCPhotogate [66] programot használtuk. (A program angol nyelvű, így a programból rögzített ábrák feliratai is angol nyelvűek.)



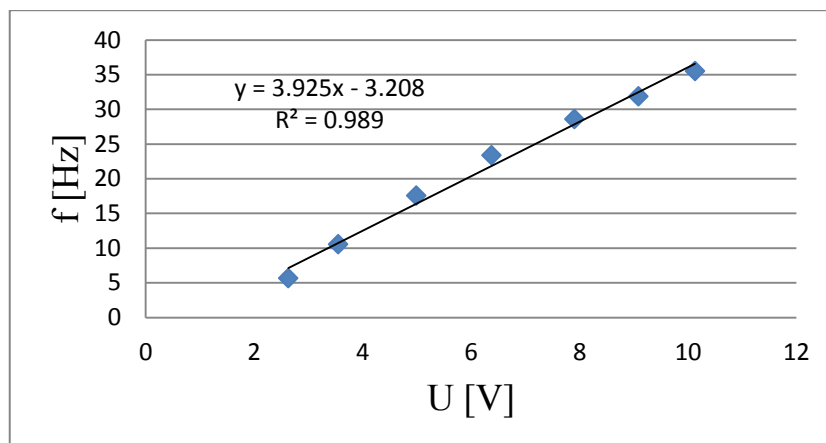


88. ábra Ventilátorra ragasztott kartonlap kis lyukkal az oldalán. Így hangkártyához csatlakoztatott fotokapuvál is mérhető a periódusidő

A programba beépített szintmetszés funkció segítségével azonnal mérni tudjuk a periódusidőt, amit a program táblázatban jelenít meg, illetve a mérési adatokat el is tudjuk menteni további feldolgozás céljából. A mérés során rögzítettük az egyes feszültségértékekhez tartozó fordulatszámokat, majd táblázatkezelő program használatával ábrázoltuk eredményeinket.



89. ábra A szintmetszés funkció használatával a program detektálja, mikor halad el a nyílás a fotokapu előtt, és ebből kiszámolja a keringési időt



90. ábra Egyenáramú motor feszültségének és a motor forgási frekvenciájának kapcsolata

Eredményeink szerint (és a várakozásoknak megfelelően) az alkalmazott feszültség és a mért fordulatszám között lineáris kapcsolat áll fenn ( $R^2=0,989$ ). Érdeemes felhívni a diákok figyelmét arra is, hogy a mérési eredményekre illesztett egyenes nem halad át a

koordinátarendszer origóján, egyértelműen látszik annak a legkisebb feszültségnek az értéke, ahol a ventilátor mozgásba jön.

### 6.1.2 SZABADESÉS VIZSGÁLATA

A szabadesés kísérleti vizsgálata során minden csoportban szóba kerül a közegellenállás szerepe. Klasszikus iskolai kísérletben, ha igazán pontosan szeretnénk mérni, vákuumcső alkalmazása is szükséges. Az általánosan alkalmazott méréseknél (akár még a fotokaput alkalmazó számítógépes alkalmazásoknál) azonban el szoktuk hanyagolni a közegellenállás és a felhajtóerő hatását is.

Iskolai projektnapok, témahetek kapcsán előkerül a befolyásoló tényezők részletes vizsgálata, akár a Galilei-féle ejtőkísérlet legendája kapcsán is. Toronyból végzett ejtőkísérletekre szép példa Kiss Tamás tanár úr vizsgálata [96]. A Stopwatch alkalmazásával azonban tantermi körülmények között is érdemben vizsgálhatóvá válik a jelenség.

Azonos térfogatú, különböző tömegű golyókat ejtve vizsgáltuk az esési időket. Az egyik test egy vasgolyó volt, a másik pedig egy olyan pingponglabda, melybe egy gombostűfejet rögzítettünk, ami lehetővé tette, hogy elektromágnes segítségével indítsuk el a golyókat. Nem alkalmaztunk olyan mérési elrendezést, ami az elektromágnes oldásakor indítaná a stoppert, mert kifejezett célunk volt, hogy elrendezésünk minél könnyebben reprodukálható legyen, ezáltal esetleg azon tanárok érdeklődését is felkeltsük, akiknek kevesebb affinitásuk van saját mérőrendszerek fejlesztéséhez.

Szabadon eső golyók esetében, ha figyelembe vesszük a közegellenállást és a felhajtóerőt, akkor a dinamika alapegyenlete a következő:  $m \cdot a = m \cdot g - F_f - F_k$ .

A testekre ható felhajtóerő:  $F_f = \rho_l \cdot V_g \cdot g$ .

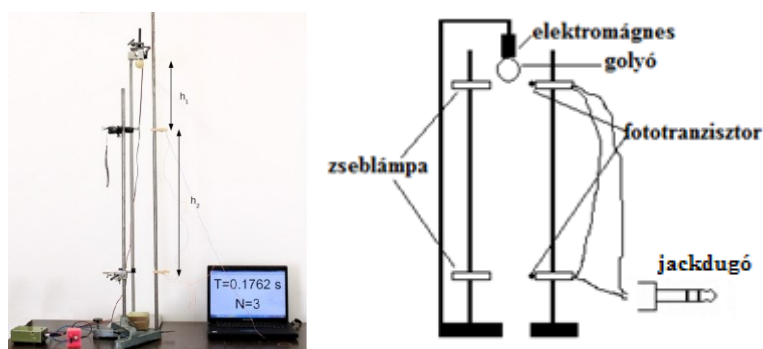
A közegellenállás értéke a mozgó tárgy sebességétől, méretétől és a közegtől függően lehet a test sebességével egyenesen  $F = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$  vagy négyzetesen  $F_k = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$  arányos.

Az eső testek gyorsulása így egyik esetben sem független az eső test tömegétől:

Lineáris közegellenállás esetén:  $a = g - \frac{\rho_{lev} \cdot V \cdot g}{m} - \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r}{m} \cdot v$ .

Négyzetes közegellenállás esetén:  $a = g - \frac{\rho_{lev} \cdot V \cdot g}{m} - \frac{c_{lev} \cdot A \cdot \rho_{lev}}{2 \cdot m} \cdot v^2$ .

Látható tehát, hogy az esés ideje függ attól, hogy milyen tömegű az eső test. Mindkét esetben azt várjuk tehát, hogy azonos térfogatú, különböző tömegű testek közül a nagyobb tömegű rövidebb idő alatt esik le.



91. ábra Mérési elrendezés szabadesés kísérleti vizsgálatához. A második elrendezésben az első fotokapu közvetlenül a felfüggesztett golyó alatt helyezkedik el

Az első elrendezésben arra voltunk kíváncsiak, egyáltalán mérhető-e a különbség a két golyó esetén. A golyók  $h_1=30,4$  cm-t estek, mielőtt az első kapunál elindították az időmérést, és újabb  $h_2=58,5$  cm megtétele után állították meg az órát. A táblázatból látható, hogy a mérések kis szórásúak, és a vasgolyó jól láthatóan kevesebb idő alatt teszi meg az utat.

mérés sorszáma	eső test	sugár [m]	idő [s]	átlag	szórás
1	vasgolyó	0.019	0.1763		
2			0.1763		
3			0.1762	0.1763	0.000058
1	pingponglabda	0.019	0.1845		
2			0.1842		
3			0.1853	0.1847	0.000569

7. táblázat: Szabadon eső golyók esési idejének vizsgálata 1

Ezután mértünk olyan elrendezéssel is, amikor az első fotokapu közvetlenül az elektromágnesen függő golyó alatt található, és mindkét golyó 71,7cm-t tett meg. Ez az elrendezés segít a diákoknak a probléma elemzésében, hiszen ekkor használhatjuk a kezdősebesség nélküli szabadesésre felírható formulákat, ami a közegellenállás és a felhajtóerő figyelembe vétele esetén jelentős könnyebbséget jelent [T4.].

mérés sorszama	eső test	sugár [m]	idő [s]	átlag	szórás
1	vasgolyó	0.019	0.3039		
2			0.304		
3			0.3039		
4			0.304	0.3040	0.00006
1	pingponglabda	0.019	0.3128		
2			0.3165		
3			0.3137		
4			0.3128		
5			0.3125		
6			0.3129	0.3135	0.00151

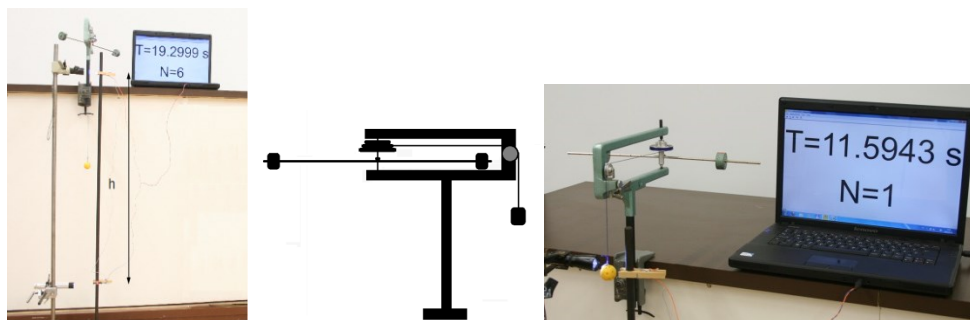
8. táblázat Szabadon eső golyók esési idejének vizsgálata 2

A vasgolyó esési ideje 0,3040s (szórása 0,0001s) volt az adott magasságon, míg a pingponglabda 0,3135s (szórása 0,0015s) alatt tette meg ugyanazt az utat. Ebből látható, hogy valóban tantermi körülmények között is kimérhető az esési idők különbsége.

### 6.1.3 TEHETETLENSÉGI NYOMATÉK MÉRÉSE

A következő mérés anyaga sem tartozik a fizika törzsanyagához. Forgó rendszer tehetetlenségi nyomatékát, egészen pontosan a forgó tömegek forgástengelytől mért távolságának és tehetetlenségi nyomatékának kapcsolatát vizsgáljuk. A több mint 44000Hz-es mintavételi frekvencia nagyon pontos időmérést tesz lehetővé. Ez azért fontos, mert a kísérleti elrendezés nem teszi lehetővé, hogy például útsokszorozással csökkentjük az időmérés hibáját. A kísérlet jelentőségét többek között az is adja, hogy egyszerű mérésről van szó, a mérési adatok kiértékelésében mégis szerepet kap a linearizálás. Ez pedig fontos a fizika tantárgyi érettségire készülő diákok számára.

A méréshez az iskolák többségében megtalálható eszközkészletet egészítjük ki fotokapuinkkal. Fontos az elrendezésben, hogy a felső fotokaput közvetlenül a felfüggesztett nehezék alatt helyezzük el, mert ekkor tudjuk a számításokban a szokásos (és alább részletezett) egyszerű gondolatmenetet végigvezetni.



92. ábra A forgómozgás dinamikai vizsgálatára a középiskolákban használt eszközt is használhatjuk hangkártyához csatlakoztatott fotokapuvval, így a tehetetlenségi nyomaték tulajdonságainak részletesebb vizsgálatára nyílik lehetőségünk

A forgó rendszer tehetetlenségi nyomatéka meghatározható, ha ismerjük a nehezék tömegét, a fonalat tartó tárcsa sugarát, a nehezék által befutott utat és a mozgás idejét [97].

$$M = \Theta \cdot \beta$$

$$\beta = a \cdot r = \frac{2 \cdot h}{r \cdot t^2}$$

$$F = m \cdot (g - a)$$

$$M = F \cdot r = m \cdot (g - a) \cdot r$$

$$\Theta = \frac{M}{\beta} = \frac{m \cdot (g - a) \cdot r \cdot r \cdot t^2}{2 \cdot h} = \frac{m \cdot g \cdot r^2 \cdot t^2}{2 \cdot h} - \frac{m \cdot r^2 \cdot t^2 \cdot \beta \cdot r}{2 \cdot h} = \frac{m \cdot g \cdot r^2 \cdot t^2}{2 \cdot h} - \frac{m \cdot r^2 \cdot t^2}{2 \cdot h} \cdot \frac{2 \cdot h}{r \cdot t^2}$$

$$\Theta = \frac{m \cdot g \cdot r^2 \cdot t^2}{2 \cdot h} - m \cdot r^2 = \frac{m \cdot g \cdot r}{\beta} - m \cdot r^2$$

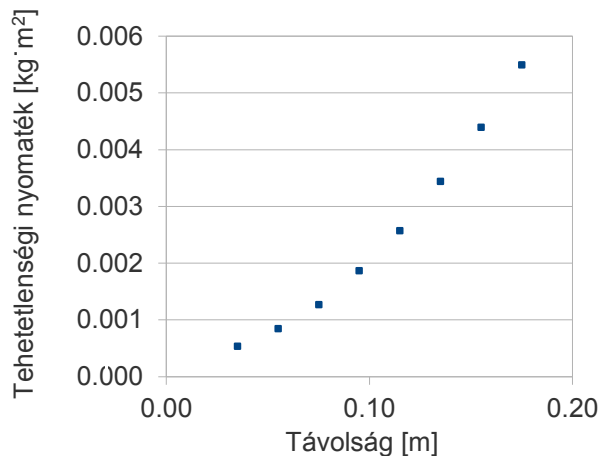
Jelmagyarázat:  $m$ : nehezék tömege,  $t$ : idő,  $h$ : nehezék által befutott út,  $r$ : a fonalat tartó tárcsa sugara.

