

# **Környezetfizika – egy sokoldalú lehetőség a középiskolai fizikatanításban**

Doktori (PhD) értekezés  
**Szeidemann Ákos**



**ELTE TTK Fizika Doktori Iskola**  
vezetője: Dr. Palla László egyetemi tanár

**Fizika Tanítása Doktori Alprogram**  
vezetője: Dr. Tél Tamás egyetemi tanár

Témavezető:

**Dr. Horváth Ákos egyetemi docens**

Budapest 2014.

## Tartalomjegyzék

<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS</b>	4
<b>1. BEVEZETÉS</b>	6
<b>2. A NAPENERGIA TANÍTÁSÁNAK NÉHÁNY ASPEKTUSA</b>	10
<b>2.1 Az energiafogalom szintézisének hiánya a középiskolás természettudományos oktatásban</b>	10
2.1.1 Az energiafogalom bevezetése a fizikaoktatás gyakorlatában	11
2.1.2 Az energiafogalom használata a fizikaoktatás gyakorlatában	13
2.1.3 Az energiafogalom megjelenése a természettudományok más területein a középiskolában	19
<b>2.2 Az energia tanításának lehetőségei a napenergiás aszalóval</b>	22
2.2.1 A napenergiás aszaló berendezés fölépítése	22
2.2.2 A napenergiás aszaló lehetőségei az energiafogalom szintézisében	24
2.2.3 Energiaátalakulás az aszalóban	27
2.2.4 Az energiaátadás formáinak vizsgálata szabadtéri fizikaórán	29
<b>2.3 Napenergiás aszaló berendezés működésének kísérleti vizsgálata</b>	40
2.3.1 A napenergiás aszaló kollektorának vizsgálata	40
2.3.2 A napenergiás aszaló hatásfoka	46
<b>2.4 Mérések elektromos aszalóval</b>	51
2.4.1 Az aszalványok tömegének időbeli változása aszalás közben	52
2.4.2 Kétkomponensű elegy párolgásának vizsgálata	57
2.4.3 Az elektromos aszaló hatásfoka	65
<b>3. A CORIOLIS-HATÁS ÉS A KÖRNYEZETI ÁRAMLÁSOK TANÍTÁSI LEHETŐSÉGEI KÖZÉPISKOLÁBAN</b>	67
<b>3.1 Tanítható-e a Coriolis-erő?</b>	67
3.1.1 A Coriolis-hatás tanításának nehézségei	67
3.1.2 Coriolis-hatás a földrajz tanításban és az érettségin	68
3.1.3 A Coriolis-hatás egy lehetséges bevezetése	71

3.1.4 <i>Módszertani mérés</i>	75
<b>3.2 <i>A tehetetlenségi körmozgás, a Foucault-inga kísérleti modellje és numerikus szimulációja</i></b>	79
3.2.1 <i>Foucault-inga modellel végzett kísérletek és értelmezésük</i>	80
3.2.2 <i>Foucault-inga modellje a tanítási gyakorlatban</i>	84
<b>3.3 <i>Áramlások hasonlósága forgatott közegekben</i></b>	91
<b>3.4 <i>Földrajz és fizika határán</i></b>	93
3.4.1 <i>Földrajzi jelenségek fizikai alapjai a földrajz oktatásában</i>	93
3.4.2 <i>Földrajzi jelenségek kvalitatív értelmezése a fűnszél példáján keresztül</i>	95
<b>4. KÖRNYEZETFIZIKA A TEHETSÉGGONDOZÁSBAN</b>	<b>101</b>
<b>4.1 <i>Tehetségek a fizikában</i></b>	<b>102</b>
<b>4.2 <i>Környezetfizika szakkör a tatai Eötvös József Gimnáziumban</i></b>	<b>105</b>
4.2.1 <i>A környezetfizika szakkör szervezése</i>	106
4.2.2 <i>A szakkör fizikai tematikája</i>	108
4.2.3 <i>Napenergia modul</i>	114
4.2.4 <i>Szakköri együttműködések</i>	117
<b>4.3 <i>Tehetséggondozó verseny</i></b>	<b>119</b>
<b>5. ÖSSZEGZÉS</b>	<b>121</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>123</b>
<b>IRODALOMJEGYZÉK</b>	<b>125</b>
<b>MELLÉKLETEK</b>	<b>129</b>

## ***KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS***

Különös köszönettel tartozom dr. Horváth Ákosnak, témavezetőmnek, aki lelkes mentorként hasznos tanácsokkal látott el, lényeges kérdésekre világított rá a cikkek és a dolgozat elkészítése közben is. Megtanított az önálló kutatómunka alfájára és ómegájára. A megfelelő pillanatokban kiváló pedagógiai érzékkel támogatott, vagy éppen precízebb teljesítményre sarkallt. Köszönöm nyitottságát a témaválasztással és a középiskolai tanítással kapcsolatban.

Hálás vagyok dr. Tél Tamás tanár úr segítségével, aki felkeltette érdeklődésemet a környezeti áramlások témájában, és az elmúlt évek során mindvégig rajtam tartotta vigyázó szemeit. Hálás vagyok dr. Juhász András tanár úr támogatásáért is, akivel a fizikatanítással kapcsolatos kérdésekről konzultálhattam. Jó volt megélni, hogy ő maga is épített egy napenergiás aszaló berendezést, amellyel közös vizsgálatokat is végeztünk. Köszönöm továbbá mindkettőjüknek, hogy lehetőséget biztosítottak konferenciákon előadásokat tartani, valamint föl vállalták, hogy segítik a fizikatanárok kutatómunkáját egy doktori iskola létrehozásával.

Kémia-fizika szakosként külön öröm volt számomra, hogy a fizika tanításával kapcsolatban kémiai ismeretek is előkerültek. Köszönöm dr. Vass Gábor vegyésznek a gyümölcsöző beszélgetéseket a párolgás fizikai-kémiai megközelítéséről, valamint a szerves minták előkészítésében és a mérések kivitelezésében nyújtott segítségét.

Kiemelt köszönet jár néhány tanítványomnak. Különös élmény volt Beck Róberttel (jelenleg az ELTE PhD-hallgatója) együtt dolgozni, aki nagy segítségemre volt a Foucault-inga szimulációs programjának elkészítésében. Bízom benne, hogy ő is sokat profitált ennek az oktatási segédanyagok az elkészítése során. Köszönöm Zichó Viktor precíz munkavégzését a napenergiás aszaló megtervezésében és kivitelezésében. Marschall Bencének pedig köszönöm a példamutatását, hiszen bebizonyította, hogy egy általános természettudományos érdeklődés elegendő lehet a fizika tudományában való elmélyüléshez.

Köszönöm dr. Sárközi Zsuzsa és dr. Jánosi Imre bírálóknak, hogy elvállalták ezt a számukra is talán ismeretlen munkát, ezzel is támogatva a fizikatanítás fejlődését.

Dolgozatomat családomnak ajánlom. Köszönöm feleségem nyitottságát arra, hogy ennyi időt és energiát áldozhattam erre a számomra hatalmas munkára. Mindvégig bízott bennem és megteremtette a nyugodt háttérrel a dolgozat írásához. Köszönöm fiaim nélkülözését, hogy megértőek voltak, amikor „apa dolgozik”.

Köszönettel tartozom a tatai Eötvös József Gimnázium és Kollégium mindenkori vezetésének, hiszen éveken át támogatták doktori tanulmányomat. Köszönet illeti kollégáimat, kiemelten a fizika munkaközösség tagjait, hogy bevezettek a fizika tanítás rejtelmeibe. Sokat konzultáltunk módszertanról, feladatírásról, tehetséggondozásról. Több évig többször helyettesítettek, és elfogadták, hogy ebben az időszakban kevesebb feladatot tudok végezni.

Céljaim eléréséhez elengedhetetlenek voltak a pályázatok, melyek megírása a dolgozat szempontjából is lényeges szereppel bírt, hiszen nemcsak az anyagi források megteremtéséhez nyújtottak segítséget, hanem mindig megadták az elkövetkező néhány hónap programját, melynek kijelölése a hatékony munkaszervezés alapja. (2009. Út a tudományhoz; 2010. OKA III.; 2010. AMET; 2011. OKA XXI., 2011. Tata Város Önkormányzata Környezetvédelmi Alapja, 2013. MATEHETSZ Gazdagító programpárok)

## 1. BEVEZETÉS

*„Az iskola dolga, hogy megtaníttassa velünk,  
hogyan kell tanulni, hogy felkeltse a tudás iránti étvágyunkat,  
hogy megtaníttson bennünket a jól végzett munka örömeire és az alkotás izgalmára,  
hogy megtaníttson szeretni amit csinálunk és hogy segítsen megtalálni azt, amit szeretünk csinálni.”*  
(Szent-Györgyi Albert)

### *A téma fontossága és újszerűsége, a környezetfizika tanításának hagyományai*

A jelenlegi fizikaoktatással (és általában a természettudományok oktatásával) tartalmi és módszertani szempontból is problémák vannak Magyarországon. A folyamatos fejlesztések, a didaktikai megújulás ellenére a tananyag és a tanítási módszerek sem kellően modernek ahhoz, hogy az adott csoport megfelelő hatékonysággal elérje a kitűzött célt: legyen az akár az általános tájékozottság a környezet jelenségeinek megértésében, akár a természettörvények mélyebb megértésének szintje. A helyzet javulását nehezíti az is, hogy a természettudományi tárgyakat is megalapozó matematikai ismeretek megszerzésére a diákok nem kapnak elegendő időt. Sajnos az érettségien sem kellőképpen hangsúlyozottak a természettudományok, ezért a tanulók azt hihetik, hogy ezekre az ismeretekre nincsen szükség. A diákok nem motiváltak, pedig a céltudatosabbak nagy részének továbbtanulási tervei között a természettudományoknak és a műszaki tudományoknak kellene szerepelnie a munkaerőpiaci lehetőségek figyelembe vételével. Sok diák a fizika tárgyát túl elméletinek, a hétköznapi életben használhatatlannak tartja. „Miért kell ezt tanulni?” Gyakran találkozhatunk hasonló kérdésekkel akár egy témakör, akár a teljes fizika tananyagával kapcsolatban. Éppen ezért is fontos, hogy az elméleti megfontolásokon túl a gyakorló tanárok is új utakat keressenek, amelyhez alkalmas terep lehet a környezetfizika tanítása.

A fizikatanítás eddigi gyakorlatában Magyarországon nem jelent meg tematikusan a tananyagban (kerettantervben) a környezetfizika. Mondhatnánk, hogy nincsenek hagyományai a környezetfizika tanításának hazánkban. Viszont ha a környezetfizikára úgy gondolunk, hogy az szemléletmódjában, illetve tartalmában is interdiszciplináris, akkor voltak előfutárai a jelenlegi törekvéseknek, gondoljunk akár Öveges professzor Időjósítás és időhatározás címmel megjelent ismeretterjesztő könyvére, vagy említhetjük Németh László elképzelését a négy tantárgyról. Ebbe a sorba illeszkednek Marx György tanár úr Atommagközelben és az Életrevaló atomok című művei, illetve gimnáziumi tankönyvei is.

Ahogy a fizika tudományában elkülönült ez a jelenségkör, úgy jelent meg a tudományegyetemek oktatott tárgyai között is a környezetfizika. Ezen belül az egyetemi oktatásban öt témacsoportot különítenek el: a zaj és zajvédelem, a sugárzások és

sugárvédelem, a környezeti anyagtudomány, a környezeti áramlások, és az energetika környezeti vonatkozásai. A két utóbbit azért érdemes kiemelni, mert tartalmukat, fogalomrendszerüket tekintve ezek állnak a legközelebb a gimnáziumi földrajz tananyagához.

### *A dolgozat célja*

Értekezésemben a környezetfizika középiskolai tanítása által nyújtott lehetőségeket tárgyalom, különös tekintettel a fizika és a földrajz tantárgyak eddig szinte egyáltalán nem kiaknázott kapcsolatára. Tapasztalataimat, módszertani kísérletezéseimet tanórai tapasztalataimon kívül az általam több évig vezetett tehetséggondozó műhelyben végzett munkára alapoztam. A szakkörön nincsenek írott kimeneti követelmények, viszont lehetőség nyílik a különböző munkaformák, tanulásformák kipróbálására, és persze elmélyülhetünk egy tanórán kisebb hangsúlyt kapott, vagy eddig egyáltalán nem tanított témában.

A nagy skálájú légköri és óceáni áramlások forgó Földön tapasztalt jelenségei a középiskolai fizika tananyag kiegészítése nélkül nehezen érthetőek meg. A földrajz kerettantervekben azonban szerepelnek [MTA, 2014]. A Coriolis-erő bevezetésének, tanításának korábbi gyakorlata [TAS, 1984] a már említett matematikai készségek hiánya miatt az utóbbi években nem volt tartható, ezért teljesen kimaradt a fizika tananyagból, már kiegészítő anyagként, olvasmányként sem szerepel a tankönyvekben [pl. HAL, 2002]. A földrajz érettségi követelményének viszont szerves része [OH, 2012], az oktatási segédanyagok azonban – ritka kivételtől eltekintve - teljesen nélkülözik a Coriolis-hatás korrekt értelmezését. Dolgozatomban a probléma egy lehetséges orvoslására bővebben kitérek.

Az energetikán belül a napenergia témával foglalkozom részletesen, hiszen ez a Földön zajló természeti folyamatok fő mozgatója, illetve bolygónk energiaháztartásában is jelentős szerepet játszik. Érdemes ezt a témát komplex módon körbejárni, hiszen az egyes diszciplínákban tanult ismereteket a diákok nehezen szintetizálják. Tapasztalatom szerint ez a szintézis megvalósítható a napenergiás aszaló berendezés segítségével. Az eszköz előnye, hogy olcsón és viszonylag könnyen elkészíthető, normál tanórán és szakkörön is alkalmazható, hiszen kvalitatív megfigyelésekre éppen úgy alkalmas, mint a működésének pontosabb megértését célzó mérések elvégzésére. Elvitathatatlan a motivációs ereje is, ugyanis az általunk is használt darab bármely család számára mintaként szolgálhat, a diákok otthon is, vagy akár az iskolában is megépíthetik. Ráadásul az aszalás folyamatának vizsgálatához számos – a hazánkban kialakult hagyományos tananyag részét képező – jelenség és fogalom kapcsolódik: anyagszerkezeti ismereteket is magában foglal és az

energetika szemszögéből is sok hasznos ismeret kerül elő (hatásfok, teljesítmény, párolgás, belső energia stb.).

Egy tanár számára mindig komoly kihívás a tehetségekkel való foglalkozás. A fizika tantárgyhoz kapcsolódóan többféle – egymással nem összevethető – tehetségtypusról beszélhetünk. Külön fejlesztést igényel például egy számításokban kiemelkedő képességű diák és egy műszaki területen tehetséges fiatal. Felismerésük és fejlesztésük más-más munkaformát és más-más célok kitűzését igényli. A környezetfizika alkalmas ennek a fejlesztő feladatnak az ellátására, maximálisan segítve a tehetséges fiatalokat a fizika tudományában való elmélyülésben.

Dolgozatommal elsősorban arra szeretném felhívni a szakma figyelmét, hogy a hagyományos fizikatanítás kiegészíthető – legalább alternatív fejezetként – a környezetfizika témáival, illetve az új kerettantervek által előírt tananyagtartalomhoz szeretnék hozzájárulni oktatási háttéranyaggal. Gyakorló tanárként annyit tehetek, hogy megosztom tapasztalataimat, módszertani kísérletezéseimet az érdeklődő szakmai közösséggel.

A fizikatanítás irányának meghatározó szereplői még ma sem értenek egyet abban, hogyan lehet megfelelni a kor kihívásainak a fizika tantárgy tartalmát és módszertanát illetően. Középiskolai tanárként úgy gondolom, hogy alapvetően szakítani kell azzal a gyakorlattal, amely pusztán a törvények megismertetésére, a fizikai jelenségeket értelmező modellekre, az elméletek történeti fejlődésére, azok érvényességi határára, és a hozzájuk vezető megismerési módszerekre helyezi a hangsúlyt.

Amíg nem változnak meg a középiskolai keretszámok, ti. a szakközépiskolások (illetve szakiskolások) és a gimnazisták számának aránya, addig elérhetetlen idea marad az az – egyébként teljesen elfogadható – cél, mely szerint „olyan ismeretek megszerzésére ösztönözzük a fiatalokat, amelyekkel egész életpályájukon hozzájárulnak majd a társadalom és a természeti környezet összhangjának fenntartásához, a tartós fejlődéshez, és ahhoz, hogy a körülöttünk levő természetnek minél kevésbé okozzunk sérülést”. [MTA2, 2014]. Ez egy olyan akadémikus cél, amely csak az „elitképzés” számára jelent járható utat.

A fizika tanítása során is lényeges szerep juthat az „érzékenyítésnek”, tehát olyan problémákon keresztül kell megközelítenünk egy-egy tananyagegységet, amely közvetlenül kapcsolódik a fiatalok hétköznapi tapasztalataihoz [RAI, 1998]. Különbözik öncélú marad az oktatás: hiába mutatunk be a tanulóknak egy-egy törvény megfogalmazásához vezető kísérleti-gondolati utat, az nem válik az átlag tanuló máskor is alkalmazható gondolkodásának részévé. Már csak azért sem, mert a legtöbb esetben lényeges szerepe van a kvantitatív



összefüggésnek is, ami a diákok többségébe nem épülhet be a matematikai hiányosságok miatt. Gondot okoz ma már az egyenes arányosság, a definíciós sémák értelmezése. A diákok olyan hiányosságokkal vágnak neki a középiskolai fizikatanulásnak, amely gyakorlatilag lehetetlen vállalkozássá változtatja a tantervekben megfogalmazott célok elérését. Azt a képet alakítja ki a fiatalokban, hogy ez az a tudomány, amely csak egy szűk réteg számára érthető, és ő nem alkalmas semmiféle fizikához kötődő probléma nemhogy megoldására, de átlátására sem.

Építenünk kell a diákokban korábban kialakult tudásra. Osztom azt a konstruktivista pedagógiai alapelvet, mely szerint „a legfontosabb a megismerési folyamatban mégis a már létező világkép, a megelőző tudás”, ami „folyamatosan változik, formálódik, átstrukturálódik a konstrukciós folyamatok közben, s ebben nem a kívülről érkező ingerek az irányító szerepet betöltő tényezők, hanem maga az előzetes tudás” – fogalmaz Nahalka [NAH, 2002].

Ebben a jelenlegi állapotban nem biztos, hogy az a leglényegesebb kérdés, hogy vajon a hőtani jelenségekkel, vagy a mechanikával érdemes-e kezdeni (bár valószínűleg néhány tapasztalt „tünet” megszüntetésére megoldást jelentene, ha 9. évfolyamon a hőtannal kezdenénk, és a kémia, illetve földrajz tanulmányokat is jobban támogatná ez a változat), hanem hogy a fizika és általában a természettudományok megítélése és az azok tanulásához szükséges attitűd hogyan változtatható meg. Fontosabbnak tartom például a fényelektromos jelenséghez kapcsolódó Einstein-egyenlet megtanításánál azt, hogy lássanak a diákok működő napelemet, vizsgálják annak jellemző paramétereit, elgondolkodjanak pl. a megtérülési idő fogalmán.

A hazai fizikatanítás ebből a szempontból szigorúbb átgondolásra szorul. Persze nem az a cél, amit már évekkel ezelőtt egy amerikai matematika professzor elrettentő példaként megfogalmazott: „Matekóra 1950: Egy favágó egy teherautónyi fát 100 dollárért ad el. A költsége az ár 4/5 része. Mennyi a haszna? ... Matekóra 1990: Egy gyönyörű erdő kivágásával egy favágó 20 dollárt keres, mert önző, és nem törődik sem az állatok élőhelyével, sem erdőségeink megőrzésével. Mi a véleményed az ilyen foglalkozásról? Meséld el, hogyan érezhettek az erdő madarai és mókusai! (Minden megoldás helyes!)” [JEF]

Meggyőződésem, hogy ez az értekezés is egy apró állomás azon az úton, amit korunk hazai fizikatanításának be kell járnia.

## ***2. A NAPENERGIA TANÍTÁSÁNAK NÉHÁNY ASPEKTUSA***

Modern fizika alatt hagyományosan a XX. század fizikáját szokás érteni és nem feltétlenül azt, amivel manapság a fizikusok foglalkoznak. Talán ez a gondolat az, ami miatt a társadalom (beleértve a természettudományokat tanuló diákságot is) önmaga számára megközelíthetetlennek és érthetetlennek tartja a tudományt. Nem érdekelt annak megértésében, pedig a hétköznapi életünket befolyásoló technikai alkalmazások, természeti jelenségek értelmezése nem igényel minden esetben extra intellektuális teljesítményt. A napsugárzással kapcsolatos ismeretek egy része is ilyen, gondoljunk csak a szivárványra, vagy akár az egyre elterjedtebben használt napkollektorra. Ezért is érdemes a közoktatásban ezekre helyezni a hangsúlyt.

### ***2.1 Az energiafogalom szintézisének hiánya a középiskolás természettudományos oktatásban***

Az energetika tanításához több ponton is kapcsolható a napenergia (hőtan, elektromosság, modern fizika), amelyről a hétköznapi életben a diákok sokkal többet hallanak, mint pl. a mozgási vagy akár a helyzeti energiáról. Ezekhez képest kevésbé elvont fogalom a napenergia, mert a diákok előzetes tudása ehhez illeszkedik.

Napjainkban sok ember számára gyakori beszédtema lett az egészséges táplálkozás éppúgy, mint a megújuló energiák. Diákjaink is sokat hallhatnak a fenntartható fejlődésről. Ehhez a gondolatkörhöz érdemes nagyobb motivációval kapcsolódnia a fizika tanároknak is a tanítási gyakorlatban, hiszen a tudomány járuléka ezen a területen is nagy jelentőségű lehet. Nemcsak a fogalmak tisztázása miatt, hanem pl. az energia felhasználásának és az igényeknek a nagyságrendjéről adhatunk hitelesebb információkat tanítványainknak.

Alapvetően ez vezérelt, amikor tanítványaimnak javasoltam egy napenergiás aszaló berendezés megépítését. Néhány szakkörös érdeklődő diákom megvalósította a közösen végiggondolt terveket, és készítették egy berendezést. A már korábbi években elindított környezetfizika szakkör ettől a pillanattól kezdve új irányt vehetett, ti. az elméleti megfontolásokon túl mérési gyakorlatokat is tudtunk végezni, amihez számos eszközt szereztem be pályázati forrásból. Már nemcsak beszélgettünk a napenergiáról, hanem konkrét vizsgálatokat, méréssorozatokot és innovációs munkát is végeztünk. A fizikai tudás része lett egy komplexebb és életszerűbb gondatkörnek. Megindulhatott az a fejlesztő munka, amely lehetővé tette, hogy környezetfizika témájú tananyagban is gondolkozhassak. Lefektettem az alapjait egy természettudományos csoport számára készítendő, a napenergia témáját tárgyaló fejezetnek.

### 2.1.1 Az energiafogalom bevezetése a fizikaoktatás gyakorlatában

A fizikatanítást a legutóbbi harminc évben több változás is érintette. Az egyik lényeges tendencia az óraszámok alakulása (amit nagyobb időtávlatban is érdemes megvizsgálni, 2.1. táblázat):

<i>2. táblázat</i>									
<b>Általános iskolai és gimnáziumi tantervekben a fizika tanítására fordított idő</b>									
tanterv megnevezése	általános iskola			gimnázium				össz óra	
	6.	7.	8.	I.	II.	III.	IV.		
1946-os tanterv	humán	–	3	–	2	4	4	13	
	reál	–	3	–	3	4	4	14	
1950-es tanterv	humán	–	3	2	–	2	4	15	
	reál	–	3	2	–	2	5	17	
1962-es tanterv		2	2	2	–	3	3	4	16
1965-ös tanterv		2	2	2	–	2	4	4	16
1978-as tanterv		2	2	2	2	2	3	3	16

#### 2.1. táblázat A fizika tantárgy óraszámának alakulása 1946-1978 között [SZA, 2009]

2000-ben 9,5-re, 2003-ban 9-re csökkent az összes óraszám, vagyis történelmi mélypontra került ez a mutató (hasonlóan a többi természettudományos tárgy esetében is ez a tendencia zajlott). Ez már önmagában azt jelentette, hogy a fizikaoktatásnak szakítania kellett a korábbi gyakorlattal. Mindemellett véleményem szerint ez az egyik oka annak, hogy a fizika tantárgy (és a társtudományokhoz kapcsolódó tantárgyak) társadalmi és egyben a diákok körében való elfogadottsága, megítélése is erőteljesen romlott. Ezzel a drasztikus változással járó kihívással a mai napig nem tudott megbirkózni a fizika tantárgy. Van természetesen elmozdulás, például a mai fizika tankönyvek információtartalmát a régiekkel összehasonlítva lényegesen több hétköznapi jelenséget ismerhetnek meg a diákok, de alapvető módszertani fejlesztések nem következtek be, beleértve a tanárképzés modernizációjának hiányát is.

A gimnáziumi tananyag felépítését tekintve a legjelentősebb változás talán az volt az utóbbi húsz évben, hogy míg korábban az anyagszerkezet, hőtani ismeretek az első év anyagában kaptak helyet, addig ezek egy része maradt csak meg a második évben, illetve a statisztikus fizika teljesen kimarad a tananyagból.

A jelenlegi kerettantervek többsége [OH2, 2011] a mechanika tanításával kezd, majd a hőtan, elektromágnességtan és a modern fizika fejezetei következnek. Ennek a sorrendnek

döntő befolyása van az energia fogalmának pontosításában is, hiszen nem mindegy, hogy az előzetes tudás hogyan változik, átstrukturálódik-e egyáltalán. A diákokban élő gyermektudomány szerint [NAH2, 2002] „az energia termelődik és elhasználódik, vagyis nem érvényes benne az energiamegmaradás elve”. Nahalka szerint „az alsó tagozatosoknak írt tankönyvek hibái szinte előre programozzák a sajátos, a tudományétól eltérő elképzelések kialakulását”. A fizikatanításnak ezeket is figyelembe kell vennie.

Néhány fizikus javaslata, hogy válasszunk egy külön definiált mennyiséget a hétköznapi energiafogalom értelmezéséhez, ez az ún. exergia. Nem tudok semmilyen pedagógiai mérésről, amely alátámasztaná, hogy az exergia fogalmának bevezetése az energiával kapcsolatos pontatlanságokat kimutatható mértékben csökkentené a tanulók gondolkodásában. Persze nagyon nehéz is lenne egy ilyen mérés elvégzése, hiszen az exergia fogalma nem terjedt el a tudományos gondolkodásban. Véleményem szerint nem ez a megoldás, hiszen ezzel inkább csak egy újabb elméletben bevezetett fogalom megértésével kellene megbirkóznia a diákoknak. Sőt kérdés, hogy más tantárgyak hogyan kezeljék ezt az új fogalmat. Ugyanúgy építenünk kell a tudomány „hozott tudására”, kialakult fogalomrendszerére, mint a diákok esetében. Bár voltak a tudomány fejlődésében olyan jelentős felfedezések, amelyek gyökeresen változtatták meg pl. az energiával kapcsolatos korábbi ismereteinket – gondoljunk csak a speciális relativitáselméletben megfogalmazott  $E=mc^2$  természettörvényre -, de azok esetében is hosszú időnek kell eltelnie ahhoz, hogy pontosan használjuk minden szinten és ne alkalmazzuk azt pl. a foton tömegének a definiálására. Nem vitatom természetesen az exergia fogalmának létjogosultságát bizonyos problémák tárgyalása esetén, hiszen a rendszerből kinyerhető maximális munkavégzőképesség sok esetben fontos információ lehet (pl. a fizikai-kémia által tárgyalt számos folyamat). De valóban, az alapkérdés az, hogyan vezessük be az energia fogalmát, hogy aztán használható legyen? Irányadóak lehetnek Feynmann gondolatai, aki bár nem ad egészen precíz definíciót Mai fizika című könyvsorozatának I. kötetében, de tökéletesen érzékelteti, hogy egy a fizikában kulcsfontosságú, megmaradó mennyiségről van szó.

Az energiafogalom tanításával kapcsolatos probléma gyökerét abban látom, hogy nem történik meg a szintézis, ahol az egyes tanórákon tanult energiakép „összegyúrásra” kerül. Kevés tanulóban alakul ki az a - hibái ellenére (ti. hogy az erőt azonosítja az energiával) – minimálisan elvárható és egészen jól használható energiafogalom, ami pl. Móra Ferenc gondolkodásában megjelent. „*A kezemmel az asztalra ütök: a kezem ereje átváltozik hanggá és hővé. A kezem erejével elhajítom a követ: a kezem ereje átváltozott mozgási energiává. A*

*nap sugárzó energiája létrehozta a sigillaria-erdőt, a sigillaria- erdőből lett a kőszén. A gépházban a kőszén lappangó energiája átalakul hővé, ebből a hőből csinál a gőzgép mozgási energiát. A mozgási energia dinamókat hajtva elektromos energiává lesz, s ez megint kocsikat hajt, a kocsiban levő elektromotor mágnesének helyzeti energiájából átalakulván a kocsi mozgási energiájává. Ez az energia pedig, mikor a kocsit megállítják, a fékezőhöz való súrlódással átalakul hővé. A sorozat a nap melegével kezdődött, és a fékezőével végződik.”*  
[MÓR, 1914]

Egy nemrégiben készített felmérés alapján [JUH, 2011] is az látható, hogy általában felületes a diákok fogalomrendszere az energia kapcsán. A cikk rávilágít néhány olyan – a gyakorlatban is érzékelt – problémára, amellyel gyakorló tanárként én magam is nap mint nap szembesülök.

Például a diákok jelentős része arisztotelészi szemlélettel rendelkezik, gondot okoznak az egyszerű hétköznapi alkalmazások (a tesztben egy gázzámla értelmezése volt a feladat), a problémamegoldás akár a szövegértési szinten is elakadhat, és erősen jelen van a diákok gondolkodásában az áltudomány is. A felmérés összegzésében a szerzők megerősítik azt a gondolatot, mely szerint a természettudományos oktatás lezárásaként hasznos lenne egy integrált szemléletű tantárgy. Ezt a funkciót – véleményem szerint – a jelenlegi struktúrában a földrajz láthatná el [MAK, 2011]. Természetesen ehhez a földrajz tanárok képzésének is igazodnia kellene.

### *2.1.2 Az energiafogalom használata a fizikaoktatás gyakorlatában*

Három, széles körben elterjedten használt fizika tankönyvcsaládot áttekintve elég pontos képet kaphatunk arról, hogy a fizika tanításában hogyan jelenik meg az energia fogalma (2.2., 2.3., 2.4. táblázat). Különös tekintettel kell lennünk az egyes fogalmak egymásra épülésére, az energia fogalmának szintézisére. Az összehasonlítást a Mozaik, a Nemzeti és a Maxim Tankönyvkiadók 9., 10. és 11. évfolyamos fizika tankönyvére végeztem el.

		MOZAIK [HAL, 2002]	NEMZETI [CSA, 2009]	MAXIM [NAG, 2009]
		Különálló fejezetként <b>25 oldal/139 oldalból</b> <b>(18%) a 9. évfolyamon</b>	Különálló fejezetként <b>37 oldal /159 oldalból</b> <b>(23%) a 9. évfolyamon</b>	Különálló fejezetként <b>37 oldal / 167 oldalból</b> <b>(22%) a 9. évfolyamon</b>
<b>9. évfolyam</b>	<i>fogalom megjelenése</i>	változtató képesség, megmaradó, skalár mennyiség	nem definiálja, csak energiatípusonként, munkavégző-képesség, skalár mennyiség	munkevégző, melegítő képesség, skalár mennyiség
	<i>kapcsolódó fogalmak a megjelenés sorrendjében</i>	munka, gyorsítási munka, mozgási energia, forgási energia, munkatétel, feszítési munka, rugalmas energia, emelési munka, helyzeti energia, mechanikai energia, mechanikai energia megmaradásának törvénye, konzervatív erő, teljesítmény, hatásfok	munka, gyorsítási munka, mozgási energia, húzóerő munkája, rugalmas energia, emelési munka, helyzeti energia, konzervatív erő, mechanikai energia megmaradása, súrlódási erő munkája, energiafelhasználás, energiaforrás, a Föld energia- háztartása, üvegházhatás, energiafajták előállítás, teljesítmény, hatásfok	munka, változó erő munkája, mozgási energia, kölcsonhatási energia, mechanikai energia, gyorsítási munka, mozgási energia, forgási energia, emelési munka, konzervatív erő, súrlódási munka, disszipatív erő, kölcsonhatási energiák (magassági energia, gravitációs kölcsonhatás energiája, rugóenergia), mechanikai energia megmaradás törvénye, teljesítmény, hatásfok

**2.2. táblázat Az energiához kapcsolódó fogalmak három elterjedten használt fizika tankönyvben, 9. évfolyam**

	MOZAIK [JUR, 2009]	NEMZETI [PÓD, 2010]	MAXIM [FAR, 2010]
	<b>Minden fejezetben találhatóak kapcsolódó fogalmak.</b>		
<b>10. évfolyam</b>	<i>kapcsolódó fogalmak a megjelenés sorrendjében</i>		
	hőmérséklet, hőmennyiség, belső energia, mechanikai munka, a termodinamika I. főtétele, fajhő, hőkapacitás, kalorimetria, latens hő, olvadáshő, forráshő, párolgáshő, a termodinamika II. főtétele, hő(egyensúlyi) állapot, az elektrosztatikus mező konzervatív, feszültség, potenciál, elektromos mező energiája, elektromos energia, kémiai energia, áram munkája, áram hőhatása, elektromos teljesítmény, névleges teljesítmény, fényenergia	hőmérséklet, hő, belső energia, termikus egyensúly, térfogati munka, a hőtan I. főtétele, általános energiatétel, hőkapacitás, fajhő, a hőtan II. főtétele, olvadáshő, párolgáshő, forráshő, üvegházhatás, kalorimetria, hővezetés, hőáramlás, hősugárzás, az elektrosztatikus mező konzervatív, feszültség, potenciál, kondenzátor energiája, elektromos energia, elektromos áram munkája, áram hőhatása, áram teljesítménye, névleges teljesítmény, energiatakarékosság, kémiai energia, fény energiája	hőmérséklet, hőmennyiség, belső energia, mechanikai munka, termodinamika I. főtétele, kalorimetria, hőkapacitás, fajhő, latens hő, olvadáshő, forráshő, párolgáshő, a termodinamika II. főtétele, hőerőgépek és hatásfokuk, az elektrosztatikus mező konzervatív, feszültség, potenciál, az elektromos mező energiája, fogyasztó (energiaátalakító eszköz), kémiai energia, elektromos energia, áram munkája, fogyasztó által felvett teljesítmény, fényenergia

**2.3. táblázat Az energiához kapcsolódó fogalmak három elterjedten használt fizika tankönyvben, 10. évfolyam**

	MOZAIK [HAL, 2005]	NEMZETI [DÉG, 2012]	MAXIM [MEZ, 2011]	
	<b>Minden fejezetben találhatóak kapcsolódó fogalmak.</b>			
<b>11. évfolyam</b>	<i>kapcsolódó fogalmak a megjelenés sorrendjében</i>	<p>mozgási energia, rugalmas energia, helyzeti energia, mechanikai energia, csillapított rezgés, csatolt rezgés, rezonancia, hangerősség, elektromos mező energiája, mágneses mező energiája, energiavesztés, áramforrás energiája, tömeg-energia ekvivalencia, kvantum energiája, foton, kilépési munka, pálya energiája, alapállapot, gerjesztett állapot, ütközési energia, kötési energia, sugárzási energia, elnyelt dózis, villamosenergia-termelés, sugárzási teljesítmény</p>	<p>mechanikai energia, mozgási energia, rugalmas energia, rezgési energia (mozgási+rugalmas), disszipáció, rezonancia (leghatékonyabb energiaátadás), csatolt rezgés, földrezgés energiája, energiaterjedés (hullémterjedés), hagteljesítmény, hangenergia, Lenz-törvény (energiamegmaradás következése), hőenergia, mágneses energia (mágneses mező energiája), meddő energia, látszólagos teljesítmény, teljesítménytényező, elektromágneses hullám energiája, napállandó, sugárzási energia, energiakvantum, tömeg-energia ekvivalencia, kilépési munka, foton, pálya energiája, alapállapot, gerjesztett állapot, kötési energia, hasadási energia, hőteljesítmény, villamos teljesítmény, csillagok energiatermelése, elnyelt dózis, megújuló energiák, napenergia, biomassza, geotermikus energia, vízenergia, fúziós energiatermelés</p>	<p>rezgő rendszer energiája (a test és a rugó együttesének energiája), mozgási energia, helyzeti energia (rugalmas, magassági energia), rezgő rendszer (egyesített) potenciális energiája, csillapított rezgés, rezonancia, csatolt rezgés, hangerősség, Lenz-törvény (energiamegmaradás következése), váltakozó áram pillanatnyi és hatásos teljesítménye, mágneses mező energiája (másutt tekercs mágneses energiája), elektromos mező energiája (másutt kondenzátor energiája), elektromos energia szállítása, kisugárzott energia, energiaadag, foton, kilépési munka, állandósult állapotok, gerjesztés, alapállapot, tömeg-energia ekvivalencia, kötési energia, elnyelt dózis, atomenergia</p>

**2.4. táblázat Az energiához kapcsolódó fogalmak három elterjedten használt fizika tankönyvben, 11. évfolyam**



Az áttekintő táblázatokban látható, hogy jelentős különbségek nincsenek az energia fogalmának bevezetése kapcsán, bár az szembeötlő, hogy egyedül a Nemzeti TK. könyve foglalkozik közvetlenül környezeti vonatkozásokkal [DÉG, 2012]. Alapvetően a mechanika tárgyalása kapcsán definiálják az energiát a 9. osztályos tankönyvekben, így a munka fogalmának irányából közelítik meg az energia fogalmát, bár a Mozaik kiadó könyvében kiemelt hangsúlyt kap már a bevezetésnél az energia megmaradó mennyiség jellege. *„Az energia olyan általános fogalom, amelynek pontos értelmezése elemi szinten (megj.: jelen keretek között, a szerző) nem lehetséges. Ezért még a középiskolában is meg kell elégedni olyan energiafogalommal, amelyet jellemzőinek bemutatásával, tehát a fogalom közelítő körülírásával fokozatosan értelmezhetünk. Az energia legfőbb jellemzői a következők: a testek, testrendszer állapotával kapcsolatos kölcsönhatás közben változik, és megmaradási törvény érvényes rá.”* [HAL2, 2002]

Azonban ha az energia fogalmának kialakítása, megszilárdítása tekintetében ezeket a tankönyveket részletesebben is tanulmányozzuk, akkor érdekes módon pontosan azokkal a hibákkal találkozhatunk, amelyeket kerülendőnek gondolunk tanítványaink szóhasználatában is. Itt elsősorban olyan megfogalmazásokra gondolok, amelyek inkább XIX. században uralkodó 'caloricum' elméletből táplálkoznak [SIM, 1978]. Gyakran olvashatunk az energia tárolásáról, szállításáról, termeléséről.