Tehát a forgó pálca végén elhelyezett nehezék forgástengelytől mért távolságát változtatva megmérhetjük, hogyan függ össze a tehetetlenségi nyomaték és a forgástengelytől mért távolság. A mérési eredményeket a 9. táblázat mutatja. A mérési adatok feldolgozásához szükség van táblázatkezelő, ezen belül függvények használatára; a számítógép alkalmazása meggyorsítja a munkát, és motiválja a tanulókat is.

Tömeg	Tárcsa sugara	Magasság	Idő	Szöggyorsulás	Tehetlenségi nyomaték	Forgás-tengelytől mért távolság	Forgás-tengelytől mért távolság négyzete
m [kg]	r [m]	h <sub>2</sub> [m]	t [s]	$\beta \left[ \frac{1}{s^2} \right]$	$\Theta [kg \cdot m^2]$	R [m]	R <sup>2</sup> [m <sup>2</sup> ]
0.0060	0.0390	0.6900	4.1140	2.0907	0.0011		
			5.6176	1.1213	0.0020	0.0350	0.0012
			7.0427	0.7134	0.0032	0.0550	0.0030
			8.6372	0.4743	0.0048	0.0750	0.0056
			10.4624	0.3233	0.0071	0.0950	0.0090
			12.2868	0.2344	0.0098	0.1150	0.0132
			14.2124	0.1752	0.0131	0.1350	0.0182
			16.0603	0.1372	0.0167	0.1550	0.0240
			17.9504	0.1098	0.0209	0.1750	0.0306

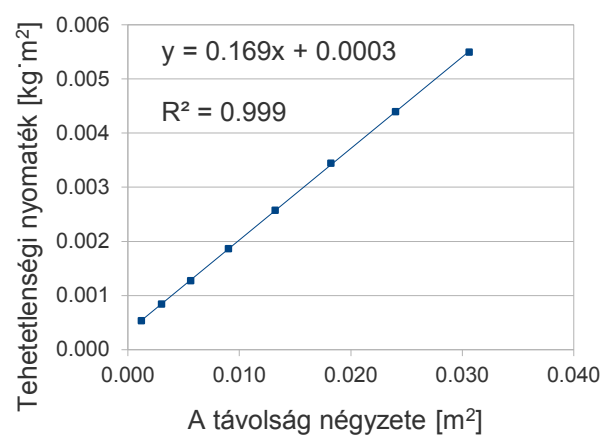
9. táblázat Tömegpont tehetlenségi nyomatékának vizsgálata

Mérési eredményeink feldolgozását a 93. ábra és a 94. ábra mutatja. Az első grafikonon a tehetlenségi nyomatékot a távolság függvényében ábrázoltuk, a másodikon pedig a távolságnégyzetet a független változó.



93. ábra Tehetlenségi nyomaték a forgástengelytől mért távolság függvényében

A linearizált egyenesen jól látható, hogy nem az origóból indul, ennek oka a rögzített pálca tehetlenségi nyomatéka. (Diákjaink megtanulják a linearizálás jelentőségét is, hiszen nem fogadjuk el, hogy „ránézésre” másodfokú összefüggés van a két mennyiség között, ezt a linearizálás segítségével kell belátniuk.)



94. ábra Tehetetlenségi nyomaték a forgástengelytől mért távolság négyzetének függvényében

Mérési eredményünk szépen igazolja, hogy tömegpontok esetén a tehetetlenségi nyomaték négyzetesen függ a forgástengelytől vett távolságtól [T3.],[E9.],[E11.].

## 6.2 KÍSÉRLETEK REZONANCIAJELENSÉGEK VIZSGÁLATÁHOZ

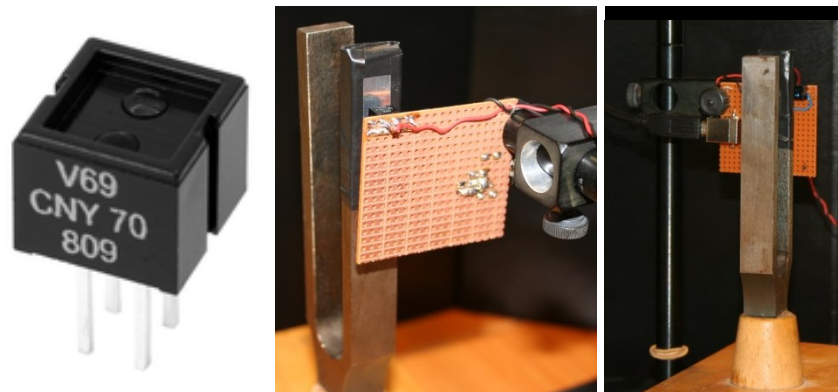
Az elektromágneses rezgések témakörének tanítása a középiskolában komoly kihívást jelent. Tanár és diák feladatát egyaránt megkönnyíti, ha kísérlettel tudjuk szemléltetni a bemutatni kívánt jelenséget. Alkalmas oszcilloszkóp hiányában ennek megvalósításához jelent segítséget a mérőprogramunk. Ugyanakkor a kísérletek eredményeit kijelző program, illetve az átviteli függvény fogalma is nehezen látható át egy olyan diák számára, aki először találkozik ezekkel. Ezért érdemes a mechanikai rezgések témakörénél alkalmazni először a mérőprogramunkat. Az általunk használt, rezonanciajelenségeket szemléltető kísérletek könnyen megépíthetőek, amihez összeszerelési útmutatót is segítségül adunk [67], [T1.].

### 6.2.1 HANGVILLA SAJÁTFREKVENCIÁJÁNAK MEGHATÁROZÁSA

A hangvilla sajátfrekvenciájának vizsgálata szerepel a középszintű fizika tantárgyi érettségi anyagában is, ezért várható, hogy a diákok jól tudják azt, hogy a megütött hangvilla egy bizonyos frekvencián rezeg, és a frekvencia határozza meg azt, hogy milyennek halljuk a hangvilla hangját. Ezért a hangvilla rezgésének vizsgálatához készített összeállítás segítségével szemléltethető a középiskolás diákoknak is az átviteli függvény és a spektrum.

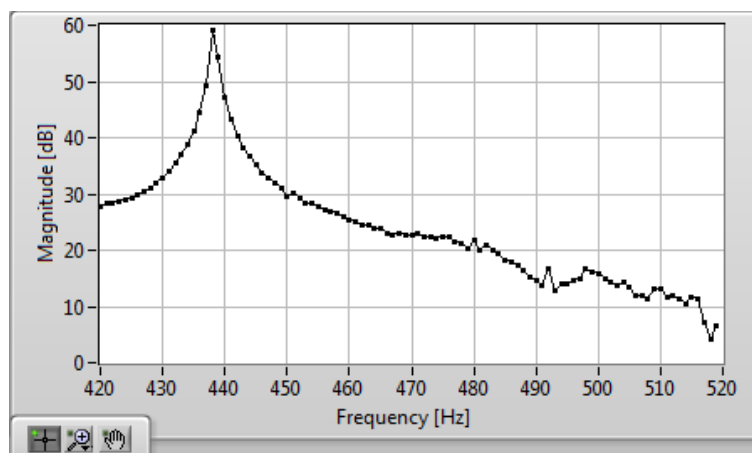
A méréshez felhasznált CNY70 típusú optoszenzorban közös tokba építve található egy infra-LED és egy fototranzisztor. Mivel a LED működéséhez egyenáramra van szükség, és a hangkártya csak váltakozó feszültség kiadására képes, a számítógép USB-portján található 5V-os feszültséget használjuk a LED áramforrásaként (egy sorosan kapcsolt ellenállás segítségével). Az optoszenzorban lévő fototranzisztor közvetlenül csatlakoztatható a mikorofonbemenetre. A hangvilla egyik szárára egy kis tükröt erősítettünk, ennek a közelében kell elhelyezni az optoszenzort, ahogyan azt a 95. ábra mutatja. (A tükrő hangvillára erősítése elhangolja a hangvillát, ez a mérés során szépen láthatóvá is válik.)





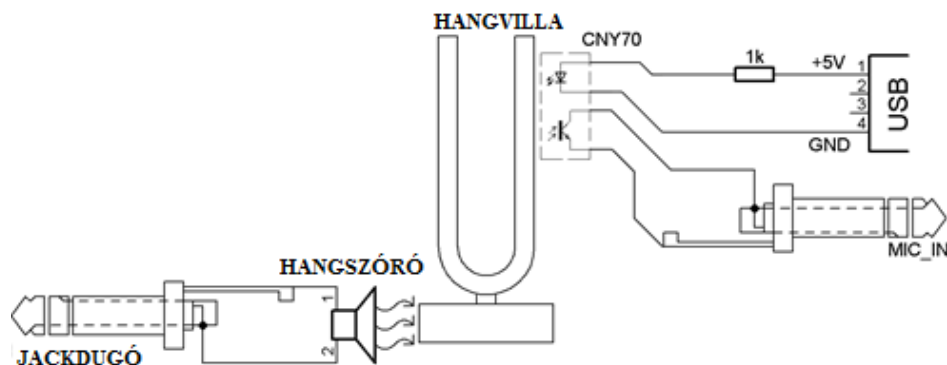
95. ábra. Bal oldali fénykép: CNY70 optoszenzor, középen: hangvilla a ráragasztott tükörrel, jobb oldalon a mérési elrendezés. A rezgő hangvilla által modulált infra fény visszaverődve a fototranzisztorba jut, ami a fényt elektromos jellé alakítja a mikrofonbemenet számára

Amikor a hangvillát gumikalapács segítségével rezgésbe hozzuk (ezt az eljárást nevezhetjük impulzus-gerjesztésnek is), akkor az optoszenzorból érkező infra fény a tükörről modulálva verődik vissza. A mérőprogram ekkor kirajzolja a hangvilla sajátrezgésének frekvenciamenetét, amiről leolvasható a sajátfrekvencia értéke, lásd 96. ábra. (Ez az érték egy külön ablakban számértékkel is megjelenik.) A 440Hz-es hangvilla sajátfrekvenciájának változását a tükör felerősítése miatti „elhangolás” okozza.



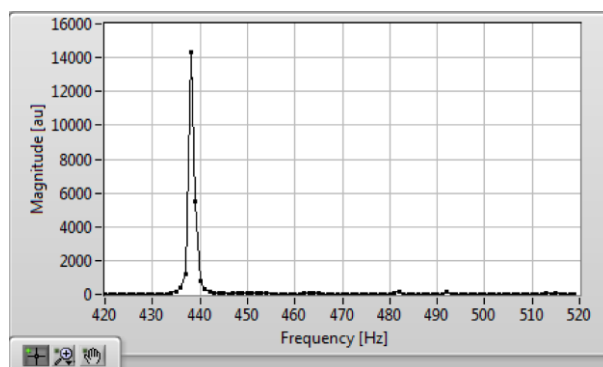
96. ábra. A gumikalapáccsal megütött hangvilla sajátrezgésének frekvenciamenete. A frekvenciafelbontás 1 Hz, a sajátrezgés frekvenciája 438 Hz, az elhangolást a fényvisszaverő lemez tömege okozza

A rezonancia jelenségét szemléltethetjük azzal, ha hangszóró segítségével folytonos akusztikus gerjesztéssel hozzuk rezgésbe a hangvillát, ahogyan ezt a 97. ábra mutatja.