Álljon itt néhány példa ennek illusztrálására:

- i.) *„A hőmennyiséget régen 'súlytalan folyadéknak' tekintették. Ma már tudjuk, hogy ez az energia egyik fajtája, a hőenergia.”* (Írják a szerzők a hő definíciójának kiegészítéseként, Nemzeti TK. 10.osztály, 8.oldal)
- ii.) *„...a labda mozgási energiája a mező energiájából származik (majd hang és sűrűlódás formájában távozik a rendszerből). A feltöltött kondenzátornak van energiája.”* (Nemzeti TK. 10. osztály, 118. oldal)
- iii.) *„Ha két különböző fém mindegyike a saját ionjait tartalmazó elektrolitoldatba merül, akkor köztük feszültségkülönbség jön létre.”* (Nemzeti TK. 10. osztály, 149. oldal)
- iv.) *„Ezeket az autókat villanymotor hajtja, amely a nikkel-fém hibrid vagy lítiumion-akkumulátorból nyeri az energiát... Egy akkumulátor helyigénye és tömege sokszorosa az ugyanannyi energiát hordozó benzinének.”* (Nemzeti TK. 10. osztály, 151. oldal)

- v.) „*A napfényből elnyelt energia az akkumulátorban tárolva eltehető fényszegény időszakokra is.*” (Nemzeti TK. 10. osztály, 156. oldal)
- vi.) „*Szkennelés során rétegenként kis többletenergiával bombázzák a protonokat..., eközben a kapott energiát visszasugározzák, melyet a berendezés detektorai dolgoznak fel.*” (Nemzeti TK. 11. osztály, 68. oldal)
- vii.) „*Az elektromágneses hullámnak van energiája, lendülete, tömege, tehát az anyag egy megjelenési formája.*” Később az energiával tömeget is definiál! (Nemzeti TK. 11. osztály, 114. oldal)
- viii.) „*Ezekben az erőművekben a hő raktározását is sikerült valamelyest megoldani...*” (Nemzeti TK. 11. osztály, 264. oldal)
- ix.) „*... a mágnes maga körül egy önálló létezéssel bíró, szemmel nem látható különleges anyagot hoz létre, amelyet mágneses mezőnek nevezünk.*” (Maxim TK. 11. osztály, 66. oldal)
- x.) „*Az akkumulátor a feltöltésekor elraktározott kémiai energiát adja vissza, amikor elektromos energiát szolgáltat.*” (Maxim TK. 10. osztály, 209. oldal)
- xi.) „*A napelemek, más néven fényelemek, mint a nevük is mutatja, a fényenergiát elektromos energiává alakítják. Lényegében tehát feszültségforrásként foghatók fel.*” (Maxim TK. 10. osztály, 231. oldal)
- xii.) „*A Nap energiával árasztja el az egész Földet.*” (Maxim TK. 9. osztály, 161. oldal)

Az idézett részek alapján leszűrhetjük: még ma sem tűntek el a tudománytörténet egyes korszakaiban megjelenő kifejezések, illetve hogy a szerzők ebből a szempontból nem elég körültekintőek. A hőt sok esetben azonosítják az energiával (i., viii.), az energia fogalmát raktározható anyagként használják (iv., v. viii., x.), de az sem egyértelmű, hogy mihez rendelik az energiát, mint mennyiséget (ii., vii., ix., xi.).

A tankönyvírók persze nincsenek könnyű helyzetben, hiszen egyszerre kell a tudomány precíz fogalomrendszerével dolgozniuk, miközben segíteniük kell a tanulók meglévő ismeretrendszerének fejlesztését. Ráadásul általában rövid határidőn belül kell dolgozniuk, ami nem teszi lehetővé, hogy például az energia kapcsán egy teljes fogalmi hálót végiggondolhassanak.

Véleményem szerint azonban ez a kisebbik gond, hiszen a tudománytörténet is bejárta ezt az utat. Hiányolom viszont, hogy nem történik meg a tanulmányok végén a szintézis, illetve a fogalmak pontosítása!

### 2.1.3 Az energiafogalom megjelenése a természettudományok más területein a középiskolában

A természettudományok hazai középiskolai oktatásában kevés kulcsfogalom esetén állíthatjuk, hogy valóban interdiszciplináris módon megjelenik az egyes tantárgyak fogalmi rendszerében. Ha közelebbről megvizsgáljuk a tantárgyakon való átívelést célzó koncepciót, akkor talán az energia fogalma az egyetlen (de legalábbis a leggyakrabban használt), amely minden természettudományos tárgy esetében nap mint nap előkerül. A ma Magyarországon elfogadott kerettantervek közül az MTA nevével fémjelzett változatokat alapul véve egy gyors elemzést tarthatunk. A fizika, kémia, földrajz, biológia tantárgyak gimnáziumi kerettanterveiben az alábbi (2.5. táblázat) gyakorisággal fordul elő az energia kifejezés:

	<b>A változat</b>	<b>B változat</b>	<b>emelt szint</b>
<b>biológia</b>	<b>29</b>	<b>14</b>	<b>17</b>
<b>kémia</b>	<b>43</b>	<b>40</b>	<b>79</b>
<b>földrajz</b>	<b>12 (nincsenek külön verziók)</b>		
<b>fizika</b>	<b>85</b>	<b>102</b>	<b>127</b>

**2.5.táblázat Az energia szó előfordulási gyakorisága az MTA természettudományos kerettantervében tárgyak szerint [MTA, 2014]**

A gimnáziumba már egy – az ő szempontjukból - kialakult energiaképpel érkeznek a gyerekek, ami nem precíz, de ez már nehezen alakítható előzetes tudás. Ez azért is érdekes, mert a természettudományok tanításával kapcsolatban egyre erősebb az igény, hogy komolyabban megjelenjen az interdiszciplinaritás. Amennyiben viszont az egyes tárgyak keretében az olyan kulcsfogalmakat, mint az energia nem egységes szemléletben használjuk, a fizika tantárgy keretében az energiafogalom megszilárdítása nem lesz lehetséges. Véleményem szerint ilyen okok miatt nem lenne célravezető az integrált természettudományos tantárgy bevezetése. Csak nagyon kevesen lennének képesek minden tudományterület fogalomrendszerét adekvát módon átadni tanítványaiknak. Meggondolandó lenne viszont legalább egy általános természettudományos, szintetizáló projektekre alkalmas modul az egyes tantárgyak záró témaköröként néhány órában, ahol a közös pontokat tárgyaljuk meg a diákokkal (lásd a tehetséggondozással foglalkozó fejezet).

Beszédes az utóbbi években használatos néhány kiválasztott tankönyv szóhasználatának áttekintése is, hiszen (mint ahogy a fizika tankönyvekkel kapcsolatban is megjegyeztem) a tanárok és tanulók fogalomrendszerének megszilárdításában ezeknek a segédeszközöknek kulcsszerepe van. Pontosan azok a hibás, pontatlan megfogalmazások jelennek meg a társtudományok tankönyveiben, amelyeket feltártam a fizika tankönyvek kapcsán is. Ha idézünk néhány mondatot, mint irányadó és „közvetítendő” ismeretet az egyes tantárgyakhoz

kapcsolódó részekből, akkor kiderül, hogy miért nem alakul ki egységes energiafogalom a diákokban. Gyakran találkozhatunk a föld hője, geotermikus hő, hévíz hője, fényenergia, energiatermelés, hőenergia kifejezésekkel, de sajnos ennél durvább hibák is előfordulnak pl. hogy a maghasadást azonosítják a radioaktív bomlással. Az energia állapotjelző volta egyáltalán nem jelenik meg ezekben a szövegekben. A 2.6. táblázatban három ad hoc kiválasztott kémia, földrajz és biológia tankönyv szóhasználatát tüntettem föl, melyek egyértelműen mutatják a pontatlan fogalomhasználatot, nem gondolva annak következményeire. A kémia tudománya természetesen saját fogalomrendszerrel rendelkezik, ami megmutatkozik a szóhasználatában is. Ez a tradicionális, tehát nehezen megváltoztatható nyelvezet azonban zavaró lehet a diákok számára, hiszen nem minden esetben van összhangban például a fizika tudományának elfogadott fogalomrendszerével. Ugyanis a fizikában az energiamegmaradás az egyik legfontosabb természeti törvény, amelyet a jelenségek, folyamatok tárgyalásakor alkalmazhatunk. Ezzel ellentétes értelmezést eredményezhet az energiatermelés lehetősége (kémia első két idézete). Az erő és a munka fogalmának keveredését (ami szintén alapprobléma a tanulók körében) erősíti az elektromotoros erő kifejezés, az energia és a hő fogalmak összemosódása pedig a kémia tanítása során is gyakori. Hasonló problémákat láthatunk a földrajz és a biológia esetében is. Kerülendő (tankönyvi szövegek esetében legalább is) a hőenergia, hővisszatartó, ill. hőtároló képesség, hőkiegyenlítés kifejezés éppúgy, mint az energia (nem modern fizikai értelemben vett) anyagként való kezelése. Ezért a tankönyveknek nagy pontossággal és egymással összehangolva kellene a természettudományokban használatos fogalmakat kezelnie. Nem csak az a fontos, hogy érintsék a társtudományok közös témaköreit, hanem egymásba simuló fogalomrendszerrel dolgozzanak. Nem lenne haszontalan talán az sem, ha az egyes tantárgyakhoz kapcsolódó taneszközöket a többi tudományterület művelői közül is lektorálnák néhányan.

	<b>tankönyvi szöveg</b>
<b>Kémia / 9. évfolyam</b> [SIP, 2001]	„A hidrogénbomba, a Nap és a csillagok egy része is így termeli az energiát.” (p.26.)
	„Az energia termelésének egyik formája sem kockázatmentes.” (p.27.)
	„A reakcióhő megadja, hogy mekkora hőváltozás kíséri a reakcióegyenlet által feltüntetett minőségű és mennyiségű anyagok átalakulását.” (p.110.)
	„Az elektromotoros erő az elem maximális munkavégző képességének a mértéke.” (p.144.)
	„Az elektrolízis elektromos energia hatására bekövetkező redoxireakció.” (p.152.)
<b>Földrajz / 9. évfolyam</b> [NEM, 2002]	„A Nap energiatermelését a hidrogén héliummá való, atommag-reakcióban lejátszódó átalakulása biztosítja.” (p.12.)
	„A legerősebben kibocsátott energia a kék szín tartományába esik.” (p.92.)
	„A légkörnek ez a hővisszatartó tulajdonsága az üvegházhatás.” (p.97.)
	„... a nagy fajhőjű vízfelületek felmelegítéséhez eleve több hőenergia szükséges.” (p.98.)
	„A tenger – a víz nagy fajhője, illetve hőtároló képessége... miatt – lassabban melegszik fel, illetve hűl le, mint a szárazföld.” (p.98.)
<b>Biológia / 11. évfolyam</b> [CSIG, 2012]	„A víznek nagy a fajhője, ezért hőkiegyenlítő hatású.”
	A szénhidrátok „a lipidekkel összehasonlítva oxidáltabbak, ezért tömegükhöz képest kisebb energiatartalmúak...”
	„Az ATP valójában nem tárolja, inkább szállítja az energiát.”
	A fotoszintézis „teszi lehetővé, hogy a Nap energiája beépüljön a bioszféra anyagaiba...”
	„Az energia tartalékolását kreatin molekula biztosítja...”

### 2.6. táblázat Természettudományos tárgyak tankönyveinek szóhasználata az energia fogalma kapcsán

A hétköznapi életben látjuk azt is, hogy a magyar nyelvben a hőmérő szó használata (szerintem ez nagyban hozzájárul a félreértéshez) is milyen komoly gondot okoz a hőmérséklet és a hő megkülönböztetésében (de talán ebbe a sorba illeszkednek még a következő fogalmak is: hőháztartás, hőlégballon, hőség stb.).

## ***2.2 Az energia tanításának lehetőségei a napenergiás aszalóval***

Ahogy az előző fejezetekben kiemeltem, a legfontosabb feladatnak az energiafogalom szintézisét tartom, melynek egy lehetséges megvalósításához segítségünkre lehet a napenergiás aszaló berendezés. Az alábbiakban ismertetem a berendezés fölépítését, illetve bemutatom az általunk készített darabot. Az aszaló berendezés készítése, használata és működésének elemzése azért is érdekes lehet manapság, mert a hétköznapi emberek körében is egyre elterjedtebb a szárított gyümölcsök fogyasztása. A diákok is általában szeretik ezt a csemegét, és miután elég drága, ezért nem utolsó szempont, ha mi magunk is készíthetünk otthon, vagy akár az iskolában. Ez az érdeklődés kihasználható a „tanteremben”, hiszen közben olyan fizikai folyamatokkal kapcsolatos ismereteket taníthatunk meg a diákjainknak, mint pl. a párolgás, hőtágulás, konvekció, fotoeffektus. A tanulók pedig megtapasztalhatják a fizika tantárgy „erejét”, hasznosságát, illetve láthatják, hogy a fizikai jelenségek valóban mindenhol körülvesznek bennünket. Az aszalóval kapcsolatos vizsgálatokat szakköri keretek között végeztük el.

### *2.2.1 A napenergiás aszaló berendezés fölépítése*

A szakköri projektmunkában - saját tervek alapján - épített napenergiás aszaló berendezés két részből áll: a kollektorból és a több tálcából álló aszalótérből, amelyben ideális esetben kb. 70°C-on zajlik a gyümölcsök, illetve zöldségek szárítása. Olyan dokumentációt készítettem, amely alapján a szaktanár kollégák diákjaikkal hasonlóképpen elkészíthetik az eszközt. A diákok (2.1. kép) által készített napenergiás aszaló berendezés elkészítéséhez az agostyáni ökofaluban található eszközt vettük alapul [<http://www.teaagostyan.hu/>], valamint áttanulmányoztuk a hozzáférhető szakirodalmat [FOD, 2006]. A mi „találmányunk” elsősorban újrahasznosított anyagokból készült, így a konstrukció mindösszesen 1500 Ft-ba került. Kizárólag az alumínium-lemezért kellett fizetnünk (ami persze kiváltható lett volna alumínium-dobozokkal is [JUHÁ, 2008]).

A napenergiás aszaló berendezés egy egyszerű konstrukció, amit könnyedén elkészíthetünk. Működésének lényege két lépésre bontható: begyűjtjük a napsugarak fotonjait, és azok energiájával melegítjük a levegőt. Arra kell koncentrálnunk, hogy a gyümölcsök nedvességtartalmát jelentősen csökkentsük (kb. 80 %-ról 20%-ra). Ehhez az aszalótérből kell a párárt eltávolítanunk, miközben a gyümölcsöket is felmelegíti az átáramló levegő. Ahogy a megfűjt leves esetében is nő a párolgás sebessége, úgy ebben az esetben is növelhető a hatás, ha megfelelő utat biztosítunk a konvekciónak az aszalótérben is.



2.1. kép A készítőik saját konstrukciónkkal



2.2. kép Az aszalótér egymásra helyezhető tálcái



2.3 kép Előkészületek

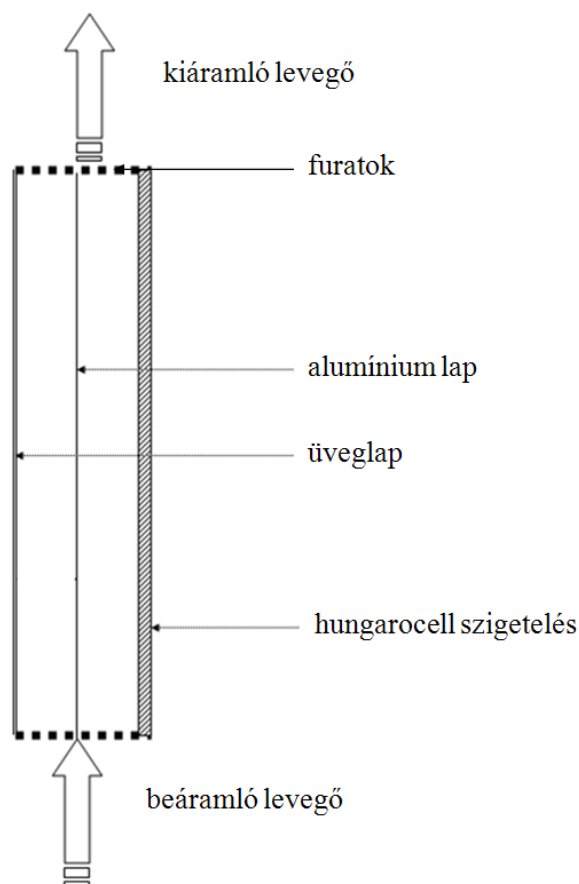


2.4. kép Felhasznált anyagok



2.5. kép A kész kollektor

A berendezés megvalósításához fát (a kollektor keretéhez és az aszalótér vázához), üveglapokat (ezek egy régi kis szekrény részei voltak), szúnyoghálót (az aszalótér tálcáihoz), hungarocell lapot (a kollektor hátsó szigeteléséhez) és alumínium lemezt (a kollektor elnyelő felületéhez) és természetesen szöveget valamint némi ragasztót használtunk (2.1., 2.2., 2.3. kép). Az aszalóteret egymásba illeszthető lambériából készítettük a jobb szigetelés érdekében. Négy tálcát alakítottunk ki, amelyek alsó része szúnyoghálóból készült (2.2. kép). Arra tehetjük az aszalványokat. A kollektor hasznos felületének nagysága  $0,5 \text{ m}^2$  ( $0,5 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}$ ), az aszalótér alapterülete pedig  $0,1 \text{ m}^2$  ( $0,5 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m}$ ). A konstrukciót egy alumínium pálcával támasztottuk ki.



**2.1. ábra A kollektor felépítése**

A kollektor (2.1. ábra) alsó és felső részénél különböző átmérővel furatokat alakítottunk ki, amelyek lehetővé teszik a természetes konvekciót a levegő számára. Az üvegfelület öt kisebb darabból áll, az alumínium lemez helyzete pedig tetszőlegesen változtatható egyszerű előre- illetve hátratólással. A kollektort az aszalótérrel vékony fekete szemeteszsák darabbal kötöttük össze, meggátolva a meleg levegő összeillesztésnél történő esetleges kiáramlását.

### *2.2.2 A napenergiás aszaló lehetőségei az energiafogalom szintézisében*

A napenergiás aszaló egy nagyszerű kiegészítő lehetőség a napenergia témakörének tanításához, hiszen számos fizikai jelenség demonstrálható ezzel az eszközzel, illetve különböző témakörökben tanult fogalmak kapcsolhatóak össze általa. Például a napsugárzás (honnan származik az energia, elektromágneses hullámok és a spektrum), a Nap látszólagos pályája, a visszaverődés, az elnyelődés, a belső energia, a diffúzió, a párolgás, vagy éppen a konvekció, felhajtóerő, üvegházhatás.

A tanulók gondolkodásának alakításában jelentős szerep jut a korábban meglévő tudásuknak, ezért először erre térek ki. Fontosnak tartom ezt a lépést már csak azért is, mert



általában a tanulási folyamatban a tanulók ritkán kapnak lehetőséget egyéni elképzeléseik kifejtésére, pedig annak megismerése által elkerülhetőek bizonyos tanítási „műhibák”. [TAK, 2001] Ezért készítettem egy egyszerű felmérést 9. osztályos tanulókkal három tanulócsoportban (összesen 60 fővel) az energia témakör megkezdése előtt. Arra voltam kíváncsi, hogy vajon milyen előzetes tudásra építhetek, mi az a valós tudás, aminek segítségével konstruálják az energia fogalmát. A táblára felrajzoltam a Napot és vázlatosan a napenergiás aszalót, aminek megneveztem a részeit, majd arra kértem a tanulókat, hogy háromfős csoportokban fogalmazzák meg 5-10 mondatban, hogy hogyan működik az eszköz. A fogalmazásukhoz használjanak minél több fizikai kifejezést, ügyeljenek a pontos megfogalmazásra. Az alábbiakban néhány megoldásból idézek, alátámasztva azt az előzetes hipotézisemet, mely szerint tévképzetek sokasága van jelen a tanulók gondolkozásában, többek között az energia és a hő fogalmával kapcsolatban. A diákok megfogalmazott gondolatait az eszköz részeihez kapcsolódó állítások szerint csoportosítottam, illetve külön választottam az egyéb szempontból érdekes kijelentéseket.

○ Az aszalás folyamatának lényege:

- *“a felfelé szálló meleg levegő a gyümölcs víztartalmát kiszedi”*
- *„a nap sugaraival kiszívják a gyümölcs víztartalmát”*
- *„a gyümölcs víztartalmának csökkentése érdekében meleg hőmérsékletre van szükség, hogy ennek hatására a benne lévő vízmennyiség elpárologjon”*

○ Az üveg szerepe:

- *“az üveg átengedi a hőt”*
- *„Az üveglap is egyfajta hő megőrző. Ezek után a meleg levegő energiává tud átalakulni és felszáll.”*
- *„az üveg megakadályozza, hogy a bekerült hő onnan eltávozzon”*
- *“az üveglap a napsugarak felerősítésére szolgál”*
- *“először napsugarak érkeznek az üveglapra, ami felerősíti őket, ezáltal megnő a fényerő”*

○ A matt fémlap szerepe:

- *„a napsugárzás energiáját a feketére festett alumíniumlemez hővé alakítja át”*
- *„A matt fekete lemez a sötét színe miatt nagyon hamar felmelegszik. Ezáltal nagy hő keletkezik.”*
- *„a lemez sötét színe miatt gyűjti a meleg levegőt”*
- *„a fekete fémlap sok hőt szív magába”*

- *“a fekete lemez magába szívja a napsugarak melegét”*
- *„egy matt fekete lemezt helyezünk hisz a fekete vonzza a fényt a lemez pedig meleget csinál belőle”*
- *„a fémlemez fekete színe miatt meg több hőt képes magába vonzani”*
- *„a fémlemez elnyeli a hőt”*
- *“a mattos fekete színű fém beszívja a napsugarak melegét”*
- A hungarocell szerepe:
  - *„a hungarocell pedig szigetel, ezért a hő megmarad”*
  - *„a hungarocell jó hőszigetelő, megtartja a meleget és a dobozba irányítja”*
  - *„a hungarocell lap pedig hőszigetelésre szolgál, így nem szökik el a hő”*
  - *„a hungarocell nem engedi távozni a hőt”*
- Egyéb:
  - *„Fontos, hogy a nap megfelelő ideig, megfelelő fénnel érje. A kollektor funkciója, hogy összegyűjtse, melyet a hőszigetelő réteg (hungarocell) biztonságosan megtart. A hő egyenesen az aszalványokat tartalmazó kamrába áramlik.”*
  - *„A folyamat lejátszódásához napenergiára van szükség. A feketére festett lemez magához "vonzza" a meleget. A hálóra rakott gyümölcsökből kicsöpög a víztartalom. A kis kéményen a fölös energia szabadul ki.”*
  - *„Szükség van egy olyan helyre ahol a szerkezet hőt tud "fejleszteni". Fontos, hogy az így létrejött meleg ne szökjön ki.”*
  - *„az itt összegyűlt hő elkezd felfelé, a gyümölcsökhöz áramlani”*
  - *„innen a hő felszáll a gyümölcsökhöz”*
  - *„A fekete szín nagyobb mértékben veszi be a hőt, így a matt feketére festett fémlap felforrósodik, energia keletkezik, mégpedig hő formájában, a hungarocell a keletkezett hő megtartására szolgál.”*
  - *„a gyümölcsök a hálókön át alulról hőt kapnak”*

Látható, hogy valóban él a diákok gondolkodásában a szakdidaktikai szakirodalomban [NAH, 2002] is gyakran emlegetett hiba, ti. a 'caloricum' elmélet használata. A hő (illetve a fogalmazásban az energia) folyadékként való értelmezésének legkézzelfoghatóbb példája *„a meleg levegő energiává tud átalakulni és felszáll”*, illetve *„a hő egyenesen az aszalványokat tartalmazó kamrába áramlik”* leírás. Emellett keveredik a hő és az energia fogalma,

olyannyira, hogy az energia kifejezés alig-alig fordul elő a fogalmazásokban. Érdekes megjegyezni, hogy kevesek írtak arról, hogyan indul a folyamat, honnan származik az energia, pedig szerepelt az ábrán. Az is érdekes, hogy földrajz órán már tanultak az üvegházhatásról, de azzal nem tudták semmilyen szinten összevetni ezt a jelenségcsoportot. Mindössze két csoport (a húsból) említette a leírásában: *„Az üveglap üvegházhatása révén sok hőt tárol.”*, illetve *„A Nap az üvegen keresztül felmelegíti a fémlamezt, hasonlóképp mint az üvegházaknál (üvegházhatás).”*

Nem volt lehetőségem (az óraszám adta szűkös lehetőségek miatt) a tanulókkal végigvinni Feynmann gondolatát az energia bevezetésének kapcsán [FEY, 2000], pedig érdekes lenne a napenergiás aszaló berendezés működésének tárgyalása ezzel a szemlélettel. Feynmann kockás hasonlata azért lehet érdekes, mert az analógiás gondolkodásra épít, amely komoly segítség a diákok gondolkozásának fejlesztésében.

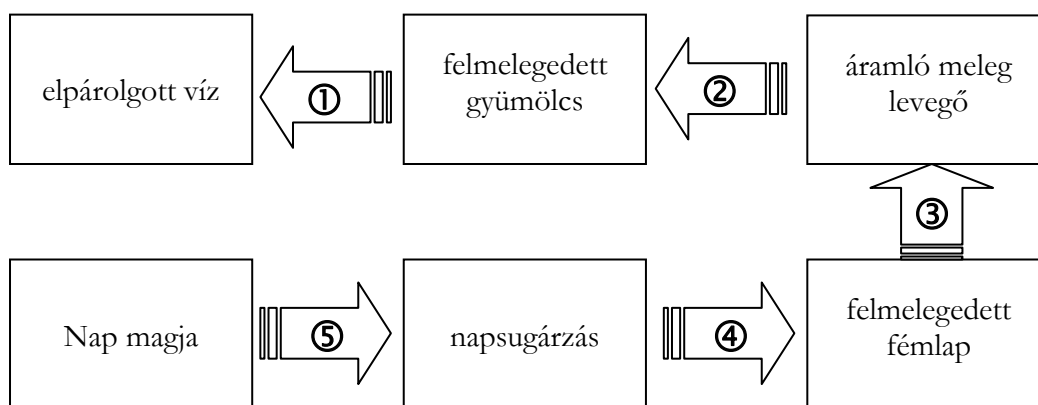
*„Képzeljünk egy gyereket, esetleg éppen Dennist, a komiszt, s tegyük fel, hogy törhetetlen és feldarabolhatatlan játékkockái vannak. A kockák mind egyformák, s mondjuk, 28 van belőlük. A fiút a 28 kockájával együtt reggel az anyja beviszi egy szobába. S a nap végén – kíváncsi természetű lévé – gondosan megszámolja a kockákat, és felfedez egy tüneményes törvényt: a kockákból, akármit is művel velük a gyerek, mindig 28 marad. Ez így megy néhány napon keresztül, mígnem egyszer csak 27 kocka várja a nap végén, de a mama egy kis nyomozással kideríti, hogy a pokróc alatt van egy kocka – a mamának mindenütt körül kell néznie, ha biztos akar lenni abban, hogy a kockák száma nem változik...*

*A mama egyre bonyolódó világában újabb és újabb tagokkal egészítette ki képletét az előle elzárt kockák számának tekintetbevételére. Végül talált egy bonyolult képletet, egy kiszámítandó mennyiséget, s az az ő körülményei között mindig ugyanolyan értékű maradt.”*

Nos, az aszaló kapcsán is hasonlóan göngyölíthetjük fel a szálakat, ha a vizsgált rendszerünket egyre több taggal bővítjük, miközben szeretnénk az egyes folyamatokat (pl. párolgás a gyümölcsökből, a levegő felmelegedése, a fémlap melegedése stb.) megmagyarázni.

### 2.2.3 Energiaátalakulás az aszalóban

Egyszerűen eljuthatunk az alábbi nagyon leegyszerűsített gondolatsorig (2.2. ábra), ami (a tanulók által leírtakkal ellentétben) kiindulás lehet az aszaló működésének értelmezéséhez (melyet a későbbiekben részletesebben is megvizsgálunk).



**2.2. ábra Egyszerűsített folyamatábra az aszalóhoz köthető fizikai folyamatokról**

Persze sok diák átlátja gyorsan ezt a sort, a gondot az okozza inkább, hogy milyen formában, illetve módon történik az energiaátalakulás az egyes folyamatokban. Az egyes rendszerek között hogyan zajlik valójában a kölcsönhatás. A folyamatábrán jelzett ① kölcsönhatás egyszerűen magyarázható hétköznapi tapasztalatok alapján, hiszen a párolgással találkoznak a tanulók (pl. a konyhában az alulról fűtött leves, vagy a strandon a párolgás által hűtött test esetében), tehát az elpárolgott víz „kockákat” visz el a gyümölcsből. A ② kölcsönhatás pedig a legkézenfekvőbb termikus kölcsönhatás a diákok számára, ugyanis ezzel kapcsolatban az első tapasztalatuk a fürdővíz beállítása hideg és meleg víz segítségével, vagyis a melegítendő gyümölcsök „kockáinak száma” nő, a vele érintkező meleg levegőé pedig csökken. Hasonlóan magyarázható a ③ számmal jelzett kölcsönhatás is, hiszen a két rendszer érintkezik egymással (első közelítésben nem részecskeszinten kell érteni a folyamatot). Ami nehezebben értelmezhető a diákok számára, az a ④ és ⑤ jelenség. Nem triviális ugyanis, hogy a napsugárzás kölcsönhatása az anyaggal miért a feketére festett fémlappal a legintenzívebb az útjába kerülő objektumok közül. A diákok pedig az eddigi tudásukra, tapasztalataikra építenek, az alapján konstruálják az új fogalomrendszert. Ezért ezen a ponton elvethetjük a magvait a foton fogalomnak azzal a megfontolással, hogy „Feynmann kockái” a napsugárzásban is ott kell legyenek, különben a fémlap nem melegedne. Ezek kis energiaadagok, melyek az anyag összetételétől függően tudnak kölcsönhatni és ebben döntő szerepe van az anyag színének. Mi magunk is „színekként” érzékeljük ezeket az energiaadagokat (bár nem mindegyiket vagyunk képesek látni). A Nap belsejében is vannak kölcsönhatások, melynek során az anyag „kockáinak száma” (nevezhetjük már energiának is) csökken, miközben létrejönnek a fotonok. Ezzel - természetesen nem egzakt módon - eljuthatunk már akár 9. osztályban a fotonokig, vagy akár az atommag energiájáig, amelyet

egyébként a többi természettudományos tárgy miatt ezen a szinten érdemes is megtenni (a jelenlegi gyakorlatban a foton kifejezés hamarabb kerül elő biológiából, mint fizikából).

#### 2.2.4 Az energiaátadás formáinak vizsgálata szabadtéri fizikaórán

A kapcsolódó fogalmak megértésében kiemelt szerep jut a gyakorlatnak: fontos a megfigyelés és a mérés. Az analógiás gondolkodás is akkor működtethető, ha az alkalmazandó elmülethez tapasztalat is párosul. Szakköri kipróbálást követően júniusban három osztállyal tartottam szabadtéri fizika órákat (2-2 órát), melyeken a tanulók csoportokban oldották meg a kijelölt feladatokat. Az előkészítésre egy tanórát fordítottam. A diákok öt csoportban ismerkedtek a napenergia témájával. Minden csoport kapott egy „megbízási szerződést” (1. számú melléklet), amelyben megkapták a feladat leírását, és ez egyben keretet adott a munka elvégzéséhez. A dokumentum tartalmazta a mérés célját, hogy mit kell pontosan csinálniuk, a mérendő mennyiségeket, illetve a szükséges eszközök listáját. Az ilyen fajta munkaszervezésnek motivációs szempontból van szerepe a tanítási gyakorlatban. Ezen kívül a csoportok kaptak egy - előre általam megszerkesztett - ún. kutatási naplót (2. számú melléklet), amelyben rögzíthették a mérési eredményeket. A munka végén ellenőriztem a diákok felkészültségét (3. számú melléklet). A feldolgozott témák a következők voltak:

i.) különböző felületekről (fekete, fehér, piros karton, illetve alufólia) visszavert természetes fény spektrumának vizsgálata kézi spektroszkóppal és Lux-mérővel (2.6. kép), valamint a felületek által elnyelt sugárzás összehasonlítása (Ehhez a felsorolt anyagokkal főzőpoharakat vontak be, azokat kitették egymás mellé a napra és digitális mérleggel mérték az elpárolgó víz mennyiségét) (2.7. kép)

ii.) gnomón vizsgálata (megfigyelendő volt egy utcai lámpa árnyékának változása – déli órák körül volt a foglalkozás -, valamint meg kellett határozni az északi irányt), napóra működési elvének megismerése írásos forrás alapján (2.8. kép) [BAR, 2009]

iii.) gyűjtőlencse fókusz távolságának meghatározása, és napelem teljesítményének meghatározása méréssel (2.9., 2.10. kép)

iv.) az üvegházhatás vizsgálata (két üres kartondoboz – az egyik Nap felé álló fedelét műanyag fóliára cseréltük - levegőjének hőmérsékletét kellett összehasonlítani, illetve mérni az idő függvényében) (2.11. kép)

v.) az aszaló kollektorának vizsgálata (a tanulóknak mérniük kellett a kiáramló levegő hőmérsékletét az idő függvényében, valamint össze kellett hasonlítaniuk az aszalótér hőmérsékletét kollektor nélkül és a kollektor csatlakoztatásával) (2.12. kép)

A felsorolt csoportmunkákat úgy állítottam össze, hogy mindegyik egy a napenergiás aszaló működésének megértéséhez kapcsolódó jelenség megértését segítse, mint például abszorpció/emisszió (i.), a napsugárzás dőlésszögének változása az időben (ii.), vagy a Nap energiájának szemléltetése (v.).



**2.6. kép Különböző felületek visszaverő-képességének vizsgálata**



**2.7. kép Különböző felületek elnyelő-képességének vizsgálata**



**2.8. kép Gnomon árnyékának követése**



**2.9. kép Gyújtólencsével kiégetett falevél**



**2.10. kép Napelem vizsgálata**



**2.11. kép Üvegházhatás demonstrálása**



**2.12. kép Az aszalótér hőmérsékletének mérése**

Ezek alapvetően egyszerű vizsgálatok, melyekben a hangsúly a kvalitatív megfigyeléseken van. Néhány fizikai mennyiség mérése is megjelenik a feladatok között, de azok matematikai képletek segítségével való kiértékelését alapórán nem látom kivitelezhetőnek, ugyanis túl sok időt vesz igénybe, és elveszítenénk a tanulók alapvetően pozitív hozzáállását egy, a számukra ismeretlen munkaforma és különleges tananyagtartalom feldolgozásakor. Ezért ezeket a feladatokat emelt szintű csoportokra, illetve a tehetséggondozás foglalkozásaira kell irányítani. Kis csoportokban összehasonlító vizsgálatokat végeztek a tanulók, melyek során több fizikai mennyiség felidézésére és néhány új mennyiség megismerésére nyílt lehetőség. Az 5. táblázatban összefoglaltam ezeket az ismereteket. Ezek között szerepelnek közvetlen a napsugárzás-anyag kölcsönhatásra vonatkozó vizsgálatok (mint például az abszorpció, emisszió és a visszaverődés), és néhány napsugárzáshoz kapcsolódó eszköz működési elvének értelmezése (mint például a gnomón, a gyűjtőlencse, valamint a napelem és a napkollektor, amelyek fogalmi összekeverése elég elterjedt a diákok és a társadalom körében). Az üvegházhatás értelmezése pedig a Föld energiaháztartása és az aszaló kollektorának működése szempontjából is fontos. Néhány esetben kvalitatív vizsgálatot is végeztek a tanulók, melynek nem feltétlen a konkrét mérési eredmény volt a lényege (pl. nem vették fel a napelem U-I karakterisztikáját), hanem hogy ismerkedjenek a mérőműszerekkel, azok méréshatárával, a leolvasott mennyiségek egységeivel (pl. hogyan olvassuk le az analóg árammérő műszer által mutatott értékeket).