97. ábra. A hangszóró gerjeszti az elé helyezett hangvilla rezonátordobozát. Az USB-portról hajtott infra-LED modulált fényét a mikrofon bemeneten lévő fototranzisztor méri

Ebben az esetben periodikus véletlen zajjal gerjesztünk, melynél a frekvenciatartomány és a frekvenciakomponensek száma állítható. A spektrum 10Hz-es frissítése megoldott, ebben az esetben a frekvenciafelbontás 10Hz. A mérés eredményeként a hangvilla átviteli függvénye látható a 98. ábra, amelyről leolvasható a hangvilla sajátfrekvenciája, ami megegyezik a kalapácsos gerjesztés esetén mért értékkel.



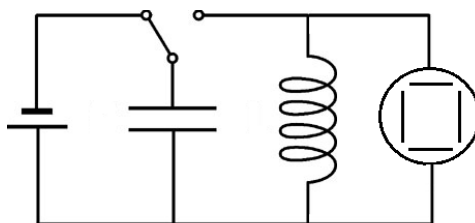
98. ábra. A hangvilla átviteli függvénye akusztikus gerjesztés esetén, 1 Hz-es frekvenciafelbontás mellett, lineáris skálán látható

Az elvégzett kísérletek oktatási jelentősége kettős. A hangszóróval gerjesztett hangvilla esetén fellépő rezonanciát nehezen szemléltethetjük számítógépes mérés nélkül. Méréseink segítségével az is megmutatható, hogy a hangvilla mindkét gerjesztés esetén ugyanazzal a sajátfrekvenciával rezeg. Ez pedig fontos ismeret a rezonanciáról először tanuló diákok esetében. Az átviteli függvény és a mérőprogram megismerése pedig tanulóknak és tanárnak egyaránt segít abban, hogy az elektromágneses rezgések vizsgálatánál sikeresen használhassuk majd a mérőprogramot. A rendszer alkalmas az elektromosságtani és a mechanikai téma közötti párhuzam erősítésére is.

## 6.2.2 ELEKTROMOS REZONANCIAJELENSÉGEK VIZSGÁLATA

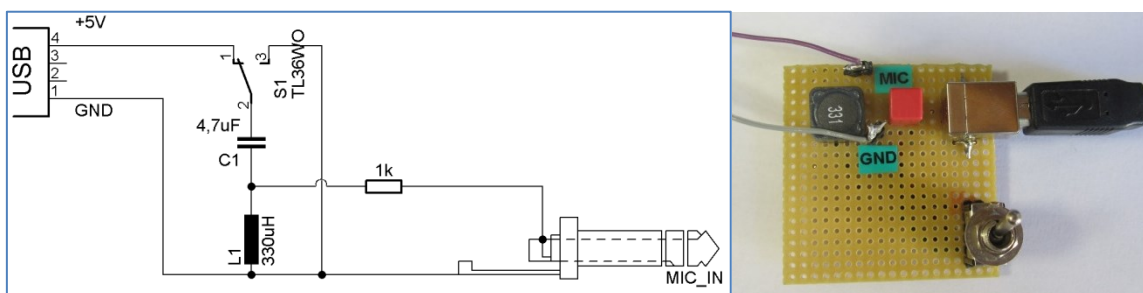
### 6.2.2.1 Elektromágneses rezgések bevezetése

Az elektromágneses rezgések bevezetése nehéz feladatot jelent a közoktatásban, hiszen megértésükhöz az előzetes fizika tanulmányokból több (általában önmagában is nehezebben megértett) fogalom összekapcsolására van szükség: a szemléltetéshez felhasználjuk a mechanikai rezgések analógiáját, emellett a legegyszerűbb rezgőkörben is található tekercs és kondenzátor, az ezekről korábban tanultak is elengedhetetlenek a továbbhaladáshoz. A mechanikai rezgések analógiájának alkalmazását segíti elő az az áramkör, amit a 99. ábra is mutat. Ennek segítségével a rezgés során kialakuló energiaváltozások fázisai (a kondenzátorban és a tekercsben tárolt energia periodikusan egymásba alakul át) is jól szemléltethetők.



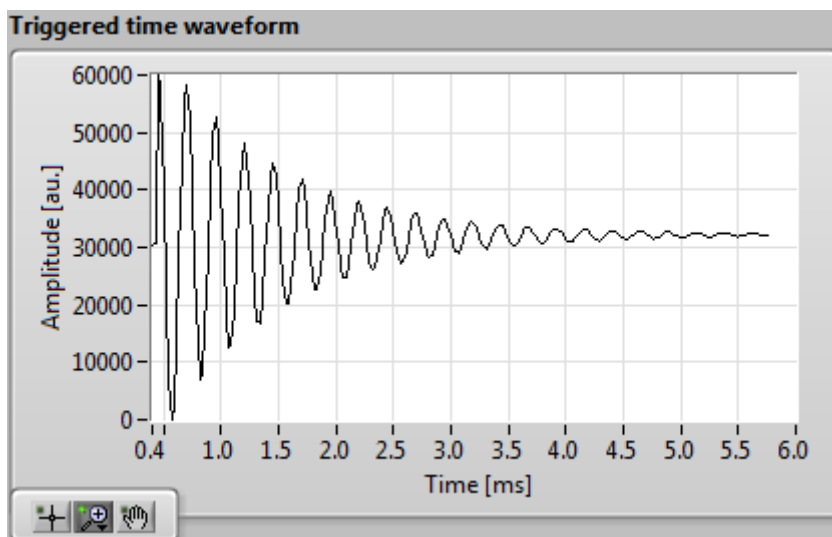
99. ábra Az elektromágneses rezgések bevezetéséhez alkalmazott alapkísérlet

A fenti kísérlet bemutatásához azonban elengedhetetlen az oszcilloszkóp használata, amire sokszor nincs lehetőség a közoktatásban. Ezért készítettünk egy olyan elrendezést (100. ábra), ami ugyanezt a jelenséget mutatja meg, de a számítógép hangkártyáját alkalmazzuk a méréshez.



100. ábra Az elektromágneses rezgés jelenségét bemutató kísérlet hangkártyát alkalmazó megoldása

A kapcsoló 1-es állásában a kondenzátor feltöltődik az USB-porton keresztül. Átkapcsolás után a tekercs feszültségét mérjük a hangkártya segítségével. A mérés eredményét a 101. ábra mutatja.

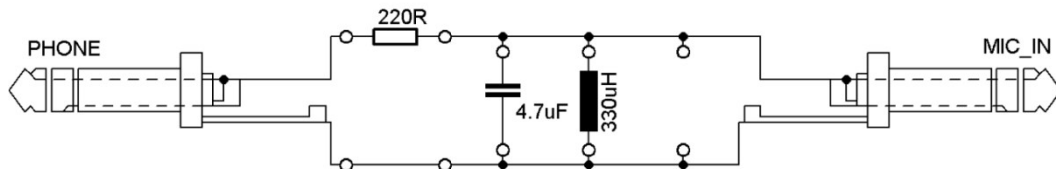
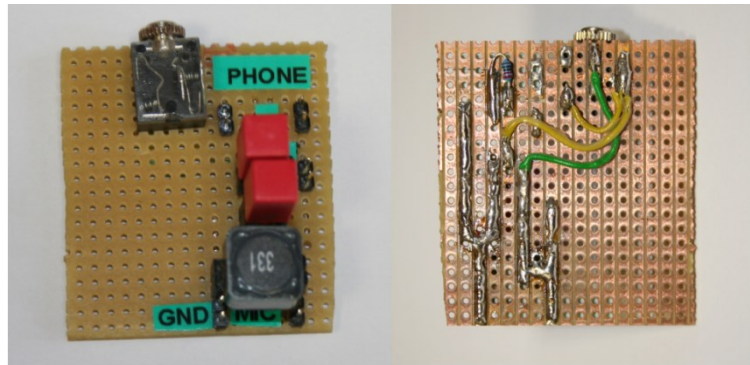


101. ábra Csillapodó elektromágneses rezgés: mérési eredményünk a virtuális műszeren

Az eredményül kapott csillapodó rezgés alkalmas arra, hogy bevezető kísérletként alkalmazzuk az oktatás során. Összeállításunk ugyan kisméretű elemekből áll, ami a demonstrációs kísérleteknél általában nem szerencsés, ugyanakkor modern alkatrészek felhasználásával készült, utóbbi pedig motiváló hatású. A kísérletező oktatást azzal is támogatja áramkörünk, hogy egyszeri összeállítása után bármikor könnyen és gyorsan alkalmazható a tanításban, anélkül, hogy több tíz kilogrammnyi kísérleti eszközt kellene megmozgatni az óra bekészítése során.

#### 6.2.2.2 Soros RLC-kör vizsgálata

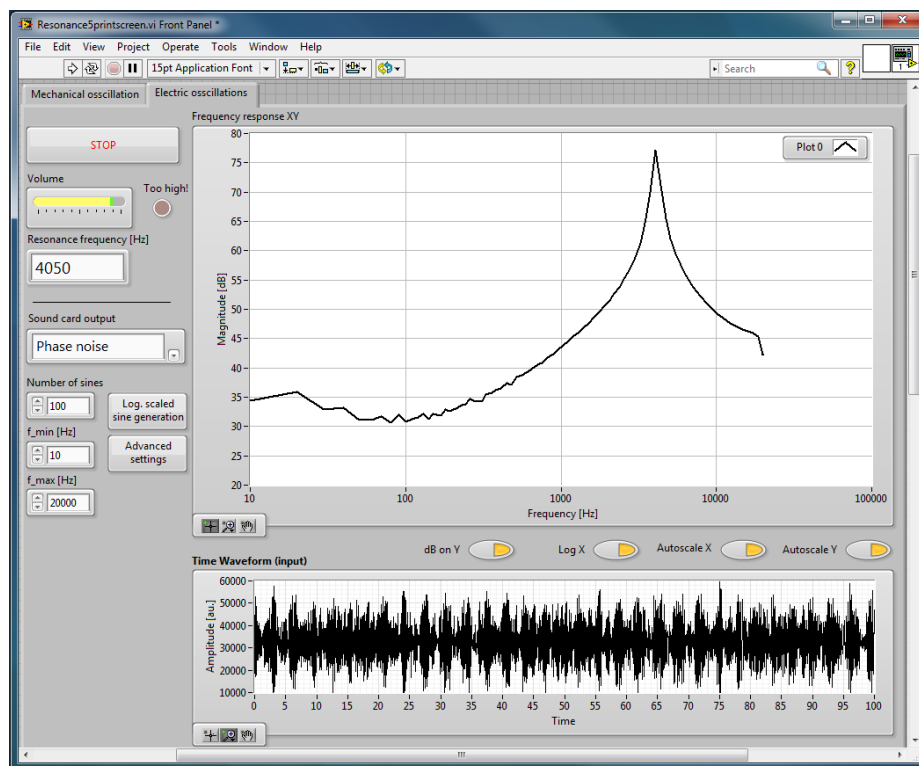
A párhuzamos RLC-kör vizsgálatához használt összeállításunkat a 102. ábra mutatja. A komponensek jumperrel csatlakoznak a próbapanelhez, így az áramkör könnyen átalakítható. Az ellenállás  $200\Omega$ , a kondenzátor kapacitása  $4,7\mu\text{F}$ , a tekercs induktivitása  $330\mu\text{H}$ , így az RLC-kör rezonanciafrekvenciája  $4040\text{Hz}$ . A méréshez periodikus véletlen zajjal gerjesztettük a rezgőkört.



102. ábra A perforált próbapanelon összeállított RLC-kör fényképe és kapcsolási rajza

A 103. ábra a programfelületet mutatja mérés közben. Megfigyelhető az RLC-kör átviteli függvénye és sajátfrekvenciája. A mért rezonanciafrekvencia 4050 Hz, a frekvencia és a magnitúdó skálázása logaritmikus.