<b>vizsgálat lényege</b>	<b>mit kell csinálni</b>	<b>megfigyelés, következtetés</b>	<b>felhasznált eszközök</b>
<b><i>emisszió, visszaverődés</i></b>	a napsugarakra kb. merőlegesen helyezünk el különböző anyagi minőségű lapokat, és vizsgáljuk a felületről érkező sugárzást	a felületről kisebb intenzitású és más spektrális összetételű sugárzás verődik vissza, illetve bocsátódik ki	kézi spektroszkóp, Lux-mérő, színes kartonlapok, alufólia
<b><i>abszorpció</i></b>	különböző minőségű anyagokkal vonjuk be a főzőpoharak oldalát, melyekbe tegyünk egyforma mennyiségű vizet, és mérjük a poharakból elpárolgott víz tömegét	az egyes poharakból elpárolgott vízmennyiség különböző, mert (összhangban az előző vizsgálattal) más-más intenzitású sugárzás nyelődött el, és az egyben növelte a pohár-víz rendszer energiáját, az elektromágneses sugárzásnak van energiája	főzőpoharak, különböző minőségű felületek borításként, digitális mérleg, hőmérők
<b><i>delelőidő és É-D irány meghatározása</i></b>	jelöljük egy függőleges pálcá árnyékának végpontját 5 percenként a zónaidő szerinti dél körül	a legrövidebb árnyék esetén van a Nap a legmagasabban, ebben a pontban merőlegest állítunk az árnyék végpontja által leírt görbére: É-D irány	gnomón: utcai lámpaoszlop, kréta (vagy földbe szúrható jelölők, pl. csavar), zsinór
<b><i>lencsék vizsgálata</i></b>	válasszuk ki a lencsék közül a gyűjtőlencsét, majd az egyik segítségével gyűjtjük össze a napsugarakat a fókuszpontba	a gyűjtőlencsék valódi kép létrehozására képesek, illetve nagyítóként is működhetnek, gyűjtünk meg kis papírdarabot az egyikkel	különböző lencsék, mérőszalag, papír
<b><i>napelem működésének vizsgálata</i></b>	állítsunk össze áramkört: napelem cella, feszültség- és áramerősség-mérő segítségével	a megvilágítástól függően a mérőműszerek feszültséget, ill. áramot jeleznek, a propeller különböző fordulatszámmal forog: ez is bizonyítja, hogy a sugárzásnak van energiája	napelem, mérőműszerek, kis motor propellerrel mint fogyasztó
<b><i>üvegházhatás vizsgálata</i></b>	a dobozokat tetejükkel fordítsuk a napsugarak irányába, és a felső lapon keresztül behelyezett hőmérővel figyeljük a változást	a fóliaablakkal rendelkező dobozban levő levegő hőmérséklete gyorsabban nő, az egyensúlyi hőmérséklet itt nagyobb	kartondobozok tetővel, műanyag fólia, hőmérők, bögrék
<b><i>napenergiás aszaló működésének megfigyelése</i></b>	tekintsük át az aszaló részeit, és azok funkcióit; mérjük meg az aszalótérben a hőmérsékletet kollektor rácsatlakoztatása nélkül, majd helyezzük az aszaló kollektorát déli irányba, tegyük rá az aszalóteret és mérjük a hőmérsékletet a kollektor felső részénél, ill. az aszalótérben	az aszalótérben jóval nagyobb hőmérséklet mérhető kollektor rácsatlakoztatása esetén, a kollektorban akár 100°C fölötti hőmérséklet is kialakulhat, ami az aszalótérben kb. 70°C-os hőmérsékletet eredményez	napenergiás aszaló, hőmérő

2.7. táblázat: Szabadtéri „napos” fizikaórák csoportmunkáinak áttekintése



A Lux-mérő funkciójáról az előkészítő órán annyit jegyeztünk meg, hogy szükséges lenne a mennyiségi vizsgálathoz a napsugárzás teljesítményének (W), illetve teljesítménysűrűségének ( $W/m^2$ ) mérése. Sajnos ahhoz nem rendelkezünk mérőeszközzel, de van lehetőségünk mérni a megvilágítást (Lux). A kettő között nincs közvetlen egyszerű átszámítási módszer, csak közelítő eljárással tudjuk becsülni a megvilágítás méréséből a teljesítménysűrűséget, amennyiben a Nap sugárzását monokromatikusnak (konkrétan az 555 nm-es hullámhosszt szokás megadni, mert az a legintenzívebb) tételezzük föl. Ekkor a „váltószám”  $683 \text{ Lux/W/m}^2$ .

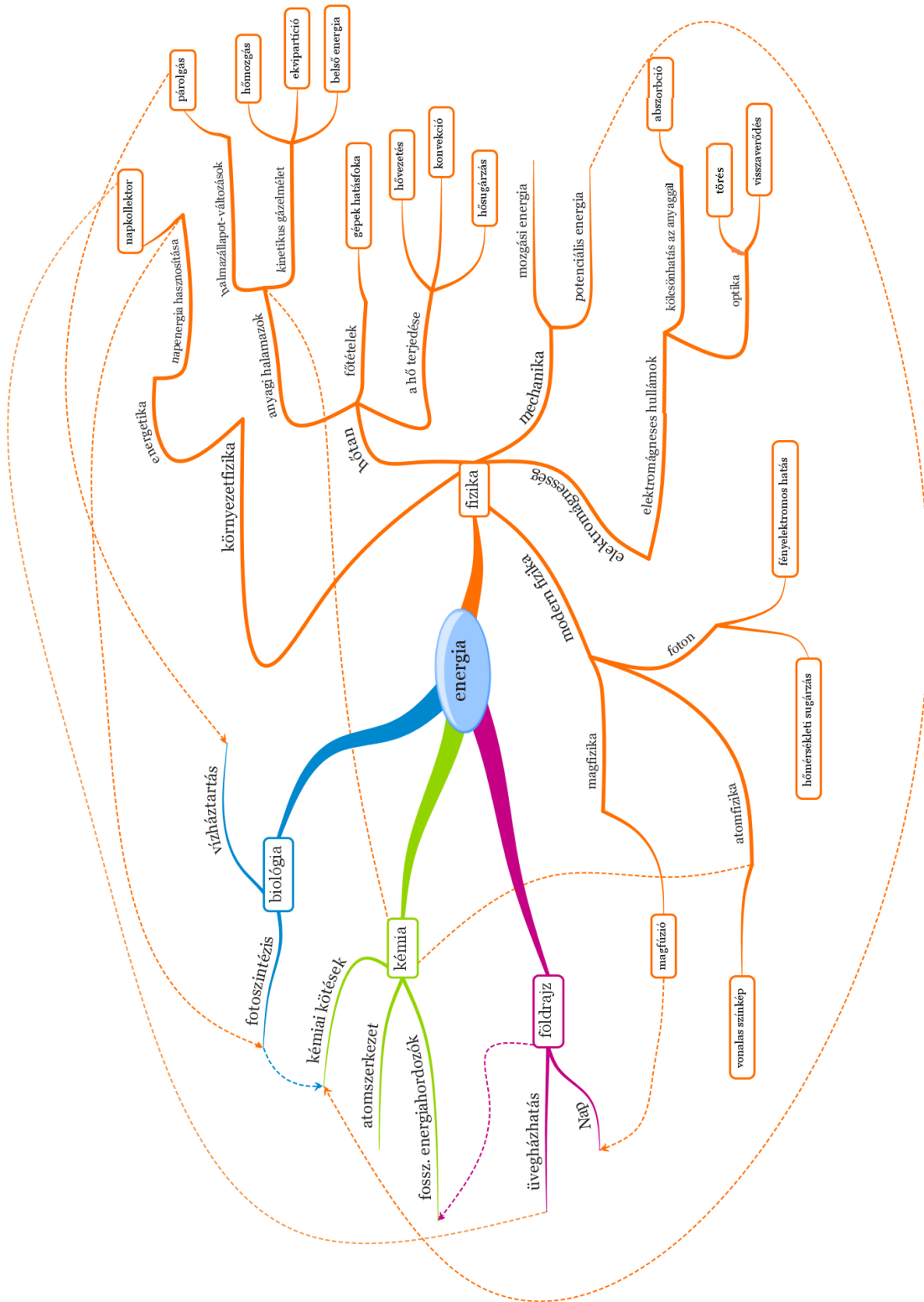
(Kivitelezhető lenne egyszerű eszközökkel a sugárzási teljesítmény-mérés is, amely az utóbbi években az emelt szintű érettségien is megjelent a szóbeli vizsgarész mérései között, azonban azt csak a szakköri munkába illesztettem bele, amiről a 4.2.2 fejezetben lesz szó.)

A mérések élményéről, a tapasztalatokról az egyik tanuló így írt:

*„A mi csoportunk az üvegházhatással kapcsolatos kísérletet végezte el először. Kaptunk két kartondobozt, az egyik teteje ki volt vágva, a nyílásra pedig műanyag fólia volt ráhelyezve, a másik egy zárt doboz volt. A dobozokat tetejükkel a napsugarak irányába fordítottuk és úgy helyeztük a földre. A dobozba hőmérőket dugtunk, amelyek kilógó végét egy-egy bögrével fedtük le. Mindkét hőmérséklet gyorsan növekedni kezdett, majd állandósult. Megfigyeléseink szerint az „ablakkal” rendelkező doboz levegőjének hőmérséklete magasabb lett, hiszen az átlátszó fólia könnyebben átengedte a napsugarakat, de benntartotta azokat a dobozban, tehát működött az üvegházhatás. Tanultunk már a tanórákon az üvegházhatásról, de el kellett képzelnünk az egészet. Most a saját szemünkkel láthattuk (kicsiben) a hatást. Szerintem nagyon hasznos volt ez a kísérlet.”*

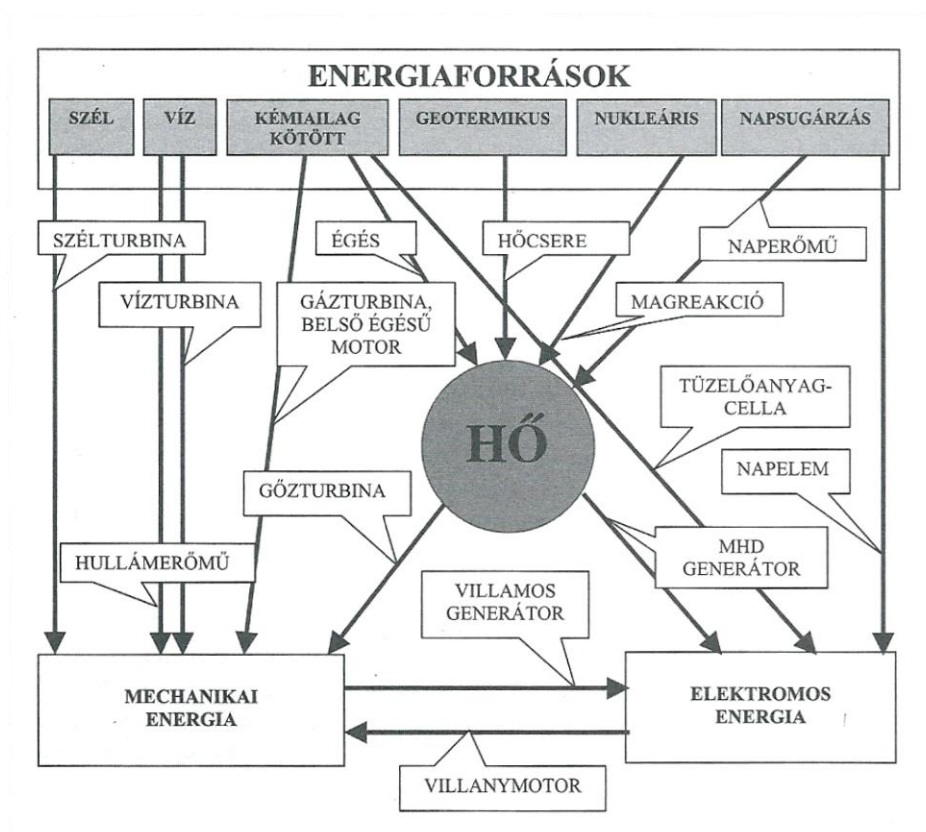
A természettudományok tanításának egyik legérdekesebb oldala a tantárgyközi kapcsolatok felfedezése és azok bevonása a mindennapi gyakorlatba. Számos példát sorolhatnánk az egyes tárgyak fogalomrendszerének kapcsolatából, most azonban koncentráljunk továbbra is az energia fogalmára. A kapcsolatok áttekinthetővé tehető az ún. gondolattérkép segítségével. Az energia fogalmához kötődően egy lehetséges változatot mutatok be a 2.3. ábrán, hangsúlyozva eszközünk tanítási gyakorlatban való alkalmazhatóságát. A gondolattérkép minden egyes fogalma egyben a napenergiás aszaló berendezéshez is köthető, vagyis az eszköz működésének komplex értelmezésekor ezek szükségszerűen előkerülhetnek. A 2.3. ábrán nem tüntettem fel az egyértelmű tantárgyon belüli kapcsolatokat (mint pl. fényelektromos hatás – napenergia hasznosítása, foton - optika). A fogalmi háló természetesen részben önkényes, és mindenképpen bővíthető, mindenesetre

azt jól mutatja, hogy a különböző tantárgyakban, különböző évfolyamokon előkerülő fogalmak összekapcsolhatóak a napenergiás aszaló működésének értelmezésekor, amely az energia fogalmának pontosabb megértését teszi lehetővé. Az aszalóhoz kötődő folyamatok a fizika majd minden középiskolában érintett területét érintik a magfúziótól a hőerőgépek hatásfokán keresztül az optikán át egészen a halmazállapot-változásokig. A többi TT tantárgy keretein belül átadott ismeretek közül kiemelendő földrajzból az üvegházhatás, kémiából az anyagszerkezeti ismeretek, valamint biológiából a növények vízháztartása. Az ábrán a fizika tárgy tanítási gyakorlatában alkalmazott klasszikus felosztást követtem, de kiegészítettem egy fontos fejezettel: a környezetfizikával. Meggyőződésem, hogy a fizikai tanulmányok zárásaként (vagy a többéves tanítási folyamat részeként – bár ez a megoldás komolyabb átalakítást igényelne) olyan összefoglaló, szintetizáló, komplex ismeretanyag felhasználását igénylő projektek (példaként lásd 4.2.3. pontot) feldolgozását kell a diákokkal elvégeztetni, amely kézzelfoghatóvá teszi számukra a fizika tanulásának hasznát. Ezek közé sorakozhatnának a környezetfizika elemei is.



2.3. ábra Gondolattérkép az energiáról az aszálóhoz kapcsolódóan

Az erőművek szintjén is feltárhatóak a kapcsolatok az energiaforrások, átalakító folyamatok, az azokhoz szükséges eszközök, találmányok, illetve a munka, a hő, és az energiatípusok között. A 3. ábra az oktatási gyakorlatban is jól használható az energiaszintézist megcélzó, összefoglaló órákon.



2.4. ábra Villamosenergia-termelési technológiák áttekintő ábrája [FAZ, 2005]

Az ábra kapcsán érdemes kitérni az egyes technológiák által megvalósított fizikai folyamatokon kívül a gyakorlati alkalmazás, a fejlesztési lehetőségek, a primerenergia-hordozók rendelkezésre állása, a potenciális termelési kapacitás, az energetikai hatékonyság, a környezetterhelés vagy akár a fajlagos területigény összehasonlítására [FAZ2, 2005]. A pedagógiai gyakorlatban ezt egy csoportos projekt munka részeként tudom elképzelni.

A fizikában használt alapfogalmak közül az egyik legfontosabb és talán egyben legnehezebb az energia fogalma. A középiskolai természettudományos oktatás minden tárgya még az érettségi követelményekben is kiemelten kezeli. A hétköznapi szóhasználatban is gyakran használjuk, ennek ellenére az emberek többsége nem tudja megfogalmazni a jelentését. Az elterjedt „energiatermelés” kifejezés azt sugallja a mai kor embere számára, hogy energia a „semmitől” is előállítható. Éppen ezért is fontos, hogy egy mindenki számára kivitelezhető eszközzel demonstráljunk egy komplex folyamatot, amelyben középiskolai

szinten is sok kapcsolat felfedezhető a tanultakkal. Annak érdekében, hogy az energiafogalom értelmezéséhez holisztikus személetet alakítsunk ki diákjainkban, a hangsúlyt az energia különböző formáinak egymásba alakulására kell fektetni. Most nem az a legfontosabb, hogy pl. egy részecske mozgási energiájának számolásához az  $\frac{1}{2} mv^2$  formulát kell használni, hanem honnan származik ez az energia. Arra törekedtem a 4. ábra elkészítésénél, hogy egy konkrét esetben minél több olyan jelenséget, fogalmat megjelenítsek valamilyen formában, amely a gimnáziumi fizikatanításban előfordul az energetikához kapcsolódóan. Ehhez természetesen a napenergiás aszalóban zajló folyamatokat vettem alapul. Ahogy az ábrán is látható, előkerül a probléma kapcsán a magfúzió, a hőmérsékleti sugárzás, a spektrum, a foton, a visszaverődés és törés, a fotoeffektus, a mechanikai energiafajták, a gerjesztés, az abszorpció, a konvekció és a párolgás fogalma is. Sokféle feladat, kérdés is megfogalmazható az ábra értelmezéséhez fizika órán.

Pl: 1. Kapcsolja össze a gondolattérkép (2.3. ábra) bekarikázott fogalmait a 2.5. ábrán látható információkkal, jelenségekkel!