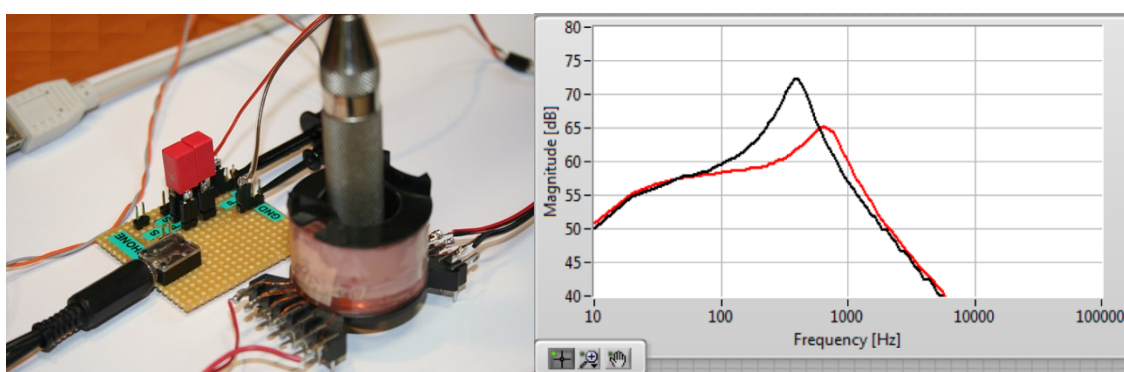
Az eltérés az alkatrészek tűréséből és a mérési frekvenciafelbontásból adódhat. Az általunk ajánlott hangkártya frekvencia-karakterisztikája jónak mondható, de a kimenet és a mikrofon időalapja kis mértékben eltér egymástól, ezért a kiadott jel visszamérve időben lassan driftel.



103. ábra A programfelület soros RLC-kör vizsgálata közben

A valósidejű spektrum mérése látványos rezonanciaszemléltető kísérleteket tesz lehetővé. A legegyszerűbb, amikor a már meglévő kondenzátor mellé egy másikat helyezünk, ekkor a rezonanciacsúcs pillanatszerűen arrébb ugrik. Az ellenállás helyett potenciométert használva a rezonancia jósági tényezőjét és a csúcs nagyságát változtathatjuk.

Tekercs induktivitásának vizsgálata szempontjából hasznos elrendezés a következő: kapcsoljunk sorosan egy kondenzátort és egy légmagos tekercset. Mérjük meg a rezonanciafrekvenciát, majd helyezzünk vasmagot a tekercsbe (104. ábra), és ismét mérjük meg a rezonanciafrekvenciát.



104. ábra Bal oldal: kondenzátorral párhuzamosan kapcsolt légmagos tekercs. Jobb oldal: a grafikonon a tekercs rezonanciagörbéje vasmag nélküli (piros színnel) és vasmagos (fekete színnel) esetben. Mérés közben a rezonanciacsúcs elmozdulása teszi szemléletessé a változást a valósidejű spektrumgrafikonon

A 104. ábra alapján megállapítható, hogy a rezonanciafrekvencia csökkent (fekete görbe), aminek az az oka, hogy a tekercs induktivitása növekedett. Mérés közben a rezonanciacsúcs elmozdulása teszi szemléletessé a változást a valósidejű spektrumgrafikonon.

A középiskolai fizika tantárgy tananyagán messze túlmutató kísérletek sikeresen alkalmazhatóak tagozatos csoportokban, illetve tehetséggondozó szakkörökön. Tapasztalataim szerint sok diák érdeklődését lehet az elektronikán keresztül felkelteni a fizika irányába is. Többben foglalkoznak szabadidejükben áramkörök tervezésével, forrasztásával, akár szenzorokkal is, ugyanakkor a tankönyvi tananyagot nem szívesen tanulják meg. Számukra (is) erős motivációt jelenthet, ha az órákon felismerik azokat az alkatrészeket, elemeket, amelyeket maguk is használnak.

## 7. TAPASZTALATOK, EGYÜTTMŰKÖDÉSEK, TOVÁBBLÉPÉSI LEHETŐSÉGEK

A kísérletes oktatást támogató fejlesztések szempontjából mindvégig fontos cél volt, hogy a megtervezett eszközöket valós iskolai környezetben is tesztelni tudjuk, az itt szerzett tapasztalatok alapján lépünk tovább a tervezésben.

A tesztelés elsődleges helyszíne az SZTE Ságvári Endre Gyakorlógimnáziuma volt. A 2009/2010-es és a 2010/2011-es tanévekben tartottam **méréstechnika-szakkört** fizika orientációjú csoportok érdeklődő tanulóinak. A munka első részében még az egyetemre jártak át a diákok, ott dolgoztunk együtt. Később sikerült az iskolában 20 mérőkészletet beszerezni (ebben az SZTE TTIK Kutatóiskola Pályázata és a Zaj- és nemlinearitás Kutatócsoport volt a segítségünkre), így már az egyik iskolai informatikateremben tartottuk a fizikaszakköröket Tóth Károly tanár úr fizika orientációjú csoportjának részvételével [E6.]. A 2011/2012-es tanévben a hangkártyát alkalmazó méréseket teszteltük diáklaboratóriumi foglalkozásokon Csiszár Imre tanár úr fizika orientációjú csoportjának részvételével. A 2012/2013-as tanévben informatika specializációjú tanulók számára tartottam méréstechnika-szakkört, amelyen a tanulók megismerték mérőeszközeinket, majd maguk is terveztek kísérleteket.

A mérőrendszerek alkalmazhatóságának felmérésében fontos szerepet játszottak a **tanártovábbképzések** is. 2010-ben tartottunk először olyan tanártovábbképzést, melynek kifejezett célja volt az Edaq használatának megtanítása: Multimédiás alkalmazások a középiskolai természettudományos oktatásban (Szeged, 2010.03.19-20., 2010.08.24., [K4.]). Ennek a képzésnek a résztvevői megkapták az eszközt, majd a képzés második részében (3 hónappal az első rész után) beszámoltak eszközhasználati tapasztalataikról is. Már ennek a képzésnek is fontos tanulsága volt, hogy ha megfelelő képzést nyújtunk a kollégák számára, akkor olyanok is szívesen használják majd, akik eredendően idegenkednek a számítógép tanórai alkalmazásától. Ezen képzés után elnyertük a Mentorháló programban egy újabb képzés tartásának lehetőségét is (*Számítógéppel segített iskolai kísérletezés és mérés* 20 órás továbbképzés; Szeged, 2011. november 18-19.; (Mentor(h)áló; TÁMOP-4.1.2-08/1/B-2009-0005), [K3.]), ezen a képzésen főként gyakorlóiskolai tanárok vettek részt. A tanítási módszer elnyerte gimnáziumi kollégáim tetszését is, amit leginkább az támaszt alá, hogy a Szegedi Regionális Természettudományos Diáklaboratóriumban is használják az eszközt és a mérési elrendezéseket. Ennek megvalósításához a további készletek elkészítése mellett felkérést kaptunk arra is, hogy a regionális laborral együttműködő iskolák tanárainak tartsunk

képzést az eszköz használatáról. Felkérés alapján tartottunk továbbképzést az SZTE Juhász Gyula Pedagógusképző Kar Képzésfejlesztési projektjében is: „*A kísérletező oktatás támogatása, számítógéppel segített kísérletek bemutatása*” 15 órás továbbképzés (Szeged, 2012 november 16-17., [K2.]) (Kimenet orientált képzésfejlesztés a Dél-alföldi Régió szolgáltató egyetemén TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0013).

Az első továbbképzés résztvevői megkapták a mérőkészleteket, közülük többen azóta is alkalmazzák azt oktatási gyakorlatukban. 2011 ősztől a szegedi Radnóti Miklós Kísérleti Gimnáziumban is van két Edaq mérőkészlet, az iskolai fizikatanárok tanulják használatát, illetve versenyfelkészítésben már használták is. Az általunk tartott képzések hatására több kolléga adott be olyan **pályázatokat**, melyben az Edaq használatát tervezi: Trauer János (József Attila Gimnázium, Makó), Moróné Tapody Éva (Tömörkény István Gimnázium és Művészeti Szakközépiskola, Szeged), Simon Tibor (Batsányi János Gimnázium és Szakközépiskola, Csongrád), Szittyai István (Németh László Gimnázium és Általános Iskola, Hódmezővásárhely).

A fejlesztések célja elsősorban az, hogy a tanárok számára jól használható segédeszközök készüljenek, ezért időről időre **műhelyfoglalkozásokat** tartottam az Eötvös Loránd Fizikai Társulat által szervezett **Fizikatanári Ankétokon**. Ezeknek a sikerét mutatja a 2008. évi eszközkiállítás III. díja és a 2011. évi műhelyfoglalkozás II. díja is. Újszerű kísérletező fizikaoktatás terén végzett munkámat a Dr. Ferenczi György Emlékalapítvány 2011-ben **Ferenczi György Emlékdíjjal** ismerte el.

Az Edaq-készletet használtuk az **egyetemi oktatásban** is: a fizikatanár-szakos hallgatók szakmódszertani laboratóriumában több gyakorlat is szerepelt, melyet ezzel a készlettel végeztek a hallgatók. Ennek hatására egy volt hallgatónk a Szegedi Ipari és Szolgáltató Szakképző Iskola Szeged-Móravárosi Tagintézményében tanulói projekt munkát tudott készíttetni a diákjaival. **Két Bsc-s szakdolgozat** is született az Edaq530 alkalmazási lehetőségeivel kapcsolatban Laczkó Alexandra és Dragicsevit Maximilián munkájaként.

A kutatásalapú tanulást segítő munkám során **meghívást kaptam a PRIMAS-projekt szegedi trénercsapatába** is, illetve Dr. Korom Erzsébet (egyetemi docens, SZTE Neveléstudományi Intézet) felkérésére szimpóziumi előadást tarthattam a XII. Országos Neveléstudományi Konferencián (Budapest, 2012. november 8-10.).

Örömünkre szolgált, hogy fejlesztéseinkhez kapcsolódóan több nemzetközi konferencia-meghívásnak is eleget tehattünk:

— MPTL14 (Udine, 2009. szept. 23-25.),



- EUPEN's 12th General Forum - EGF2010, "NEW WAYS OF TEACHING PHYSICS" (Párizs, 2010. szeptember 2-5.),
- MPTL16 (Ljubljana, 2011.09.15-17.),
- EUPEN's 13th General Forum (Limassol, 2011. augusztus 28-30.),
- CADGME 2012, (Novi Sad, 2012. június 22-24.).

Újvidéken az **Apáczai Nyári Akadémián** két alkalommal is tartottam előadást számítógépes mérésekről: „*Valódi mérések virtuális műszerekkel*” (2010.07.15.) és „*Számítógépes mérések a középiskolában*” (2011.07.13.). Bartos-Elekes István meghívására 2010. novemberében a XX. Schwartz Emlékversenyen, Nagyváradon tartottam előadást „*Számítógéppel segített iskolai kísérletezés és mérés*” címmel.

A világszerte húszmillió felhasználót elérő, ingyenes matematikai oktatási segédprogram, a Geogebra fejlesztői a matematika mellett egyre intenzívebben szeretnék támogatni a természettudományok oktatását is. Ezen törekvésük megvalósításának egyik eszköze, hogy folyamatban van az Edaq530 Geogebra integrálása, közös munkaként további természettudományos tananyagok fejlesztése.

A mérőrendszer használatát tervezik az orvostanhallgatók fizika laboratóriumi gyakorlatain is. A munkát elnyert pályázat biztosítja, melynek címe „Non-Standard Forms of Teaching Mathematics and Physics: Experimental and Modeling Approach” (MathPhys-Bridge, HUSRB/1203/221/024, partnerek: Szegedi Tudományegyetem (Bolyai Intézet és Orvosi Fizikai és Orvosi Informatikai Intézet) és Újvidéki Egyetem, Természettudományi és Matematikai Kar (Matematikai és Informatikai Tanszék)).

## ÖSSZEFOGLALÁS

Munkám során célul tűztem ki, hogy minél több lehetőséget találjak és próbáljak ki a gyakorlatban a kutatásalapú tanítás módszerének alkalmazására. A tanulói motivációt növelheti a modern eszközök használata az oktatás során, ezért számítógéppel segített mérőkísérletek kidolgozásával foglalkoztam, arra törekedve, hogy minél több esetben tanulói kísérletekben ötvözzem a két motiváló hatást. Célom egy olyan számítógépes kísérletező rendszer kidolgozása és tesztelése volt, amely alkalmas arra, hogy a magyar közoktatásban is elérhető módon segítse a kísérletező oktatást. A folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően elkészült Edaq530 mérőrendszer, valamint az ezt a rendszert vagy hangkártyát alkalmazó mérési gyakorlatok alkalmasak a mérési elvek megismertetésére, és arra, hogy a természettudomány több területén végezzenek vele mérőkísérleteket diákok és tanárok egyaránt.

A mérőrendszereket és a hozzá kapcsolódóan kidolgozott kísérleti összeállításokat három éven keresztül mérés technikai szakkörön teszteltem az SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium diákjaival, a foglalkozásokon a kutatásalapú tanulás módszerét alkalmazva.

Mérési gyakorlatokat dolgoztam át a *mechanika tanításához* kapcsolódóan, melyekben az Edaq530 alkalmazásával, a kutatásalapú tanulási módszer megvalósításával dolgozhatnak a diákok.

Szakkörös diákjaimnak a strukturált felfedezés módszerét alkalmazó feladatként tűztem ki az ütközések vizsgálatát. Saját tervezésű fotokapuink alkalmazásával minden diák kellő számú eszközt kapott, így párokban kísérleteztek a résztvevők. Vizsgálataik során maguk fedezték fel a *lendület fogalmát* és a *lendületmegmaradás törvényét*. Az eddigi gyakorlatban tanári demonstrációs célokra használt eszköz a tanulókísérleti készlet részévé vált.

Strukturálatlan feladatként tűztem ki a *matematikai inga* megismerését, az IBL-módszer Herron-modelljének legmagasabb fokozatának megfelelő mérésként. Eredményként a lengésidőt befolyásoló paraméterek meghatározása mellett a diákok a mechanikai energia megmaradásának egy szokatlan igazolását is felfedezték.

A *rezgőmozgás kísérleti vizsgálatához* gyorsulásszenzort erősítettem rugón rezgő testre, így valós időben mértem a gyorsulást, és jelenítettem meg a grafikus kijelzőn a gyorsulás-idő grafikont. Az elrendezést tanulói kísérletként is alkalmaztam. A diákok többségének nagyon nehezen érthető témakörben a saját mérési tapasztalat jelentősen

megkönnyíti a tanár és a tanuló feladatát is. (A gyorsulásszenzor megismerése a tanulókat saját telefonjainak működésének megértésében is segíti. Ennek pedig erős a motiváló hatása.)

Mindennapos eszközeinkben sok helyen alkalmaznak *Hall-szenzorokat*, egyik legelterjedtebb alkalmazásuk a sebességmérés. Utóbbi elvének megismertetéséhez alkalmazott kísérleti elrendezésemben egyenáramú motor *fordulatszámát* mérik a tanulók. A mérések közben megvizsgálták a diákok azt is, függ-e a motor fordulatszáma a kivezetésekre kapcsolt feszültségtől.

A *folyadéknyomás* tulajdonságainak megismeréséhez *relatív nyomásszenzort* alkalmaztunk. Az egyik mérőcsontot a folyadékon kívül tartva az elrendezés lehetővé tette, hogy a folyadék belsejében a légköri nyomáshoz viszonyított többletet mérjük. Ezáltal kisebb folyadékmélységek esetén is jól mérhetővé vált a nyomáskülönbség, így olyan jelenségekben is végezhattünk méréseket, ahol ez eddig nem volt jellemző. Megfigyelhetővé vált a hidrosztatikai nyomás irányfüggetlensége is. Az elrendezés segítségével mértük folyadékok sűrűségét is.

Mérési gyakorlatokat dolgoztam át a *hőmérsékletmérés alkalmazásával*. A kidolgozott kísérletek a fizika tantárgy hőtan fejezetének tanítása mellett alkalmazhatóak a környezeti nevelésben is.

Termisztorok segítségével szemléltettem a *párolgás hőelvonó* hatását, ami hiánypótló, hiszen a napi tanítási gyakorlatban csupán utalni szoktak rá. Az egyszerű kísérlet ugyanakkor a termisztorok érzékenységeinek megismerésére is kiváló lehetőséget nyújt. A folyadékok közötti *hőkiegyenlítődés* időbeli vizsgálatát is több ízben elvégezték diákjaim az Edaq530 használatával. A hőtan bevezető kísérletéhez a hőmérséklet-idő grafikonokat korábban kézzel készítettük, táblázatba rögzített mérési adatok alapján, hosszú idő alatt; most a folyamat lejátszódásával egy időben kirajzolódnak a képernyőn. A hőtani folyamatok közül a fázisátalakulások vizsgálata is kiemelt fontosságú, ezeket is valós időben kirajzolt grafikonok segítségével vizsgálhatjuk az oktatási gyakorlatban.

A tanulók hétköznapi környezetét kapcsolja össze az iskolában tanultakkal a *hővezetés*, illetve a *hőszigetelés*, *hőmegtartás* kísérleti vizsgálata. Kipróbált kísérleteink alkalmasak arra is, hogy a tanulók gyakorlat közben ismerjék meg közelebbről a természettudományok vizsgálati módszereit. A közoktatási gyakorlatban eddig háttérbe szorított kérdések az új nemzeti alaptantervvel bekerülnek az iskolai gyakorlatba, így mérőkísérleteink segítséget jelentenek a tanárok számára az új feladatok teljesítésében, a diákokat pedig a valódi környezettudatosságra ébreszthetik.

*Üvegházgázok* vizsgálatára is lehetőséget ad az elrendezésünk: megmérve, hogy hasonló körülmények között melyik gázt tartalmazó palack melegszik fel jobban, erősíthetjük a diákokban a környezettudatos szemléletet.

Kísérleti összeállításokat vizsgáltam az *elektromágnesség* témakörének tanításához. Demonstrációs összeállítást alakítottam ki *áramjárta tekercs mágneses terének* vizsgálatára. Kihasználva a Hall-szenzor érzékenységét tanulókísérletként is mérhető, hogy egy tekercsben folyó áram erősségének növekedésével egyenes arányban növekszik a tekercs belsejében a mágneses indukció nagysága. Az Edaq530 nagyon kismértékű feszültségváltozások mérésére is alkalmas. Ezt a tulajdonságot használja ki az a kísérleti elrendezés, amely a *mágneses mezőben mozgó vezetőben indukált áramot* szemlélteti. A kísérleti elrendezés a tanítási gyakorlatban a Lorentz-erő szemléltetésére szolgál, azonban kellően érzékeny műszerünkkel a patkómágnes szárai között mozgó vezetőben indukált áramot is ki tudjuk mutatni – az egyik továbbképzésen felmerült ötlet alapján elkészített kísérleti eszközzel könnyen és látványosan szemléltethető a vizsgált jelenség, az áram időbeli változását is szemléltető grafikont kapunk, a hinta mozgásával egy időben.

A *természettudományos tantárgyak összehangolását* elősegítendő mérőrendszerünket alkalmaztam kémiai és biológiai vonatkozású kísérleteknél.

Kémiai kísérletekben sokszor fontos, hogy a lejátszódó folyamatokban valós időben legyen látható a hőmérséklet változása. Erre is lehetőséget biztosít az Edaq530, amit *exoterm oldódás* vizsgálatával támasztok alá – a mérőkísérletet kémia szakos tanárkollégákkal is elvégeztettem a továbbképzések alkalmával.

A *pH-mérés* sokszor gondot jelent a kísérletező oktatásban, mert az elektródák drágák és törékenyek, az indikátorpapírok viszont pontatlanok és csak egyszer használhatóak. Felkutattam egy diáklaborok számára is alkalmas, műanyag tokozású pH-elektrodát, amit csatlakoztattunk az Edaq530-hoz. Megfelelő kalibrálás után a közoktatás számára kellően pontos méréseket tudunk biztosítani. A mérőrendszert rendszeresen használják a Szegedi Regionális Természettudományos Diáklaboratóriumában.

A természettudományok közötti kapcsolatot erősíti a kísérlet, amelyben *fotopletizmográf*ként használjuk eszközünket. A pulzus meghatározása mellett a kísérlet során valós időben rajzolódik ki a kijelzőn az ujj vérvolumenének szív ciklustól függő változása. A kísérleti elrendezés használatával diáklaboratóriumi szinten vizsgáltuk a terhelés hatását a pulzusra, és a Valsalva-manőver hatásait is kimutathattuk. Eszközünk felkeltette az Orvosi Fizikai Intézet munkatársainak érdeklődését is, kutatásokat folytatnak

arra vonatkozóan, hogyan tudják az eszköz használatát beépíteni az orvostanhallgatók alapozó laboratóriumi képzésébe.

Méréseket dolgoztam át és teszteltem *számítógép hangkártyáját alkalmazó kísérleti elrendezések* oktatási alkalmazására. A mérőkísérletekben kihasználtam a hangkártya magas mintavételi frekvenciáját, ugyanakkor speciálisan mérési célokra készült szoftvereket alkalmazok, így egyszerű és átlátható környezetben dolgozhatnak a diákok. Az alkalmazott rendszer pontos megismeréséhez egy más mérési elvvel már vizsgált elrendezést alkalmaztam: egyenáramú motor fordulatszámát mérjük, ezúttal optikai úton.

A magas mintavételi frekvencia lehetővé tette, hogy osztálytermi körülmények között vizsgáljuk *szabadesés* közben a felhajtóerő és a közegellenállás szerepét: szignifikáns különbséget mutattunk ki az esési időben akkor, amikor egyező térfogatú, de különböző tömegű testeket azonos magasságból egyszerre ejtettünk.

Hangkártyát alkalmaztam egy régi kísérlet pontosabbá tételéhez. A forgómozgás kísérleti vizsgálatára fejlesztett demonstrációs készletet használva, de stopper helyett hangkártyát alkalmazó programmal a középiskolában is kimérhető lett az, hogy tömegpont esetén a *tehetetlenségi nyomaték* négyzetesen függ a forgástengelytől mért távolságtól. A mérési gyakorlat lehetőséget biztosít a diákoknak a linearizálás gyakorlására is.

A hangkártya magas mintavételi frekvenciáját használja az a mérési összeállítás, amelynek segítségével *rezonanciajelenségeket* vizsgáltunk. Összeállításunk olyan virtuális műszert is tartalmaz, amely a vizsgált jelenség szempontjából releváns eredményeket azonnal megjeleníti. Alkalmas arra, hogy megmérjük egy hangvilla sajátfrekvenciáját, ugyanakkor az elektromos rezonanciajelenségek vizsgálatára is lehetőséget biztosít, ezáltal segíti az analógiás gondolkodás fejlesztését is.

Kutatási eredményeim mihamarabbi hasznosítása céljából olyan továbbképzési program tematikáját dolgoztam ki, amely alkalmas arra, hogy a képzést elvégző természettudományos szakos tanárok (minimális informatikai előismerettel is) képesek legyenek óráikon számítógéppel segített méréseket végezni. A program tartalmi és módszertani szempontból is újszerű, hiszen a számítógépes méréstechnikát alkalmazom kutatásalapú tanulási környezetben. Három alkalommal szerveztem és tartottam tanártovábbképzést a kidolgozott anyagok alapján, egyszer pedig meghívást kaptam, hogy kollégáimmal együtt segítsem a Szegedi Regionális Természettudományos Diáklaboratórium partneriskoláinak tanárait felkészíteni a számítógéppel segített mérések elvégzésére.

A széles körben elérhető, modern kísérletező rendszer tanulói projektekben is alkalmazható, kiscsoportos foglalkozásokban, személyre szabott feladatokban is felhasználható, a kísérletezés akár házi feladat is lehet.

Az elkészült mérőrendszerek használhatóságát igazolja, hogy alkalmazásra kerültek az SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnáziumának Szegedi Regionális Természettudományos Diáklaboratóriumában.

A mérőrendszer használatát tervezik az orvostanhallgatók fizika laboratóriumi gyakorlatain is. A munkát elnyert pályázat biztosítja, melynek címe „Non-Standard Forms of Teaching Mathematics and Physics: Experimental and Modeling Approach” (MathPhys-Bridge, HUSRB/1203/221/024, partnerek: Szegedi Tudományegyetem (Bolyai Intézet és Orvosi Fizikai és Orvosi Informatikai Intézet) és Újvidéki Egyetem, Természettudományi és Matematikai Kar (Matematikai és Informatikai Tanszék)).