2. Sorolja föl a molekuláris hőelmélet legalább 3 olyan elemét, amely megjelenik az ábrán!

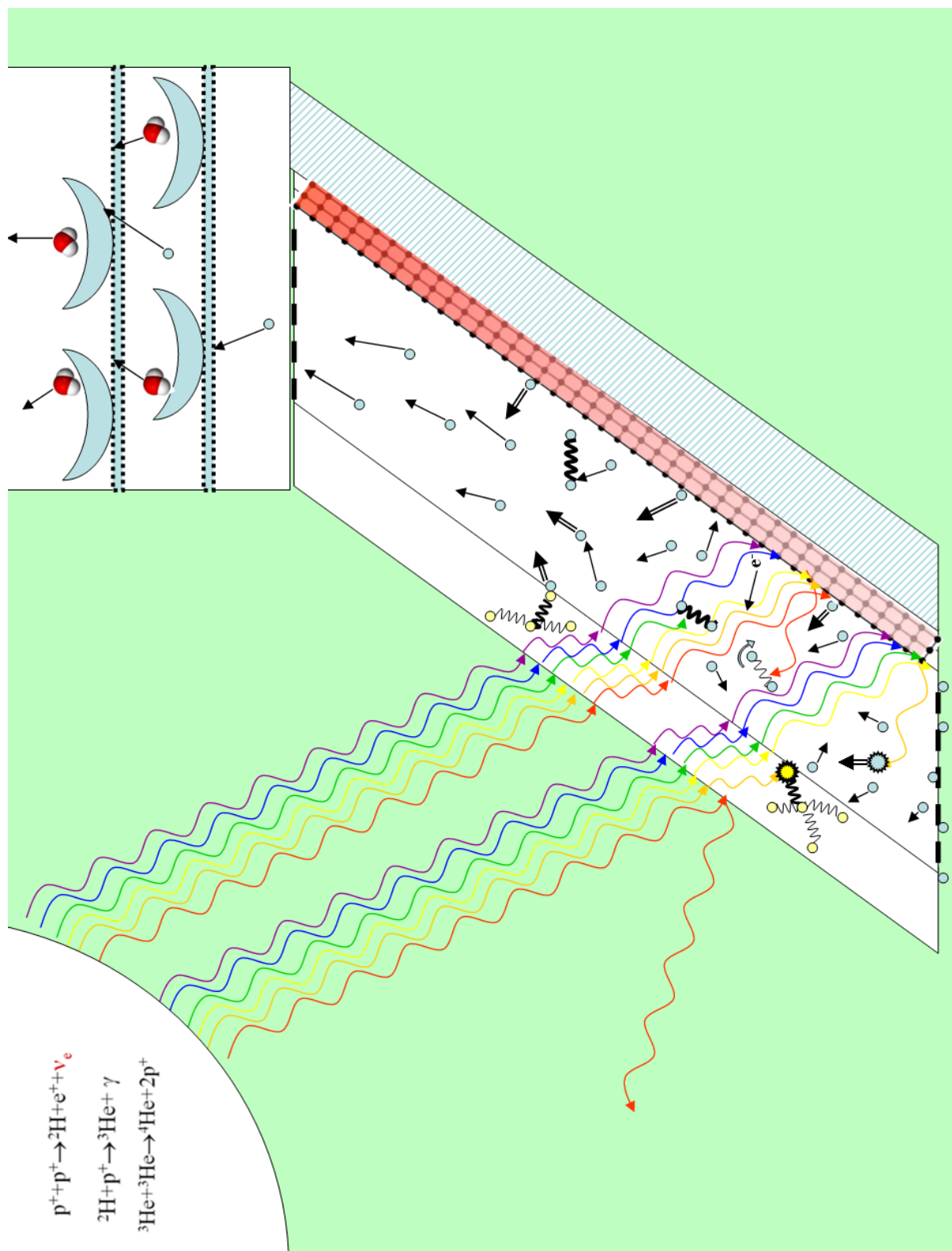
3. A fotonok mely tulajdonságai változnak az egyes kölcsönhatások során?

4. A berendezés működése szempontjából milyen változást tekintene hasznos energiaváltozásnak?

5. Hogyan értelmezhető a berendezés hatásfoka?

6. Hogyan folytatná az ábrát (illetve a berendezést) fölfelé, hogy növekedjen a hatékonysága?

7. Hasonlítsa össze a kollektor részeinek anyagait szerkezetük szempontjából!



2.5. ábra Fizikai folyamatok, energiaátalakulások a napenergiás aszalóban

Tekintsük át a napenergiás aszaló kapcsán előkerülő folyamatokat, jelenségeket:

- i.) a Nap magjában zajló magfúzió (a p-p ciklus lényeges lépései láthatóak),
- ii.) a Napból érkező sugárzás spektruma (ezt az ábrán csak a látható tartományhoz tartozó színekkel jelöltem, de természetesen a teljes, a Föld felszínét elérő összes hullámhosszúságú komponens ide érthetjük)

Az üveg, mint a kollektor elektromágneses sugárzással leghamarabb találkozható anyaga esetén három jelenséget tüntettem fel az ábrán:

- iii.) a visszaverődést (a visszaverődés törvényének megfelelő szögben és azonos hullámhosszal),
- iv.) a törést (kisebb hullámhosszak és a megváltozott terjedési irányt is jelöltem)
- v.) és az esetleges gerjesztést, amit a rajzon egy foton-atom párkölsönhatásként ábrázoltam (az üveg – amelynek részecskéit rendezetlen elhelyezkedésűnek ábrázoltam az amorf szerkezetnek megfelelően - egy részecskéje nagyobb energiájú állapotban rezeg, majd ez a többlet energia átadódik a vele kémiai kölcsönhatásba levő többi részecskének, tehát az üveg is melegszik)

Tovább haladva a kollektor levegőjében zajló folyamatokat tekinthetjük végig:

- vi.) először az üveg nagyobb energiájú részecskéi képesek gyorsítani néhány gázmolekulát (a megnövekedett sebességet kettős nyíllal ábrázoltam),
- vii.) a kollektor alsó részénél kisebb energiájú, vagyis kisebb sebességű molekulák találhatóak (a kisebb sebességet a molekulákhoz rendelt sebességvektorok hossza reprezentálja), feljebb haladva a kölcsönhatások következtében felgyorsított nagyobb sebességűek, amelyek már határozottan felfelé haladnak,
- viii.) az üvegen áthaladó fotonok a gázmolekulákkal is kölcsönhatásba kerülhetnek, frekvenciájuktól (színüktől) függően képesek gerjeszteni azokat,
- ix.) természetesen a kinetikus elméletnek megfelelően a nagyobb sebességű gázmolekulák gyorsíthatnak más molekulákat.

Tekintsük át a rajz segítségével a fémlap (szabályos szerkezetű rács) anyagának kölcsönhatásait:

- x.) az elektromágneses sugárzás komponensei hullámhossztól függően visszaverődhetnek,
- xi.) elnyelődhetnek, majd nagyobb hullámhosszúságú (kisebb energiájú) új fotonok sugárzódnak ki (megváltoztatva ezzel a spektrumot), így képessé téve a fotonokat a gázmolekulák gerjesztésére,

- xii.) előfordulhat fotoeffektus is,
- xiii.) és természetesen a nagyobb energiájú rács-részecskék felgyorsíthatják a nekik ütköző gázmolekulákat.

Végül az aszalótérben zajló energiaváltozások közül emeltem ki egy lényegeset:

- xiv.) a gyümölcsökben található vízmolekulák szert tehetnek a kiszakadásukhoz szükséges energiára (ezt a felszálló meleg levegő viszonylag nagy energiájú részecskéitől gyűjtik be)

## ***2.3 Napenergiás aszaló berendezés működésének kísérleti vizsgálata***

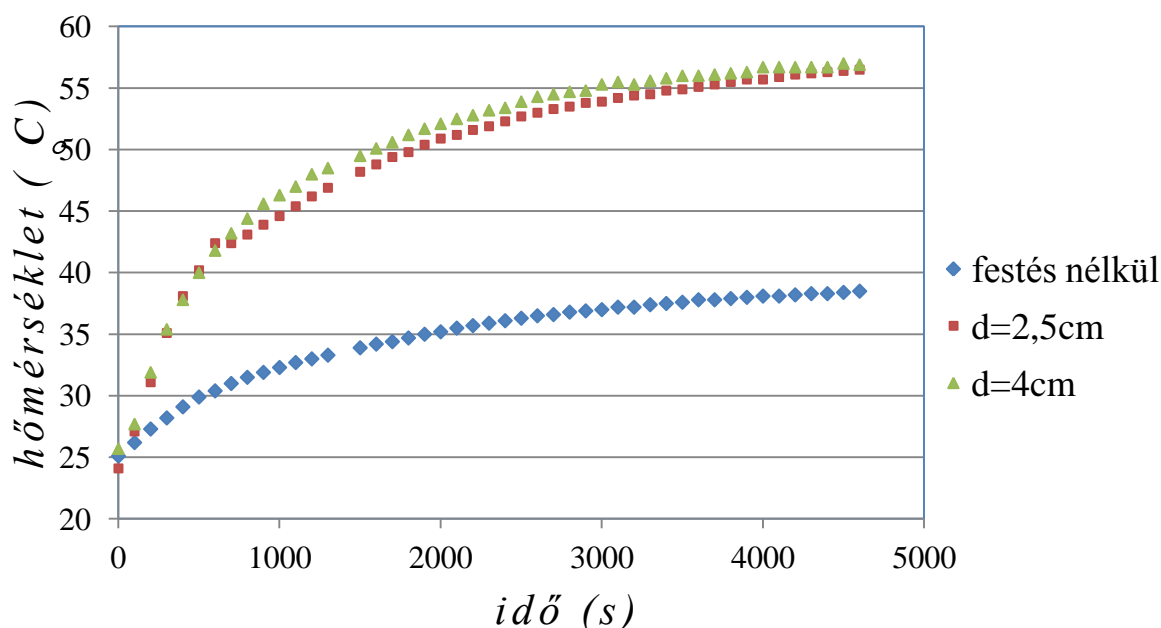
### ***2.3.1 A napenergiás aszaló kollektorának vizsgálata***

A kollektor az üvegházhatás mechanizmusához hasonlóan melegíti fel a benne levő levegőt. A felső részen található furatokon (lásd később a 2.14. képen) kiáramló (és így az aszalótérbe jutó) levegő hőmérséklete több paramétertől is függ (pl. dőlésszög, tájolás stb.), melyek közül mi kettőt vizsgáltunk részletesen: a kollektorban található abszorber alumínium lemez szerepét, és a furatok keresztmetszetének hatását. Méréseinket a téli időszakban tanteremben végeztük, ahol a Nap szerepét egy  $300\text{ W}$  teljesítményű reflektor vette át, melyet  $0,5\text{ m}$  távolságra helyeztünk el a kollektortól, ezzel is szimulálva egy nyári napos mérést. Vizsgálatainkat a nyári időszakban a szabadban folytattuk. Eredményeinket, tapasztalatainkat ennek megfelelően foglaltam össze [SZE, 2011].

#### ***i.) Tantermi mérések***

Elsőként azzal foglalkoztunk, hogy vajon az abszorber alumínium lemez üvegtől való távolságát változtatva találtunk-e lényeges különbséget a kollektorból kiáramló levegő hőmérsékletében. Reflektoros méréseink szerint nem volt változás (lásd még a szabadtéri méréseknél). A lemez matt feketére festése azonban – a várakozásnak megfelelően – jelentős mértékben növelte a kollektor levegőjének hőmérsékletét (2.6. ábra). Amíg a festés nélküli esetben  $39\text{ °C}$ -ig melegedett a levegő, addig a feketére festett lemez alkalmazásával  $67\text{ °C}$  volt ez az érték. Ez az áttekintett fogalomrendszer segítségével magyarázható: a fekete festék lehetővé tette az elektromágneses spektrum szélesebb tartományában az elnyelést, csökkentve a visszavert hullámok részarányát. A felmelegedett lemez pedig a hőmérsékleti sugárzás törvényeinek megfelelően nagyobb intenzitással és megváltozott spektrummal bocsát ki elektromágneses sugárzást, amely a kollektor levegőjét jobban melegíti, az üvegről pedig nagyobb százalékban visszaverődik. Földrajzi tanulmányokra utalva az albedó és az üvegházhatás értelmezése válik ezáltal értelmezhetővé kvantitatív módon is.





**2.6. ábra Az alumíniumlemez helyzetének és felületi minőségének hatása a kollektorból kiáramló levegő hőmérsékletére**

*ii.) Mérések a szabadban*

Valósabb képet kaphatunk a konstrukció működését jellemző mennyiségekről, ha azok mérését a szabadban, napsugárzás esetén végezzük. Ennek a tantermi méréssel szemben persze megvan az a hátránya, hogy nem rekonstruálható, hiszen a környezeti hatások napról napra, de akár percről percre változhatnak. Eredményeinket ennek megfelelően mindig körültekintően kell értelmeznünk. Nem mindig van lehetőségünk egy tanórai, vagy szakköri mérés tervezésénél ideális körülményeket biztosítani, de az időjárás-előrejelzés tanulmányozása és némi szerencse eredményezhet olyan helyzetet, ami a májusi-júniusi időszakban megfelelő lehet használható adatok begyűjtésére.

Köztudott, hogy az északi féltekén a szőlőt a déli fekvésű domboldalakra ültetik, mert a növény számára ott van megfelelő mennyiségű napfény. Ezért tanácsos a kollektort is ebbe az irányba fordítani. Ehhez célszerű meghatározni az É-D irányt. Természetesen megtehetnénk iránytű segítségével is, de abban az esetben, ha a napsugárzás irányát hosszabb időtávon is követni szeretnénk, érdemes a már korábban említett gnomón segítségével dolgozni. Ez azzal az előnnyel is jár, hogy az irány meghatározásán túl a napsugárzás vízszintessel bezárt szögét is meg tudjuk határozni, ha szükséges.

Az első méréssorozatot júliusban, az iskolai nyári szünet ideje alatt végeztük, hogy a tanórák rendje ne befolyásolja az ideális mérési időszak (amikor legnagyobb a fényteljesítmény) kijelölését. Először az É-D irányt jelöltük ki, amihez déltájban vizsgáltuk egy pálca

árnyékának változását. A legrövidebb árnyékot a 12:45 zónaidő szerinti időpontban tapasztaltuk. A delelési idő körüli kis intervallumban a gnomón árnyékának végpontja (amelyet az adott pillanatban a földre szúrt csavarokkal jelöltünk meg) közel egyenest írt le, amelyre merőlegest állítva kapjuk az É-D irányt (2.13. kép).



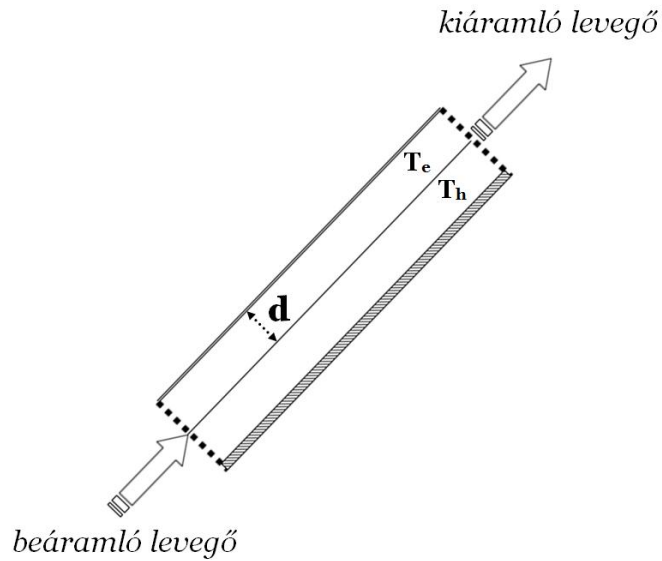
### **2.13. kép Gnomón használata az É-D irány és a delelés idejének meghatározására**

Méréseinket több napon keresztül ugyanabban az időszakban végeztük: 11:45 és 13:45 között olvastuk le a digitális hőmérőt, amely a kollektorból kiáramló meleg levegő hőmérsékletét mutatta. Méréssorozatunkban azt vizsgáltuk, hogyan változik a kiáramló levegő hőmérséklete a kollektor felső részénél található furatok (2.14. kép) összkeresztmetszetének függvényében. Változtattuk a kollektorban található alumínium lemez helyét is, annak ellenére, hogy a tantermi mérések alkalmával ezt a paramétert nem találtuk lényegesnek.



### **2.14. kép A furatok elhelyezkedése a kollektor felső részénél.**

Az eredményeket összefoglaló táblázatban az alumínium lemez helyzetét az üveglaptól mért  $d$  távolsággal jellemeztük (2.7. ábra). Az áramló levegő hőmérsékletét két térrészben is mértük: a lemez előtt ( $T_e$ ) és mögött ( $T_h$ ).









**2.7. ábra** Az alumínium lemez helyzetének értelmezése ( $T_e$  a kollektor elülső,  $T_h$  a hátsó térrész levegőjének hőmérsékletét jelöli).







A hőmérsékletet egy ellenállás-hőmérővel mértük, aminek viszonylag nagy volt a tehetetlensége. Ezért minden leolvasásnál néhány percre megvártuk a termodinamikai egyensúly beállítását. Ez nagyban meghosszabbította az eljárás időtartamát, ezért is volt szükséges több egymást követő napon mérni, amikor a kollektort minden esetben ugyanabban az időintervallumban, ugyanabban a szögben helyeztük a napra. A mérési eredményeket a 2.7., 2.8., 2.9. táblázatok tartalmazzák. A fekete karikák a leragasztott furatokat jelölik.

<i>furatok száma</i>						
$d=2,5cm$	99	110	113	115	117	117
$d=4cm$	101	108	114	116	116	116
$d=5,5cm$	101	107	108	110	112	114

**2.7. táblázat** A levegő hőmérséklete a kollektor elülső részében ( $T_e$ ) az alumínium lemez helyzetét mérő  $d$  távolság és a furatok számának függvényében.

<i>furatok száma</i>						
$d=2,5cm$	86	93	100	97	97	102
$d=4cm$	96	97	102	105	104	99
$d=5,5cm$	104	108	106	111	111	113

**2.8. táblázat** A levegő hőmérséklete a kollektor hátsó részében ( $T_h$ ) az alumínium lemez helyzetét mérő  $d$  távolság és a furatok számának függvényében.

<i>furatok száma</i>						
$d=2,5cm$	13	17	13	18	20	15
$d=4cm$	5	11	12	11	12	17
$d=5,5cm$	-3	-1	2	-1	1	1

**2.9. táblázat** A két térrészben mért levegő hőmérsékletek különbsége ( $T_e - T_h$ ) az alumínium lemez helyzetét mérő  $d$  távolság és a furatok számának függvényében.

A kapott eredmények értékelésekor figyelembe kell venni a mérési pontatlanságokat, ezért csak tendenciákat fogalmazhatunk meg. Méréseink szerint az első, ami szembeűnő lehet a táblázat adatainak áttekintésekor, hogy akkor melegszik föl legkevésbé a levegő, ha az összes furat nyitva van. Ez a fémlemez előtti és mögötti térrészben is hasonló módon alakult. Ilyenkor gyorsabb az áramlás, a levegő rövidebb ideig tartózkodik a kollektorban. Hogy a közben bekövetkező energiatranszport mértéke hogyan változik, vagyis melyik az optimális beállítás (hány furatot kell leragasztani), egy újabb méréssorozattal lenne eldönthető, ti. hogy mérjük az aszalótérből való párolgás mértékét is (ilyen komplex vizsgálatot nem végeztünk, amelyben a furatok számát változtatva vizsgáltuk a párolgotatást). Az 2.7. táblázatban adatai szerint az alumínium lemez helyének valóban nincs lényeges szerepe, bár annyit megjegyezhetünk, hogy a hőmérséklet a legtöbb esetben csökken az alumínium hátrébb helyezésével. Nyilvánvaló, hogy ez a térrész a felmelegedett üveglap miatt nem tekinthető adiabatikusan zártnak, illetve a fémlapról érkező elektromágneses sugárzás egy része is távozhat az üvegen keresztül. A 2.8. táblázat viszont azt mutatja, hogy a lemez mögötti levegő hőmérséklete szignifikánsan nő a fém kollektorban való hátrébb tolásával, ami azzal

magyarázható, hogy ezzel a változtatással a lemez hőmérsékleti sugárzása egyre kisebb mennyiségű levegőt melegít fel, és a szigetelés is ezzel a levegőréteggel van fizikai kapcsolatban, vagyis ez a térrész ilyen értelemben zártabbnak tekinthető. Ezt a gondolatot erősítik a 2.9. táblázat adatai, ugyanis látható, hogy amíg a lemez előrébb helyezkedik el ( $d=2,5\text{cm}$ ), addig a két térrész közötti hőmérséklet-különbség 13-20 °C, a lemez hátrátolásával ( $d=5,5\text{cm}$ ) viszont ez a különbség csak néhány °C.