A világszerte húszmillió felhasználót elérő, ingyenes matematikai oktatási segédprogram, a Geogebra fejlesztői a matematika mellett egyre intenzívebben szeretnék támogatni a természettudományok oktatását is. Ezen törekvésük megvalósításának egyik eszköze, hogy folyamatban van az Eda530 Geogebra integrálása, közös munkaként további természettudományos tananyagok fejlesztése.

## SUMMARY

### **Scientific background and research methods**

One of the most promising possibilities for renewing science education is to use inquiry-based methods. Inquiry-based learning (IBL) is driven by questions or problems, and is based on a process of seeking knowledge and new understanding. So IBL offers exciting possibilities for reforming science education and focusing on knowledge constructed by the students themselves as opposed to teacher-transmitted information.

Combining this learning method with the application of computers, we get a very efficient tool in motivating students. Using computers and other modern devices can open up new horizons in demonstrating natural phenomena and the laws that describe them. This area becomes more and more prominent in the literature of natural science education; recently, there are separate journals receiving studies in this topic (e.g. Journal of Computer Assisted Learning, Computers in the Schools etc.).

Applying computers is not restricted to showing only presentations, videos or simulations in science classes. It is also possible to carry out computer-aided experiments (as an implementation of IBL), which can help students to discover concepts and their context. Today's advanced, widely available and economic electronic solutions allow us to use sensors, digital equipment and personal computers to build a wide variety of instruments and experimental setups, as well as measure and display various physical quantities in real time.

There is a wide range of computer-controlled experimentation tools, data acquisition devices and software on the market; at the same time, these sets are usually very expensive. In many cases, these tools have the additional drawback that they are not flexible and efficient enough, so usually they can only be used for demonstration experiments. On the other hand, it would be very useful if students could make experiments by themselves in the classroom or even at home, where they could do experimental homework or come up with some new experiments – this would mean much more room for creativity, motivation and efficient learning.

Another goal is to enable users to set up and use the devices and the software quickly and easily. While some physics teachers are also experts in informatics and electronics, most of our colleagues would need low-cost measuring sets which they can use without special skills.

Based on the statements mentioned above, our research group developed different measurement solutions to help the propagation of computer-based measurements in schools. Our developments can be divided into two main groups. The first group is based on Edaq530, a low-cost, compact and easy-to-use digital measurement solution consisting of a thumb-sized USB-to-sensor interface and a measurement program. The hardware contains a single 12-bit analogue-to-digital converter unit and a three-channel multiplexer, which allows connecting three sensors to Edaq530 simultaneously. The wide range of sensors (photogates, thermistors, Hall sensors, accelerometers, pressure sensors, pH electrodes) that can be used attest to the versatility of the device. The software collects the data in the background, and can display them either on an online chart or in a numerical indicator. Edaq530 is open-source: the full documentation is available on the website of the research group.

The other path in our development work is the application of sound cards as the key components of measuring systems. Sound cards, which count as standard equipment in today's computers, can be turned into measurement tools, making experimentation very efficient and cheap: their outputs can play the role of signal generators (digital-to-analogue converters), while their inputs can be used as data collectors (analogue-to-digital converters). While using sound cards to renew measuring techniques is a common idea, in many cases, the programs applied were originally developed for other purposes; therefore, the results of the measurements might be misleading, didactically poor or even unacceptable.

Our group developed various dedicated open-source programs and measurement solutions to utilise sound cards; these developments are optimised to conform to the aims and circumstances of high-school education. The high sampling frequency (44 kHz) of the sound cards enables using them instead of oscilloscopes in certain experiments. To highlight an example of these developments, we constructed a virtual measurement solution to study resonances.

My main contribution to the work of the group was to develop specific measuring experiments and exercises in several fields of physics, and also in biology and chemistry education. I have held several student labs and teacher trainings where I could test the measurements; then I could use the experience to carry out further developments. As a teacher, I think it important to mention that I usually apply my developments in classes or teacher trainings; therefore, I also present several measurement results recorded by my students and teacher colleagues in the thesis.



As my results and experiences attest, the IBL method and its implementation with computer-aided measurements help students to improve their own analytic thinking and many other skills. The applications of our measurement solutions enhance the connection between science, mathematics and informatics. The developments that will be presented below are in use both in high-schools and in higher education. My thesis could also be a good handbook to the teacher colleagues who want to use these measurement solutions or similar ones in their work.

## **Results:**

The aim of my thesis work was to develop and test computer-based measurement methods which are applicable to support experimental natural science education in high-schools. After a continuous development process, I worked out a group of special experiments and exercises that apply the Edaq530 measurement system (<http://www.noise.inf.u-szeged.hu/edudev>) or sound-card based measurement solutions. These developments help students to acquire the principles of measurements and allow them and their teachers to measure experiments in different science classes.

I tested the measurement solutions and the experimental set-ups in student labs in the SÁGVÁRI High School for three years, applying IBL methods.

I developed measurement exercises in the topic of *classical mechanics* applying Edaq530; these developments help students to work in an IBL environment.

— An exercise, applying the method of structured discovery, is to study *collisions*. The students worked in pairs using our self-developed photogates. They were able to discover the concept of momentum and the law of the conservation of momentum via their own measurements, in both elastic and inelastic collisions. The study of collisions is usually presented carrying out demonstration experiments; my development enablesteaching this topic via student measurements.

— Studying *pendulum motion* implements the highest level of the Herron model of the IBL method. From their measurements, the students were able to determine the parameters affecting the period of the pendulum, and they also verified the conservation of mechanical energy in an unusual way.

— Attaching an accelerometer to an object on a spring, we can illustrate *harmonic oscillations*. The software displays the acceleration versus time plot online, and, switching level-crossing detection on, we can instantly read the period of the motion. I could also

apply this measurement solution in student experiments. While the topic of harmonic oscillations is usually hard to understand for students, it is particularly important to enable them to make own measurements. (To get acquainted with accelerometers is a further motivation for students, because they can learn something about how their phones work).

- *Hall sensors* are widespread devices to measure velocities in our everyday devices. I developed an experiment in which students are able to measure the rotational frequency of a simple DC motor. They can also study whether the frequency depends on voltage or not.

- To study the properties of fluid pressure we applied *relative pressure sensors* whose operation is based on the piezoresistive effect. The measurement solution is able to measure the pressure in the fluid relative to the air pressure. Therefore, pressure differences can be determined also at low fluid levels, which is a very difficult task using traditional measuring methods. With our solution it is also possible to show that hydrostatic pressure does not depend on the orientation, and it is also applicable in measuring the density of fluids.

I developed exercises based on *temperature measurement*. These exercises can be applied not only in teaching thermodynamics but also in environmental education.

- Connecting thermistors to Edaq530 we can demonstrate the *decrease of temperature* during *evaporation*. Although it is a common experience, its quantitative study is difficult in traditional ways. My simple measurement solution also gives a chance to study the sensitivity of thermistors. The students are able to study heat equalisation between liquids and phase changes by analysing the real-time curves generated by the software.

- With this measurement solution the students are also able to study the *propagation of thermal waves*, *thermal insulation*, and *heat preservation*. These exercises help students to acquire the basic research methods in natural sciences and to become environmentally aware.

- The measurement solution also allows the measurement of temperature changes of heated gas bottles containing different *greenhouse gases*. It is a good model of greenhouse effect, which help students to understand this phenomenon.

I developed measurement solutions to study phenomena in electromagnetism.

- I developed a measurement solution to study the *magnetic field of coils* at different current levels. Using a Hall sensor it is possible to record the Hall voltage as a function of the current in the coil (which yields a direct proportion between the two quantities).
- Since Edaq530 is applicable to measure very small voltage differences, we are able to demonstrate the presence of *induced current in a conductor in a magnetic field*, e.g. in the field of a horseshoe magnet. It allows us to study the properties of the Lorentz force in the classroom. With a measurement solution based on the idea that had come up at one of the teacher trainings, we are able to demonstrate the phenomenon easily and spectacularly; students can see a graph on the screen which shows the changes of the current real-time.

I developed measurement exercises which help to *harmonise knowledge in different areas of science*. These experiences can be also used in teaching chemistry or biology.

- Temperature change is one of the most important parameters in chemical experiments. Using Edaq530 is possible to measure it in real-time, which I demonstrated with studying *exothermic dissolution*. I tested the measurement exercise in teacher trainings where chemistry teacher colleagues participated.
- There is also a possibility to connect a pH electrode to Edaq530. pH measurements are very important in chemistry, but they can usually be carried out with expensive and fragile electrodes. At the same time, indicator papers can only be used once, and they allow doing measurements only with very limited precision. I found a cheap pH sensor whose robust epoxy body makes it safe to be used also by students. The pH sensor consists of a standard electrode capable of measuring the full 0 to 14 pH range with an accuracy of 0.1 pH (after calibration). The measuring system became one of the standard set-ups in the Regional Science Laboratory of Szeged in the SÁGVÁRI High School.
- Using Edaq530 as a *photo-plethysmograph* could be also an interesting physical and biological experiment, but, at the same time, a medical measurement, too. After putting one of our fingers on an infra LED and a photoresistor placed side by side, we can observe that the voltage varies according to the phase of the pulse wave. We can observe two series of maxima with different amplitudes, which shows that the atrium and the ventricle of the heart contract at different times. The Valsalva manoeuvre, another interesting phenomenon, could also be studied with our plethysmograph. We cooperate with some colleagues at the Institute of Medical Physics and Medical Informatics to incorporate our measurement solution in medical student labs at our university.

I developed and tested different measurement exercises based on the *application of sound cards*, whose main advantage is the high sampling frequency (44 kHz). We use special software to the measurements, which allows students to work in a simple and transparent environment. To explore this measurement system, I studied a known phenomenon in another way: I measured the rotational frequency of a simple DC motor using an optical method.

- The high sampling frequency allows us to study *free fall* and measure the value of the local gravitational acceleration in the classroom. The precision of our measurements makes it possible to show the influence of the drag force and the buoyant force on the value of fall time.
- I modernised a classical measurement method to study *rotational motion*. Using a sound card based measurement set-up instead of a stopper, the students were able to measure the quadratic dependence of the moment of inertia on the distance from the rotational axis. This exercise also gives a chance to students to practise linearisation.
- Using sound cards we can also study *resonances*. Our virtual measurement solution displays the relevant results real-time on the monitor. We can apply it to determine the natural frequency of a tuning fork, or study electrical resonances.

To promote the incorporation of my developments in public education, I created a *syllabus for a teacher training programme*, which prepares the teachers participating (who may have only minimal information technology or electronics skills) to carry out computer-based experiments and measurements in their classes. I have held training courses three times to teachers with my colleagues, and, additionally, I was also an invited trainer in the Regional Science Laboratory of Szeged.

As a short summary, I was one of the main contributors in developing a set of widely applicable, modern measurement solutions, which allow the teacher colleagues and their students to carry out computer-based, personalised exercises in the classroom or also at home.

Some of our developments were built into the repertoire of Regional Science Laboratory of Szeged at the SÁGVÁRI High School.

Within the confines of an international tender (“Non-Standard Forms of Teaching Mathematics and Physics: Experimental and Modelling Approach”, MathPhys-Bridge, HUSRB/1203/221/024), some of our measurement solutions will be incorporated in the

education of medical and other students at the University of Szeged and the University of Novi Sad.

The integration of the Edaq530 system into Geogebra, a world-wide used mathematics education software, is also in process. The goal of this cooperation is to develop learning materials to natural science education.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném köszönetemet kifejezni **Dr. Papp Katalinnak**, aki nélkül fizikatanár sem lettem volna soha. Tanítási módszereivel, a természettudományokat szemléltető, ismertető, népszerűsítő tevékenységével, elhivatottságával mutat példát arra, hogy a fizika szerethető és megszerettethető tudomány is lehet.

Szeretném köszönetemet kifejezni **Dr. Gingl Zoltánnak**, aki kutatásaink, fejlesztéseink során mindvégig segítette munkámat, aki kutatómunkája mellett mindig fontosnak tartotta a közoktatás támogatását előadások tartásával, eszközök fejlesztésével, tehetséges középiskolások speciális felkészítésével.

Köszönöm **Dr. Makra Péternek** a mindig gondos és türelmes segítségét programozási és a nyelvi kérdésekben egyaránt, a sok munkáját a tanártovábbképzések megtartásában.

Köszönöm **Mellár Jánosnak**, **Makan Gergelynek** a kísérleti eszközök tervezésében, kivitelezésében nyújtott segítségüket. Köszönöm a Zaj- és nemlinearitás Kutatócsoport minden tagjának a jó hangulatú munkát.

Köszönöm iskolaigazgatómnak, **Dr. Dobi Jánosnak**, és kollégáimnak, **Tóth Károlynak**, **Csiszár Imrének** a lehetőséget és a segítséget a középiskolai szakkörök megtartásához.

Köszönöm diákjaimnak az érdeklődést, a lelkes kísérletezést és az ötleteket. Köszönöm az **SZTE TTIK Kar Kutatóiskolája** pályázatnak, hogy lehetőségünk volt saját eszközöket készíteni a mérés technika-szakkör céljaira.

Köszönöm **Szüleimnek** azt a pedagóguspéldát, amit életükkel mutattak, és amire gondolva mindig tudni fogom, hogy van még hová fejlődnöm. Köszönöm **Férjemnek** a támogatását, azt, hogy kutatóként is mindig fontosnak tartotta és tartja az oktatást és annak segítségét. Köszönöm családom minden tagjának a támogatást és a megértést az elmaradó süteményekért.

Köszönettel tartozom a Fizikus Tanszékcsoportnak és az SZTE Fizika Doktori Iskolának, hogy biztosították a munkavégzésemhez szükséges körülményeket. Kutatómunkámat „Az SZTE Kutató-egyetemi Kiválósági Központ tudásbázisának kiszélesítése és hosszú távú szakmai fenntarthatóságának megalapozása a kiváló tudományos utánpótlás biztosításával” című, TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0012 azonosítószámú projekt támogatta (a projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg).

## IRODALOMJEGYZÉK

A saját publikációim számozásában alkalmazott jelek magyarázata: T: az értekezés alapjául szolgáló közlemények, E: az értekezés témájához kapcsolódó további közleményeim, K: a értekezés témájához kapcsolódóan megtartott tanártovábbképzések.

### Az értekezés alapjául szolgáló közlemények:

#### Referált angol nyelvű cikkek:

- [T1.] G Mekan, **K Kopasz**, Z Gingl: Real-time analysis of mechanical and electrical resonances with open source sound card software (Eur. J. Phys accepted for publication; Impact factor: 0.644)
- [T2.] **K Kopasz**, P Makra, Z Gingl: Student Experiments and Teacher Tests Using Edaq530, (Acta Didactica Napocensia, Vol. 6. (2013) No. 1., ., <http://adn.teaching.ro/>)
- [T3.] **K Kopasz**, P Makra, Z Gingl High resolution sound card stopwatch extends school experimentation, (Acta Didactica Napocensia, Vol. 5. (2012) No. 2., <http://adn.teaching.ro/>)
- [T4.] Z Gingl, **K Kopasz**: High-resolution stopwatch for cents (Physcs Education, 46 (2011) 430-432.)
- [T5.] **K Kopasz** et al: Edaq530: a transparent open-end and open-source measurement solution in natural science education (Eur. J. Phys. 32 (2011) 491-504. Impact factor: 0.644)

#### Referált angol nyelvű konferenciakiadványok:

- [T6.] Gingl Z, Mingesz R, Mellar J, Lupsic B, **Kopasz K**, *Efficient Sound Card Based Experimentation At Different Levels Of Natural Science Education*, MPTL16 Workshop on Multimedia in Physics Teaching and Learning and HSCI2011 8th International Conference on Hands on Science, Ljubljana, Szlovénia, 2011.09.15-2011.09.17., 2011. pp. 507/1-507/5. (ISBN:978-989-95095-7-3)
- [T7.] **Kopasz, K.**, Gingl, Z., Makra, P., Papp K.: *Virtual measurement technology in public education* (Multimedia in Physics Teaching and Learning, 14th edition) [http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/ftp/full\\_text/T3%20\\_56%20Full%20Paper.pdf](http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/ftp/full_text/T3%20_56%20Full%20Paper.pdf) (2013.09.30.)

#### Nemzetközi konferenciaanyagok:

- [E1.] Gingl Z, Mingesz R, **Kopasz K**, *Sensor-to-computer interfaces support experimental education*, Conference on Computer Algebra- and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education (CADGME 2012) Novi Sad, Szerbia, 2012.06.22-2012.06.24. p. 54-1.
- [E2.] Gingl Z, Mingesz R, **Kopasz K**, *Real experiments with sensor-to-USB interfaces*, Conference on Computer Algebra- and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education (CADGME 2012) Novi Sad, Szerbia, 2012.06.22-2012.06.24. p. 54-1.
- [E3.] **K. Kopasz**, Z. Gingl, P. Makra, B. Lupsic, *Easy and cheap measurements with a sound card*, EUPEN's 13th General Forum: "PREPARING GOOD PHYSICS TEACHERS" Limassol (Cyprus): 28-30 August 2011

- [E4.] Z. Gingl, P. Makra, **K. Kopasz**, *Thumb-size USB-to-sensor interface supports efficient experimentation in multilevel education of physics and other disciplines*, invited presentation, EUPEN's 12th General Forum - EGF2010, "NEW WAYS OF TEACHING PHYSICS", Párizs (Franciaország): 2-5 September 2010
- [E5.] **Kopasz K.**, Gingl Z., Makra P.: *Virtual measurement technology in Physics Education*, interaktív poszter szekció, „MPTL14 (Multimedia in Physics Teaching and Learning)” konferencia (Udine, Olaszország 2009. szept. 23-25.)

#### Magyar nyelvű cikkek:

- [E6.] Gingl Z. **Kopasz K** Tóth K: *Kutatás alapú tanulás számítógéppel segített mérések alkalmazásával* (Fizika Tanítása 2012/1. 22-27.)
- [E7.] **Kopasz K.** Gingl Z. Makra P. Papp K.: *A virtuális mérés technika kísérleti lehetőségei a közoktatásban* (Fizikai Szemle, 2008/7-8. 267. o.)

#### Magyar nyelvű konferenciaanyagok:

- [E8.] **Kopasz K.**: *IBL alkalmazása a fizika tantárgy tanításában, szakkörön* szimpóziumi előadás XII. Országos Neveléstudományi Konferencia (Budapest, 2012. 11. 8.10.)
- [E9.] **Kopasz K.**, Lupsic B., Gingl Z., Makra P.: „*Mérések hangkártyával egyszerűen, olcsón*” előadás („Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan” nemzetközi szeminárium magyarul tanító tanárok számára, ELTE 2011. aug. 23-25., kiadvány 252-256. oldal, elektronikus kiadvány: <http://termtudtan.extra.hu/kotet.pdf>, 2012.08.09.)
- [E10.] Gingl Z., Mingesz R., Makra P., **Kopasz K.**, Mellár J.: *Nyílt forrású szenzor-USB interfészek fejlesztése interdiszciplináris oktatás támogatására* (Informatika a felsőoktatásban 2011 konferencia, Debrecen, 2011. 08.24-26.)
- [E11.] **Kopasz K.**: *Tanulói mérések számítógéppel – egy szakkör tanulságai* műhelyfoglalkozás, II. díj, 54. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató (Sárospatak, 2011. 03. 12-15.) (műhelyfoglalkozás, II. díj)
- [E12.] **Kopasz K.**: *Számítógéppel segített iskolai kísérletezés és mérés c.* előadás, „Modern módszerek az informatika, matematika és fizika oktatásában” című konferencia, (GAMF, Kecskemét, 2011. 01. 17.)
- [E13.] **Kopasz K.**: *Iskolai kísérletezés és mérés virtuális mérés technika segítségével c* előadás, „Szakmódszertani kutatások a természettudományos, illetve a matematika és az informatika tantárgyakhoz kapcsolódóan” című konferencia (Szeged, 2010. május 20-21.)
- [E14.] **Kopasz K.**: *Virtuális mérés technika a fizika szakmódszertan laboron c.* előadás, HEFOP 3.3.3. „Új oktatási módszerek és a horizontális szempontok a kétszintű felsőoktatási rendszerben” konferencia, Szeged, (2008.09.20.)
- [E15.] **Kopasz K.**: *Virtuális mérés technika fizika szakmódszertan laboron c.* műhelyfoglalkozás, „A tanárképzés napja - I. veszprémi konferencia”, (2008.04.23.)
- [E16.] **Kopasz K.**: *Valódi mérések virtuális mérőműszerekkel – multimédiás PC-k a tanári kísérleti demonstrációban*, eszközkiállítás III. díj, 51. Országos Fizikatanári Ankét (Békéscsaba, 2008. 03. 26-30.) (eszközkiállítás III. díj)

#### Tanártovábbképzések tartása:

- [K1.] „*Korszerű, tevékenység-központú természettudományos laboratóriumi gyakorlatok vezetése a közoktatásban*” című (82/55/2012 alapítási engedély számú, 30 órás) pedagógus-továbbképzés meghívott oktatója



- [K2.] „A kísérletező oktatás támogatása, számítógéppel segített kísérletek bemutatása” 15 órás továbbképzés szervezése és tartása (Szeged, 2012 november 16-17.) (Kimenet orientált képzésfejlesztés a Dél-alföldi Régió szolgáltató egyetemén TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0013)
- [K3.] :Számítógéppel segített iskolai kísérletezés és mérés 20 órás továbbképzés szervezése és tartása (Szeged, 2011. november 18-19.) (Mentor(h)áló; TÁMOP-4.1.2-08/1/B-2009-0005)
- [K4.] *Multimédiás alkalmazások a középiskolai természettudományos oktatásban* (OKM 2/11/2006 sz.) 30 órás akkreditált továbbképzés szervezése és tartása (Szeged, 2010.03.19-20., 2010.08.24.)

### **Felhasznált irodalom:**

1. Pukánszky Béla, Németh András: Neveléstörténet, digitális jegyzet, 8.4. fejezet (<http://magyar-irodalom.elte.hu/nevelestortenet/08.04.html>)
2. Kárpáti Andrea: Digitális pedagógia – A számítógéppel segített tanulás módszerei, Új pedagógiai szemle, 1999/4, 76. o.
3. Radnóti Katalin, Nahalka István: A fizikatanítás pedagógiája, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002
4. Radnóti Katalin: Fizikatanítás a középiskolában – A 2003-as obszervációs felmérés tapasztalatai, OFI Tudástár, 2009
5. Science Education NOW: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe, 2007 ([http://ec.europa.eu/research/science-society/document\\_library/pdf\\_06/report-rocard-on-science-education\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf), 2012.08.09.)
6. Rocard-jelentés – első kézből; Szilágyi Zsuzsa interjúja Csermely Péterrel, a természettudományos oktatás megújításával foglalkozó EU-szakértői csoport magyar tagjával; Fizikai Szemle, 2007/9-10. 340.o.
7. Michel Rocard, et al.: Természettudományos nevelés ma: megújult pedagógia Európa jövőjéért, Iskolakultúra, 2010/12,13. o.
8. Csíkos Csaba: A PRIMAS projekt, Iskolakultúra, 2010/12, 4. o.
9. Nagy Lászlóné: A kutatásalapú tanulás/tanítás ('inquiry-based learning/teaching', IBL) és a természettudományok tanítása, Iskolakultúra, 2010/12, 31. o.
10. Exline, J.: Inquiry-based Learning, Concept to Classroom – A Series of Wokshops, 2004 (<http://www.thirteen.org/edonline/concept2class/inquiry/index.html>, 2012.10.31.)
11. Colburn, A.: An Inquiry Primer, Science Scope, 2000, 23/6. 42. o.
12. Spronken-Smith, R., et al.: How Effective is Inquiry-Based Learning in Linking Teaching and Research?, 2007, An International Colloquium on International Policies