A mérések csak akkor összehasonlíthatóak más alkalommal történő mérésekkel, ha hozzátesszük a környezeti paraméterek értékeit is. A mérésorozatunk alkalmával minden nap felhőtlen volt az ég, szélcsend volt a jellemző. Mértük Lux-mérővel a megvilágítást is, amelyből sugárzási teljesítmény-sűrűséget határoztunk meg a már említett átváltási módszerrel. Ezt a mérést nehezítette, hogy a Maxwell MX – 25500 típusú ún. környezeti hatás mérő műszer megvilágítást mérő diódája kisebb mérési tartományra van hitelesítve. Ezért egy egyszerű méréshatár-bővítést végeztünk: a műszer diódáját vékony (sárgás árnyalatú) áttetsző fóliával takartuk le egy, illetve két rétegben, és vizsgáltuk, hogy a mérési tartományban hány százalékára esik így a mért megvilágítás. Feltételeztük, hogy a mérési tartományon kívül is igaz marad a valós és a mért értékek közötti összefüggés, így a leolvasott értékből visszszámoltunk a valós értékre. Ez az eljárás is rontja mérésünk pontosságát, de fejleszti a diákok problémamegoldó képességét, és nem tereli el a figyelmet a feladatról. Ennek alapján a napsugárzás teljesítménysűrűsége  $1050\text{ W/m}^2$  értékűnek adódott.

A napenergiás aszaló meghatározó része a kollektor, ezért érdemes annak hatásfokával is foglalkozni. Először a kollektor teljesítményét kell meghatároznunk. Ehhez a felmelegített levegő egységnyi idő alatti energiaváltozását kell megadnunk (2.1 egyenlet), ami egyszerűen adódik:

$$(2.1),$$

ahol  $c$  a levegő fajhője,  $\rho$  a sűrűsége,  $v$  az áramlási sebessége,  $A$  a furatok összkeresztmetszete,  $\Delta T$  pedig a levegő hőmérsékletváltozása a kollektoron való áthaladás során. A levegő anyagi állandói irodalmi adatokból ismertek, a furatok mérete adott és a levegő hőmérsékletváltozása is mérhető. A nehézséget az áramlási sebesség meghatározása okozza (erre egyébként vannak próbálkozások szenzor segítségével [SER, 2000]), amelynek nagyságrendje viszonylag kicsi, ezért nem volt lehetőségünk digitális szélmérővel ebben a tartományban mérni (amennyiben ventilátoros áramoltatást valósítunk meg, a sebesség már mérhető tartományba esik és úgy a teljesítmény meghatározható [JUHÁ, 2008]. Kvalitatív módon persze lehetséges egyszerű eszközökkel - pl. gyertyaláng segítségével (lásd a 2.4.3

fejezetben) - az áramlás kimutatása, de a kollektor és a furatok elhelyezkedése miatt a mi kollektorunk esetében ez sem triviális feladat.

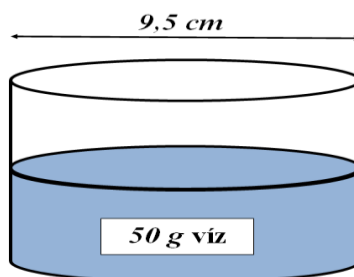
Ettől még elméletben definiálhatjuk a kollektor hatásfokát (2.2 egyenlet), ami a mennyiségek közötti kapcsolatokat pontosan bemutatja.

$$\text{--- (2.2),}$$

Meg kell jegyeznem persze, hogy a környezeti hatások a kollektor hatásfokának meghatározása esetén is nagyban befolyásolják a kapott eredményt, tehát valójában csak egy mérési eljárás bemutatásáról, egy megkonstruált eszköz működésének értelmezéséről lehet szó jelen esetben.

### 2.3.2 A napenergiás aszaló hatásfoka

Nagy mennyiségű aszalvány elkészítéséhez elengedhetetlen, hogy az ipari folyamatok hatékonyak legyenek. Egy ilyen eszköz esetén ezért is fontos a hatásfok értelmezése és meghatározása. A bonyolult és nehezen ismételhető aszalási méréssorozat helyett egy önkényesen választott eljárás alapján számoltunk. Ez két okból is fontos: egyrészt a diákok egy elvont fogalmat konkrét, általuk mért mennyiségekkel képesek kiszámolni, másrészt két különböző eszközt összehasonlíthatunk (persze csak egy mennyiség által) az eljárás segítségével. Mivel az eszköz egészének működéséről szeretnénk elsősorban információt gyűjteni, ezért olyan összehasonlítható adat definiálása szükséges, amely például független az aszalni kívánt gyümölcs kiindulási állapotától, könnyedén mérhető, illetve számolható. Tehát többféle variáció közül is választhatnánk akár. Ha figyelembe vesszük az említett szempontok mellett, hogy a diákok számára is könnyen értelmezhető és rövid idő (akár egy szakköri foglalkozás alatt) alatt mérhető adatot szeretnénk, úgy a következőképpen járhatunk el. Párolgassunk egy órán keresztül meghatározott mennyiségű vizet egy meghatározott geometriájú edényből (2.8. ábra). Mérjük közben a napsugárzás teljesítménysűrűségét és az elpárologtatott víz tömegét.



**2.8. ábra A választott standard edény az aszaló önkényesen definiált hatásfokának meghatározásához**



Ez alapján a következő formulához (2.3 egyenlet) juthatunk:

$$\text{—————} \quad (2.3),$$

ahol  $L_{pár}$  a víz párolgáshője,  $m_{pár}$  az egy óra alatt elpárologtatott vízmennyiség tömege,  $S_{nap}$  a kollektor felületére merőlegesen érkező napsugárzás teljesítménysűrűsége,  $A_{koll}$  a kollektor sugárzásra merőleges felülete,  $\Delta t$  pedig a definícióban szereplő 1 óra időtartam. Ebben az esetben is fontos, hogy a kapott értéket fogalmilag helyesen kezeljük, hiszen két Petri-csészéből való párologtatás már egészen más eredményre vezetne (ahogy egy napelem hatásfoka is függ a terheléstől, vagyis helyesebb az aszaló hatásfoka kifejezés helyett a párologtatás hatásfoka fogalmat használni, hiszen ez a mennyiség nem kizárólag az eszközhöz, hanem az eszközhöz és az eljáráshoz együttesen kötendő). Mindenesre (3) összefüggés már mérhető adatokat tartalmaz, ami alapján a definiált hatásfok számolható. Két mérést végeztem az aszalóban 1 óra alatt elpárologtatott vízmennyiségre (továbbiakban párologtató kapacitás), amelyekhez kontroll-adatokat is mértem, hogy látható legyen az aszaló működésének hatékonysága. A párologtató kapacitás és a megvilágítás mellett mértem a környezet relatív páratartalmát (ehhez is a Maxwell MX-25500 környezeti hatás mérő eszközt használtam) is, amely adatok segítenek az eredmények magyarázatában. Három helyszínen párologtattam standard edényekből: árnyékban, szabadon a napon és természetesen az aszalóban. A mért adatokat a 2.10. táblázatban tüntettem föl. Látható, hogy az aszaló párologtató kapacitása nem különbözik nagyságrendben a másik két eset adataitól. Ez azzal magyarázható, hogy az aszalótér tetejét vékony műanyag-fóliával takartuk le, amely nagyban nehezítette a pára szabad eltávozását az eszközből. Hatékonyabb berendezést kaphatunk, ha a zárt aszalóteret egy kéménnyel látjuk el, amely segíti a páratartalom folyamatos csökkenését.

	<i>árnyék</i>	<i>szabadon a napon</i>	<i>aszalóban</i>
<b>1. mérés</b> ( <i>rh = 50%;</i> <i>S<sub>nap</sub> = 1110 W/m<sup>2</sup></i> )	<b>1 g</b>	<b>3,9 g</b>	<b>2,6 g</b>
<b>2. mérés</b> ( <i>rh = 15%;</i> <i>S<sub>nap</sub> = 900 W/m<sup>2</sup></i> )	<b>1,7 g</b>	<b>2,8 g</b>	<b>2,2 g</b>

**2.10. táblázat** Az aszaló ún. párologtató kapacitása, összevetve a szabadban történő párolgással

A táblázatból azt is kiolvashatjuk, hogy amíg az utolsó két oszlop esetében a napsugárzás intenzitásának csökkenése a párolgás mértékének csökkenését vonja maga után, addig az első oszlopban (árnyék esetén) a párolgás mértékét a levegő relatív páratartalma befolyásolja döntően. Nem végeztem összehasonlító vizsgálatot, de érdekes lenne megnézni, hogy hosszabb idő alatt is ugyanez a tendencia látható-e az elkészített eszköz esetében. Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az aszalónk fejlesztésre szorul, de ahogy a kollektorban (akár 110 °C fölötti) és az aszalótérben (akár 70 °C) elérhető magas hőmérséklet is mutatja, a konstrukció technikai alapjai kiválóak.

A mért adatok alapján a két mérésből (2.3) szerint a következő hatásfok értékek adódnak:

$$\frac{\text{---}}{\text{---}} \quad (2.4 \text{ a})$$

$$\frac{\text{---}}{\text{---}} \quad (2.4 \text{ b})$$

Hogy a (2.4.a) és (2.4.b) egyenletekből kapott 0,3% hatásfok nagyságrendjével elégedettek lehetünk-e, arra a következő fejezetben térek ki. Érdekes kiszámolni összehasonlításképpen a párolgotatás hatásfokát a közvetlen napsugárzás esetén ( $\eta_{nap}$ ). Ez a Petri-csésze felületének ( $d=8\text{cm}$ , így  $A_{Petri} \approx 50\text{cm}^2$ ) és a napsugárzás teljesítménysűrűségének (2.10. táblázat), illetve vízszintessel bezárt szögének (a mérés időtartama alatt kb. 60°) ismeretében elég egyszerűen adódik:

$$\frac{\text{---}}{\text{---}} \quad (2.5 \text{ a})$$

$$\frac{\text{---}}{\text{---}} \quad (2.5 \text{ b})$$

A kapott értékek (50,9%, ill. 45,1%) elsőre meglepő adatnak tűnhetnek. Valójában az okozza az aszalóhoz képesti nagyságrendi eltérést, hogy az aszaló esetében a napsugárzás segítségével alapvetően a kollektorban áramló levegőt melegítjük, annak energiáját növeljük, és ez a felmelegített levegőmennyiség (lásd később a 2.4.3 pontban) melegíti az aszalótérben levő vizet is.

Érdekes kérdés lehet az eljárás kapcsán, hogy vajon az edény formája mennyire befolyásolja az elpárologtatott vízmennyiséget. A szakirodalomban található adatok szerint [TYU, 2009] ennek van hatása a párolgás sebességére. Tyukodi szerint hosszabb ideig tartó szabad térben pohárból történő párolgotatás esetében csökken a párolgás sebessége (munkája során alkoholt párolgotatott). A szerző modellezte a párolgást a diffúziós folyamatok

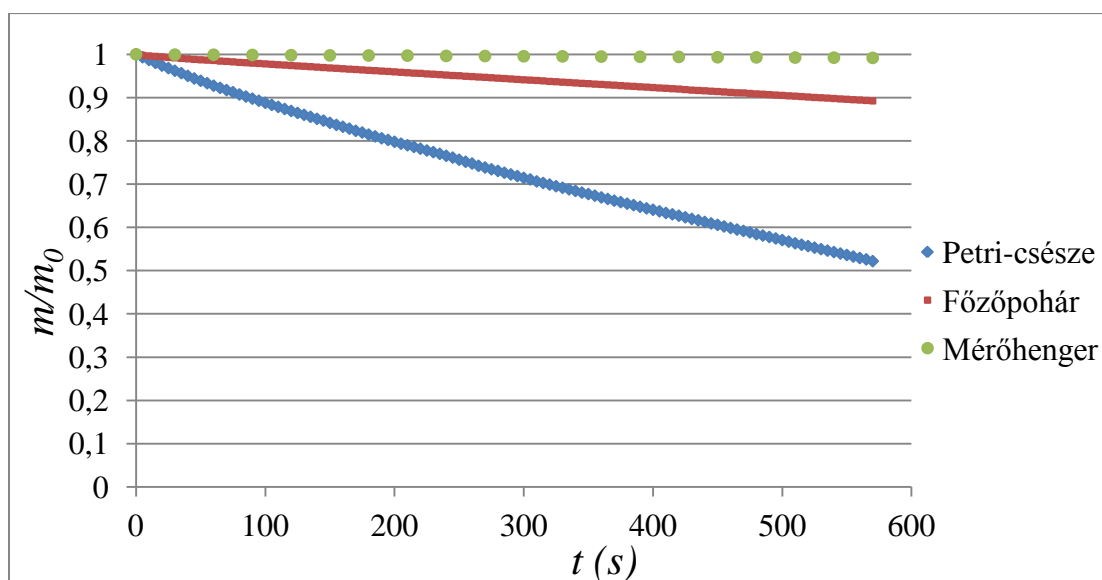


törvényeinek és a gázok kinetikus elméletének alkalmazásával. A párolgási sebesség csökkenését a folyadék fölött kialakuló telített gőz kialakulásával magyarázza.

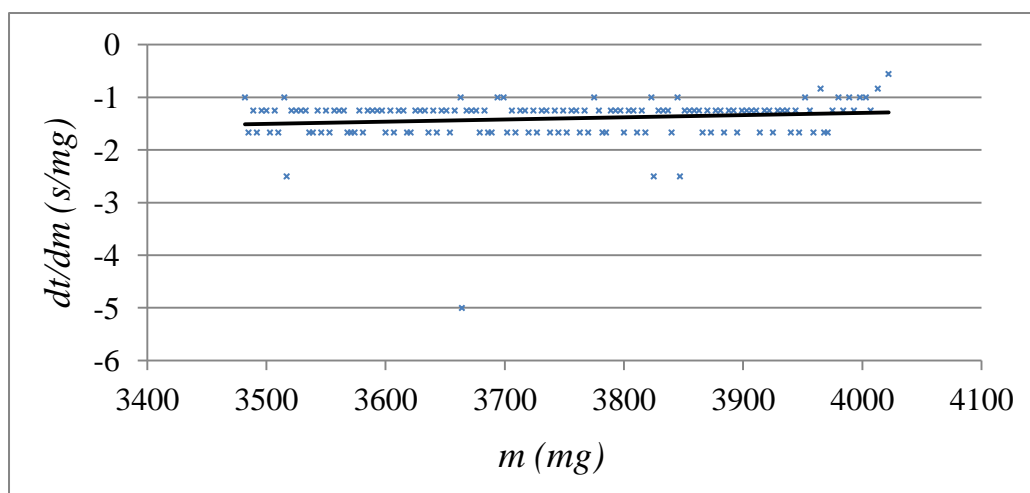
Ennek kísérleti ellenőrzésére két illékony szerves anyag párolgotatását végeztük el különböző alakú edényekből. Dietil-éter és pentán párolgását vizsgáltuk Petri-csészből ( $d=50\text{mm}$  átmérővel), főzőpohárból ( $d=50\text{mm}$ ) és mérőhengerből ( $d=10\text{mm}$ ). Precisa 205A tízezred gramm pontosságú digitális mérleg ablakait kisereltük és a mérő pozícióba az edénybe elhelyezett folyadék tömegét egy webkamera segítségével rögzítettük (2.14. kép). A webkamerát egy állványra erősítettük úgy, hogy a számok a képeken mindig azonos helyen jelenjenek meg. A képeket HSSVSS.exe szoftverrel 5 másodpercenként elmentettük egy mappába. A képekről az aktuális tömeg leolvasható. Méréseink során a laboratórium hőmérséklete  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$  volt.



2.14. kép Dietil-éter párolgásának vizsgálata digitális mérlegen webkamerás felvétellel



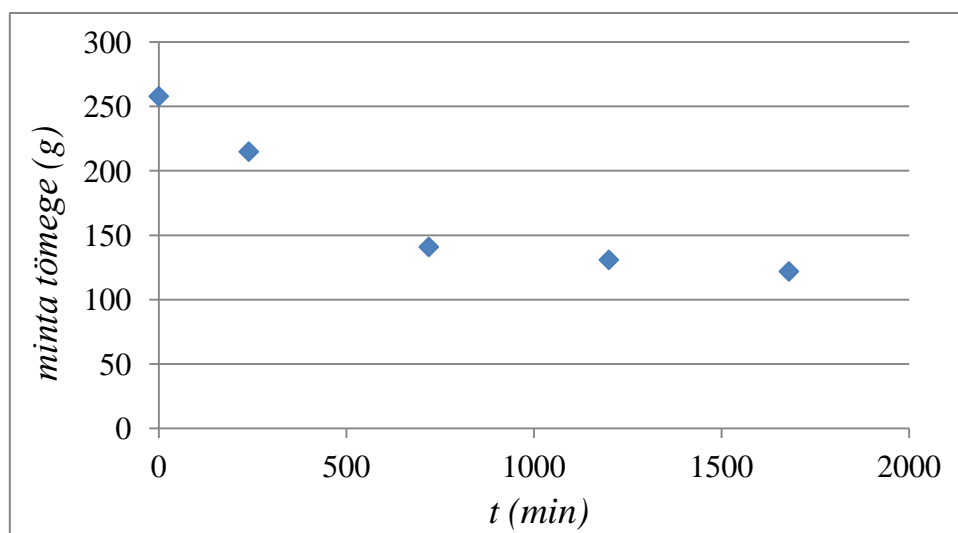
2.9. ábra Dietil-éter relatív tömegének időfüggése különböző edényekből történő párolgás közben



**2.10. ábra Az egységnyi tömegű anyag elpárolgásához szükséges idő a tömeg függvényében dietil-éter esetén**

A 2.10. ábra grafikonja az egységnyi tömegű folyadék párolgásához szükséges időt ábrázolja a tömeg függvényében. Azért ezt a függvénykapcsolatot választottam, mert szerettem volna Tyukodi méréseivel összevethető adatsorhoz jutni, ti. a dolgozat szerzője modelljét ezen az összefüggésen keresztül kapcsolja a mérési adatokhoz. Itt kell megjegyeznem, hogy Tyukodi vizsgálatai szerint egy nagyságrenddel nagyobb mennyiségű folyadékból kiindulva hasonló átmérőjű edényt használva kb. 3,6 mm magas folyadékoszlop esetén a párolgási sebesség csökkenésében egy törés következik be. Kellő mennyiségű folyadék esetén (kb. 3,6 mm-nél magasabb) azonban jól működik Tyukodi molekuláris modellje. Vizsgálataink szempontjából az a lényeges kérdés, hogy a párologtató kapacitás meghatározásánál mennyire játszik szerepet a folyadék mennyiségének és az edény geometriai adatainak megválasztása. Összességében azt mondhatjuk, hogy nemcsak az edény alapterületének nagysága befolyásolja a párolgási sebességet, hanem az edény magassága is, mindenesetre a leggyorsabb párolgás a kisebb magasságú, nagyobb alapterületű Petri-csésze esetében valósul meg. Ezért a definícióhoz ez lehet a legalkalmasabb, hiszen szeretnénk egy óra alatt mérhető effektust kapni.