- and Practices for Academic Enquiry, Marwell, Wichester, UK, April 19–21, 2007.  
(<http://www.intellcontrol.com/files/EBL/how%20effective%20is%20inquiry-based%20learning%20in%20linking%20teaching%20and%20research.pdf>, 2012.10.31.)
13. Heather Banchi, Randy Bell: The many levels of inquiry, *Science and Children*, 2008/12, 26. o.
  14. [http://www.inquiringmind.co.nz/Herron\\_Model.htm](http://www.inquiringmind.co.nz/Herron_Model.htm)
  15. Kövesdi Pál, Bonifert Domonkosné, Miskolczi Józsefné, Szántó Lajos: Fizika 8., Tankönyvkiadó, Budapest, 1981
  16. Fodor Erika, Sarkadi Ildikó: Fizika I. (munkafüzet), Tankönyvkiadó, Budapest, 1990
  17. Dr. Lang Jánosné, Dr. Diósi József: Oktatási programok a fizika tanításához, Tankönyvkiadó, Budapest, 1976
  18. Bérces György: A számítógép és az internet által kínált lehetőségek a fizika tanításában, konferenciakiadvány, „Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen nemzetközi szeminárium magyarul fizikát tanító tanárok számára”, ELTE, 2009. aug. 27-29., 515. o.
  19. Thorsten Bell, et al.: Collaborative Inquiry Learning: Models, tools, and challenges, *International Journal of Science Education*, 2010, 32/3 349. o.
  20. Marc Prensky: Digital Natives, Digital Immigrants, in *On the Horizon* (MCB University Press), 2001, 9/5, 1. o.
  21. Csapó Benő: Oktatás az információs társadalom számára, *Magyar Tudomány*, 2003/12., 1478. o.
  22. <http://www.vernier.com/labquest/> (2013. 09. 23.)
  23. <http://www.pasco.com/featured-products/datastudio/> (2013. 09. 23.)
  24. <http://www.virtins.com/page2.shtml#Oscilloscope> (2013. 09. 23.)
  25. <http://www.biopac.com/SecondaryEducation.asp> (2013. 09. 23.)
  26. <http://www.picotech.com/education> (2013. 09. 23.)
  27. Bessenyei I.: A digitális bennszülöttek új tudása és az iskola, *Oktatás-Informatika*, 2010/1-2., 24. o.
  28. Jukes, I., Dosaj, A.: Understanding Digital Children (DKs) – Teaching and Learning in the New Digital Landscape, 2006, (<http://edorigami.wikispaces.com/file/view/Jukes+-+Understanding+Digital+Kids.pdf>)
  29. [www.ni.com/education-platform/](http://www.ni.com/education-platform/) (2013. 09. 23.)
  30. [http://www.chinalabsupplies.com/free\\_fall\\_apparatus.html](http://www.chinalabsupplies.com/free_fall_apparatus.html) (2013. 09. 23.)

31. Szigetlaki Zsolt, Juhász András: Webcamlaboratory – új lehetőség a számítógépes kísérletezésben, konferenciakiadvány „Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan” nemzetközi szeminárium magyarul tanító tanárok számára, ELTE, 2011. aug. 23-25., 242. o.
32. <http://pilath.freeweb.hu/lapok/index.php> (2013. 09. 23.)
33. Piláth Károly: Rácsos spektroszkóp illesztése webkamerához, Fizikai Szemle, 2012/04., 126. o.
34. Michael Courtney, Brian Edwards: Measuring bullet velocity with a PC soundcard, 2006, (<http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0601/0601102.pdf>)
35. <http://www.instructables.com/id/More-Open-Source-Science---Determine-the-Accelerat/> (2013. 09. 23.)
36. <http://blog.sulinet.hu/csmfizika/> (2013. 09. 23.)
37. Emelt szintű fizika érettségi témakörei 2013. május (educatio.hu)
38. Martin Klaper, Heinz Mathis: 2-pound RLC meter, Elektor, 2008, 6, 64. o.
39. <http://smartphonephysics.com/home.html> (2013. 09. 23.)
40. <http://quantumprogress.wordpress.com/> (2013. 09. 23.)
41. <http://quantumprogress.wordpress.com/2012/05/24/using-smartphone-apps-to-take-physics-day-to-the-next-level/> (2013. 09. 23.)
42. <https://sites.google.com/site/physicsiphone/> (2013. 09. 23.)
43. Joel Chevrier et al: Teaching Classical Mechanics using Smartphones, 2012 (<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1211/1211.0307.pdf>)
44. [http://www.youtube.com/watch?v=r4\\_3Fv9GKQ4](http://www.youtube.com/watch?v=r4_3Fv9GKQ4) (2013. 09. 23.)
45. Randall D. Peters: Smart-phone Sensor of Pendulum Motion, 2010 (<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1012/1012.1800.pdf>)
46. Randall D. Peters: Physics Education using a Smartphone Accelerometer, 2010 (<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1012/1012.3416.pdf>)
47. Nagy Péter: Multimédiás eszközök és a számítógép használata a fizikaoktatásban, szakdolgozat, ELTE IK Média- és Oktatásinformatika Tanszék, 2009
48. Szakmány Tibor: Digitális fényképezőgép alkalmazása a fizika tanításában, Fizikai Szemle, 2007/6., 205. o.
49. Jim Giles: Smartphones put the app into physics apparatus, New Scientist, 2012, 215, 20. o.
50. Edward P. Wyrembeck: Video Analysis with a Web Camera, Physics Teacher, 2009, 47, 28. o.

51. Piláth Károly: Hitech eszközök a fizikaórán, konferenciakiadvány, „Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan” nemzetközi szeminárium magyarul tanító tanárok számára, ELTE, 2011. aug. 23-25., 247. o.
52. <http://www.instructables.com/id/infrared-digital-camera---the-real-way/?ALLSTEPS> (2013. 09. 23.)
53. W.Ogloza: Web Camera - A new tool for teaching astronomy, EU-HOU, 2005 ([http://www.euhou.net/docupload/files/Tools/Webcam/beginners/webcam\\_ang.pdf](http://www.euhou.net/docupload/files/Tools/Webcam/beginners/webcam_ang.pdf))
54. Medvegy Tibor: A Nintendo Wii felhasználása a fizikaoktatásban, TDK-dolgozat, SZTE, 2010
55. Martyn D Wheeler: Physics experiments with Nintendo Wii controllers, Physics Education, 2011, 46, 57. o.
56. Dr. Piláth Károly: Fizikaóra WiiMote kontrollerral (<http://pilath.fw.hu/lapok/efiz.php?LF=k21.htm>)
57. Fabrizio Logiurato: Teaching waves with Google Earth, Physics Education, 2012, 47. 73. o.
58. Bérces György: Informatika és természettudományok (a tanításban), konferenciakiadvány, „Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan” nemzetközi szeminárium magyarul tanító tanárok számára, ELTE, 2011. aug. 23-25., 86. o.
59. Schnell László: Jelek és rendszerek mérés technikája, Műegyetemi Kiadó, 1998
60. Gingl Z., Makra P., Mingesz R., Kish L.: Zajok és fluktuációk fizikai és biológiai rendszerekben, Doktori (PhD)-kurzusok fizikából (a. rész), szerk.: Hevesi I., Szegedi Egyetemi Kiadó, Juhász Gyula Felsőoktatási Kiadó, Szeged, 2012
61. Dr. Makra Péter: kézirat, „A kísérletező oktatás támogatása, számítógéppel segített kísérletek bemutatása” tanártovábbképzés, Szeged, 2012.11.6-7.
62. <http://www.noise.inf.u-szeged.hu/edudev/EDAQ530/>
63. <http://www.noise.inf.u-szeged.hu/edudev/Stopwatch/>
64. <http://www.noise.inf.u-szeged.hu/edudev/Thermometer/>
65. A Cmedia CM119A külső hangkártya adatlapja (<http://www.hardwaresecrets.com/datasheets/CM119A.pdf>)
66. <http://www.noise.inf.u-szeged.hu/edudev/Photogate/>
67. <http://www.noise.inf.u-szeged.hu/edudev/RealTimeAnalysisOfResonances/>
68. <http://metal.elte.hu/~phexp/doc/kin/a6s2.htm> (Juhász A.: Fizikai kísérletek gyűjteménye 1., elektronikus változat)

69. <http://metal.elte.hu/~phexp/doc/kin/a7s6.htm> (Juhász A.: Fizikai kísérletek gyűjteménye 1., elektronikus változat)
70. Rácz László: Számítógépes fizikai mérések a Cassy rendszerrel, szakdolgozat, SZTE, 2006
71. <http://www.ld-didactic.de/index.php?id=605&L=2> (2013.09.23.)
72. Lambert Miklós: Szenzorok – elmélet és gyakorlat, INVEST-MARKETING Bt., Budapest, 2009
73. Alvin Hudson, Rex Nelson: Útban a modern fizikához, LSI Oktatóközpont, Budapest, 1994
74. Linear Hall Effect Sensor adatlapja  
(<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/General/Hall-US1881EUA.pdf>)
75. Lambert Miklós: Szenzorok – elmélet 48. oldal, 1.3-28. ábra
76. <http://www.apaczai.hu>
77. Közgazdasági Politechnikum, Természettudomány – egységes természettudományi nevelést szolgáló kerettanterv (<http://poli.hu/wp/wp-content/uploads/2009/11/Term%C3%A9szettudom%C3%A1ny-kerettanterv.pdf>)
78. <http://metal.elte.hu/~phexp/doc/hot/j4s3.htm> (Juhász A.: Fizikai kísérletek gyűjteménye 1., elektronikus változat)
79. <http://www.physicsclassroom.com/Class/thermalP/u1811d.cfm> (2013.09.23.)
80. Fizika kerettanterv A-változat (2013) ([http://kerettanterv.ofi.hu/5\\_melleklet\\_5-12/index\\_8\\_gimn.html](http://kerettanterv.ofi.hu/5_melleklet_5-12/index_8_gimn.html))
81. Gróf Gyula: Hőtan fejezetek, egyetemi előadásjegyzet, BME, 2005  
(<ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/mm/hotan%20fejezetek.pdf>)
82. Korom Erzsébet: Fogalmi fejlődés és fogalmi váltás, Műszaki Könyvkiadó Kft., Budapest, 2005
83. <http://globe.superweb.hu/page1.htm> (2013.09.23.)
84. Budó Ágoston, Mátrai Tibor: Kísérleti fizika III., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999
85. Juhász A.: Fizikai kísérletek gyűjteménye 2., Arkhimédész Bt. - Typotex Kiadó, Budapest, 1995
86. Dr. Farkas Zsuzsanna, Dr. Molnár Miklós: Fizika 10, Maxim kiadó, Szeged, 2010
87. A kémia emelt szintű szóbeli vizsga B feladatának elvégzendő és nem elvégzendő kísérletei, kísérletleírása (2013), ([www.educati.hu](http://www.educati.hu))

88. Horváth Balázs, Rózsahegyi Márta Dr., Siposné Dr. Kedves Éva Dr.: Kémia 11-12, Mozaik kiadó, Szeged, 2010
89. Kutsán György: Korrózió laboratóriumi gyakorlat, digitális egyetemi jegyzet, SZTE, 2008 (<http://www.staff.u-szeged.hu/~kutsan/korrozio/kbn912/nernst.pdf>)
90. Orvosbiológiai mérés technika laboratórium; Mérési útmutatók, BME Mérés technika és Információs Rendszerek Tanszék, 2005 (<http://home.mit.bme.hu/~jobbagy/labutmutato2005.pdf>; 2011.12.01.)
91. Csík Norbert: Vizsgálati módszerek fejlesztése és alkalmazása a neurológiai fluktuációk automatizált feldolgozásában, doktori értekezés, SZTE, 2013
92. Csordás Péter: Fiziológias jelek otthoni monitorozása, BUDAMED '05 Konferencia Orvosbiológiai és Klinikai Mérnököknek, 2005. október 13, Budapest. <http://home.mit.bme.hu/~csordas/publications/Csordas-Budamed05.pdf>
93. J. Baulmann, et al: Érfali merevség: a bal kamrai hypertrophia és a szívelégtelenség új kockázati tényezője?, Orvostovábbképző Szemle, 2005/3. 76. o.
94. Részletes érettségi követelmények, testnevelés (2013), ([http://www.oktatas.hu/pub\\_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/vizsgakovetelmenyek2012/testnevelés\\_vk.pdf](http://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/vizsgakovetelmenyek2012/testnevelés_vk.pdf))
95. Zöllei Éva et al: Valsalva-manőver, Müller-manőver: Keringési- és reflexmechanizmusok, relevanciák, Orvosi Hetilap, 2007/8., 343. o.
96. Kis Tamás: A fa- és a vasgolyó Hevesen versenyzett, Fizikai Szemle, 2011/3., 101. o.
97. Mészáros Mária, Vozáry Pálné: Munkafüzet a tanulók fizikai méréseihez, gimnázium III. osztály, Tankönyvkiadó, Budapest, 1976