A teljesség kedvéért érdemes a napenergiás aszalóval az aszalási folyamatot is megvizsgálni, attól függetlenül, hogy a mérési eredmények még kevésbé értelmezhetőek egyszerű fizikai folyamatok segítségével, illetve a folyamat nyomon követése mérés technikai nehézségeket is magával hoz, ti. az aszalványok tömegét nem lehet mérni egy ekkora berendezés esetén úgy, hogy közben ne változzanak meg az aszalótérben a fizikai paraméterek (páratartalom, hőmérséklet). Ezért ebben az esetben jóval ritkábban érdemes mérni a tömeget. Az alábbiakban (2.11. ábra) egy ilyen mérés adatsorát tüntettem föl.



### 2.11. ábra Füge tömegének változása napkollektoros aszaló alkalmazása esetén

Számos kísérleti munka foglalkozik ezzel a témával és a különböző gyümölcsök és zöldségek szárításának vizsgálatával. Például R. Perumal összehasonlító méréseket végzett [PER, 2007] három aszalási technikával, különböző vastagságú paradicsom-szeleteket használva. Ezek a kísérletek azért érdekesek, mert hasonló mérések (egyszerűbb eszközökkel) elvégezhetőek egy gimnáziumi műhelymunkában is. Perumal vizsgálati eredményei szerint a paradicsom fizikai-kémiai paraméterei – mint a színtartás, rehidratáció-képesség és az aszkorbinsav-tartalom – tekintetében jobb eredmények érhetőek el a vákuumos aszaló berendezés segítségével, mint a napenergiás rendszerrel, illetve a napon történő aszalás esetén. A szerző kitér arra is, hogyan változik az aszalványok nedvességtartalma az aszalás ideje alatt.

### 2.4 Mérések elektromos aszalóval

Egy elektromos aszaló berendezés alkalmas lehet arra, hogy a környezeti hatásokat kiküszöbölve hasonló méréseket végezzünk, mint a napenergiás aszalóval tettük. Ebben az esetben lehetőségünk nyílik az egyes mennyiségek pontosabb mérésére, így realisabb képet kaphatunk az aszalás folyamatáról is, illetve mennyiségi összefüggéseket is megfogalmazhatunk. Olyan méréssorozatot végeztem el, amelyek diákok számára is alkalmasak lehetnek szakköri körülmények között a vizsgálódásra. Kimértem az aszalás közben történő vízvesztésből származó tömegcsökkenés-idő függvényt, melyet összevettem irodalmi adatokkal. A függvény hasonlóságot mutatott a kétkomponensű folyadék párolgásával. Modellt állítottam föl a folyamat egyszerű középiskolai értelmezéséhez.

### 2.4.1 Az aszalványok tömegének időbeli változása aszalás közben

Az aszalványok tömege - asztali elektromos aszalót használva - folyamatosan mérhető, lehetővé téve annak pontos időbeli követését. A másik előnye ennek a vizsgálatnak, hogy kisebb mennyiségű gyümölcs esetén néhány óra alatt jelentős relatív tömegcsökkenés érhető el, vagyis akár szakkörön is felhasználható.

A mérésekhez Dyras DSFC-670 típusú, gramm pontosságú digitális konyhai mérleget, valamint Scarlett SC-420 típusú elektromos aszalót használtam. A mérési összeállítást az 2.15. kép mutatja.



### 2.15. kép Aszalványok tömegcsökkenésének méréséhez összeállított elrendezés

Az aszaló egy ventilátor segítségével biztosítja a felmelegített levegő áramlását, valamint hőfokszabályozóval van ellátva és több fokozatban működtethető. Először azt vizsgáltam, hogyan működnek az egyes fokozatok. Ehhez két mennyiséget mértem: az (üres) aszalóban áramló levegő hőmérsékletét és a térfogatáramot. A hőmérséklet értékek értelemszerűen egy intervallum határai ( $T_{min} - T_{max}$ ) között változtak, az áramlási sebesség viszont minden esetben azonosnak bizonyult. Vagyis az egyes fokozatok alapvetően a hőmérséklet megváltoztatását eredményezik. A hőmérsékletet egy digitális fém-hőmérővel, a térfogatáram mérését az eszközre helyezett 25 literes hulladékgyűjtő zacskó segítségével oldottam meg (2.16. kép) úgy, hogy mértem az üres zacskó levegővel való megtöltésének idejét ( $\Delta t$ ). A mért adatokat a 2.11. táblázat tartalmazza.



### 2.16. kép Elektromos aszalóban átáramló levegő térfogatáramának meghatározása

fokozatok	1	2	3	4	5
$T_{min}$ (°C)	36,3	47,5	54,8	57,8	62,5
$T_{max}$ (°C)	37,2	48,3	55,5	58,5	63,3
$\Delta t$ (s)	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
$\Delta V/\Delta t$ (dm <sup>3</sup> /s)	2,38				

**2.11. táblázat Az elektromos aszaló működését jellemző mérhető fizikai mennyiségek**

Az aszalás folyamatáról bőséges szakirodalmat találunk [IMR, 1983]; [SAC, 2006] Az áttekintett publikációk alapján a folyamat fizikai modelljével kapcsolatban minden szerző hasonló egyenletekkel dolgozik, akár kis, akár nagy mennyiségben szárított mintáról legyen szó. A matematikai modellek alapja minden esetben az ún. nedvességi hányados (továbbiakban  $MR$ , moisture ratio) időfüggésének magadása, amely a szerzők szerint [DIA, 1993] a diffúziós egyenletekből következik.

A  $MR$  definíciója a következő:

$$\text{--- (2.6)}$$

ahol  $M$  a pillanatnyi,  $M_e$  az egyensúlyi (az aszalás végén elért) és  $M_0$  a kezdeti relatív nedvességtartalmat jelenti.

Az egyes modellek abban különböznek, hogy az eredeti (a diffúziós egyenletekből következő) exponenciális  $MR(t)$  időfüggést milyen tagokkal egészítik ki. A szakirodalomban sokszor találkozhatunk azzal, hogy az adott aszalási eljárás során több matematikai modellt kipróbálnak, és a legalkalmasabb függvényt használják a leírásánál. Így jár el Akpınar [AKP, 2005] is, aki 12 modell matematikai függvényét foglalta össze, ezek láthatóak a 2.12. táblázatban.

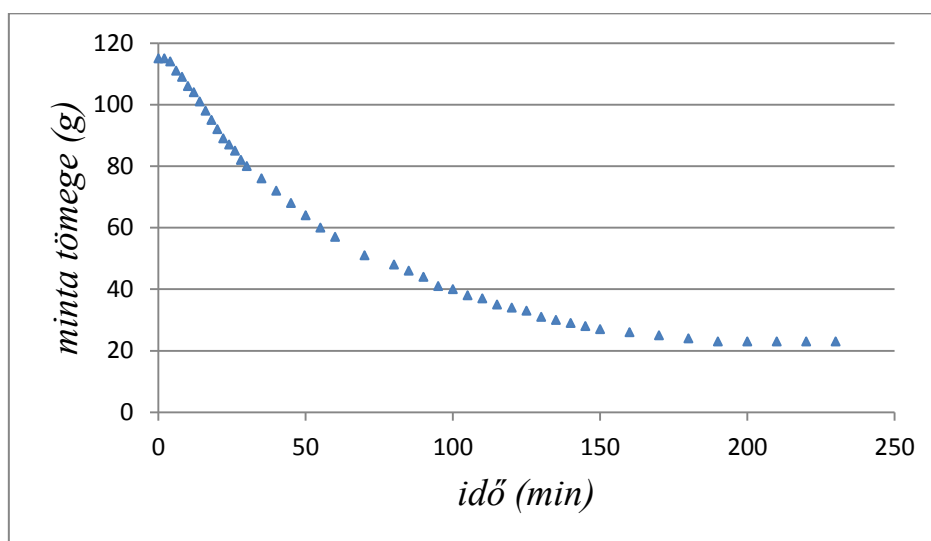
Model no	Model name	Model
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$
3	Modified Page (I)	$MR = \exp[-(kt)^n]$
4	Modified Page (II)	$MR = \exp[-(kt)^n]$
5	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
6	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
7	Two term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$
8	Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$
9	Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
10	Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$
11	Verma, Bucklin, Endan, & Wratten (1985)	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$
12	Modified Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$

**2.12. táblázat Az aszalási folyamat matematikai modelljei [AKP, 2005]**

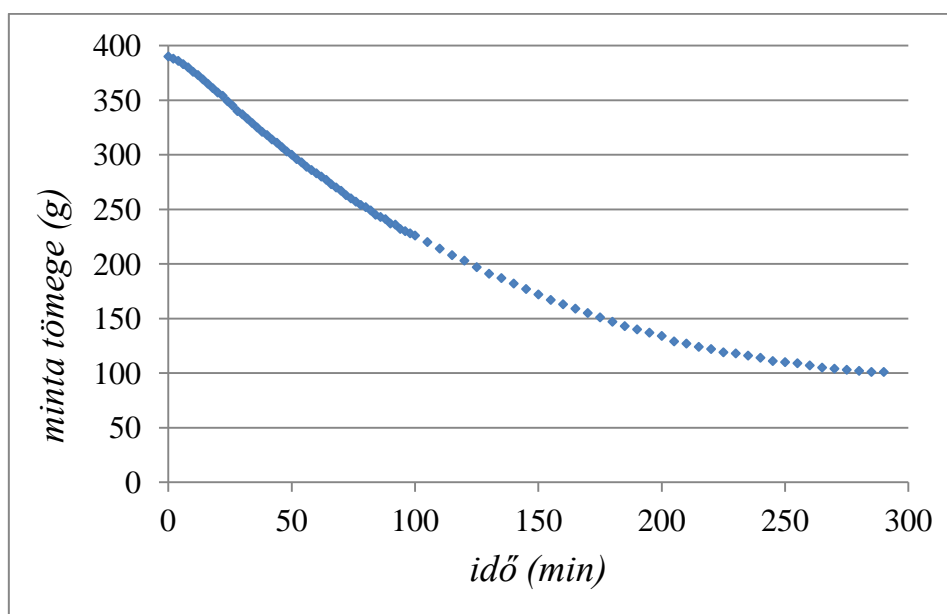
Ezek a modellek önmagukban alkalmatlanok arra, hogy középiskolai szinten tárgyaljuk a jelenséget, ráadásul nem adnak magyarázatot az aszalás folyamatának időbeli lefolyásáról. (Ennek a problémának egy lehetséges megoldására a kísérleti eredmények után térek ki.)

*Kísérleti eredmények*

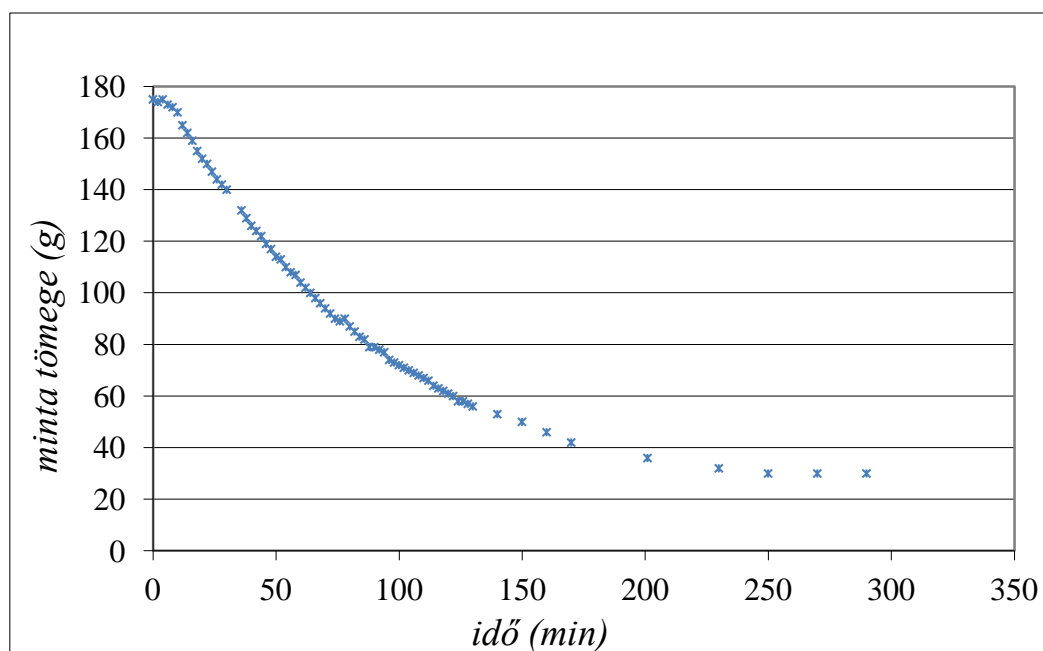
Három, eredetileg különböző tömegű és fajtájú minta vízvesztését követtem nyomon az időben. A három mérés hasonló függvényeket (2.12., 2.13., 2.14. ábra) eredményezett, melyeket összevetettem irodalmi adatsorokkal. A vizsgált minták kezdeti tömege: kivi 175g, banán 390g, illetve alma 115g volt. Az aszalást maximális fokozattal (60°C fölött) végeztem.



**2.12. ábra** Alma tömegének időfüggése asztali elektromos aszaló alkalmazása esetén

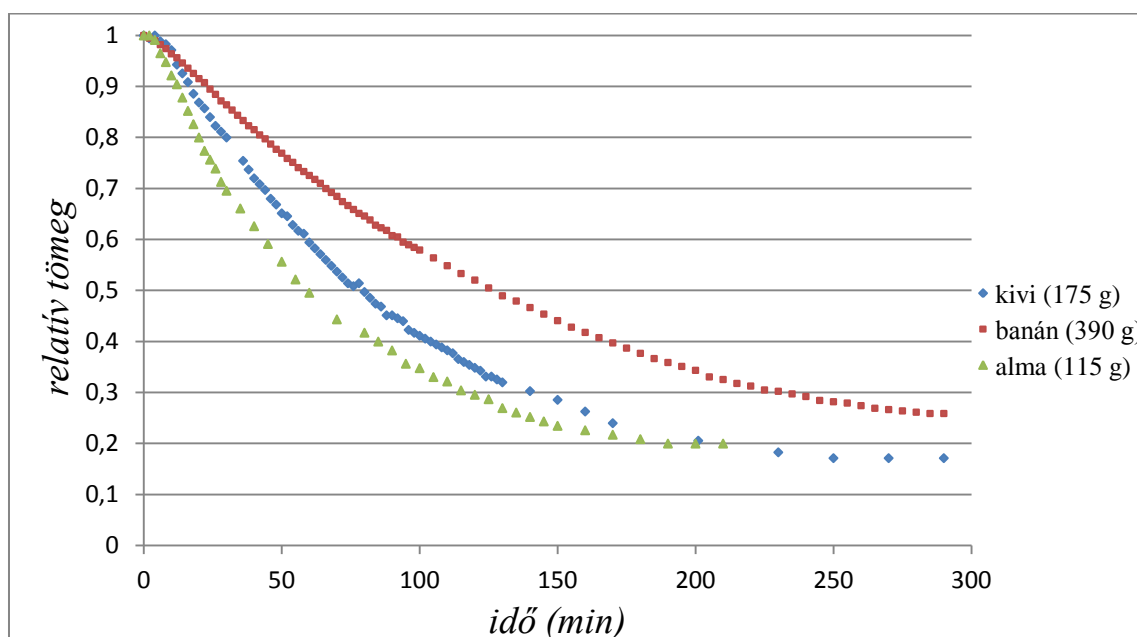


**2.13. ábra** Banán tömegének időfüggése asztali elektromos aszaló alkalmazása esetén



**2.14. ábra Kivi tömegének időfüggése asztali elektromos aszaló alkalmazása esetén**

A kapott eredmények összehasonlíthatóak, ha a relatív tömeg-idő függvényt vizsgáljuk mindhárom esetben (2. 15. ábra).



**2.15. ábra Alma, banán és kivi relatív tömegének időfüggése asztali elektromos aszaló alkalmazása esetén**

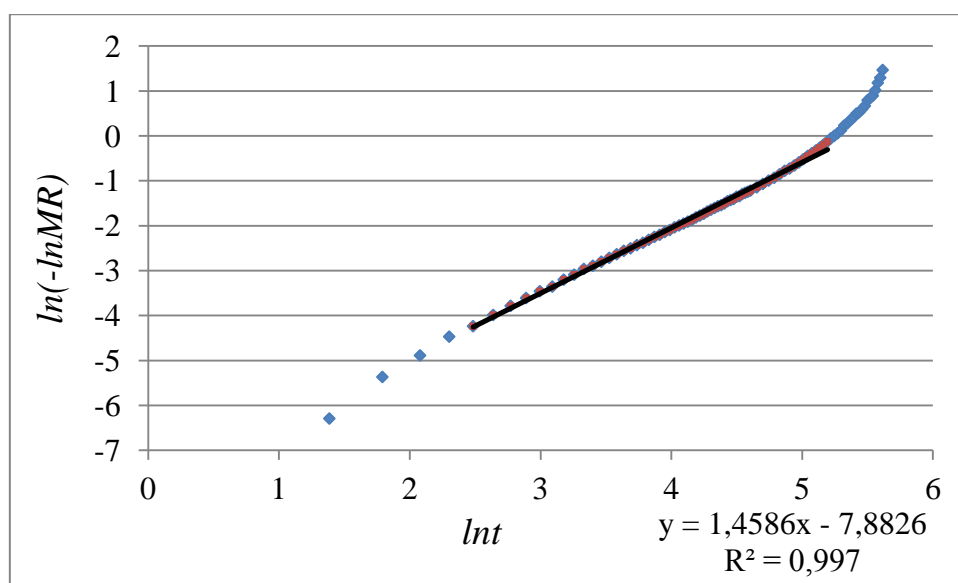
Megállapítható, hogy a hasonló alakú függvények nem fedik egymást, ami alapvetően az anyagi minőség különbözőségére vezethető vissza (és talán befolyásolta az eredményeket a minták kiindulási tömegének különbözősége is). Látható az is, hogy mindhárom minta tömege kb. elérte az egyensúlyi értéket, de nem teljesen ugyanahhoz az értékhez tartanak, ami az

anyagi minőség következménye. Egy bizonyos nedvesség-száranyagtartalom arányánál kisebbet azonban ezzel az eljárással egyik gyümölcs esetében sem tudunk elérni. Továbbá látható az is, hogy a függvények a vizsgálat kezdeti szakaszán (első 5 perc) kisebb meredekséggel indulnak, ami valószínűleg a gyümölcsök felmelegedéséhez szükséges időre vezethető vissza.

A szakirodalom szerint [AKP, 2005] a felsorolt matematikai modellek közül jól használható a módosított Page-modell (2.12. táblázat 3. egyenlet). Több modellt kipróbálva ezt használtam én is a mért adatok kiértékeléséhez. Linearizáljuk az egyenletet, így a következő összefüggéshez jutunk:

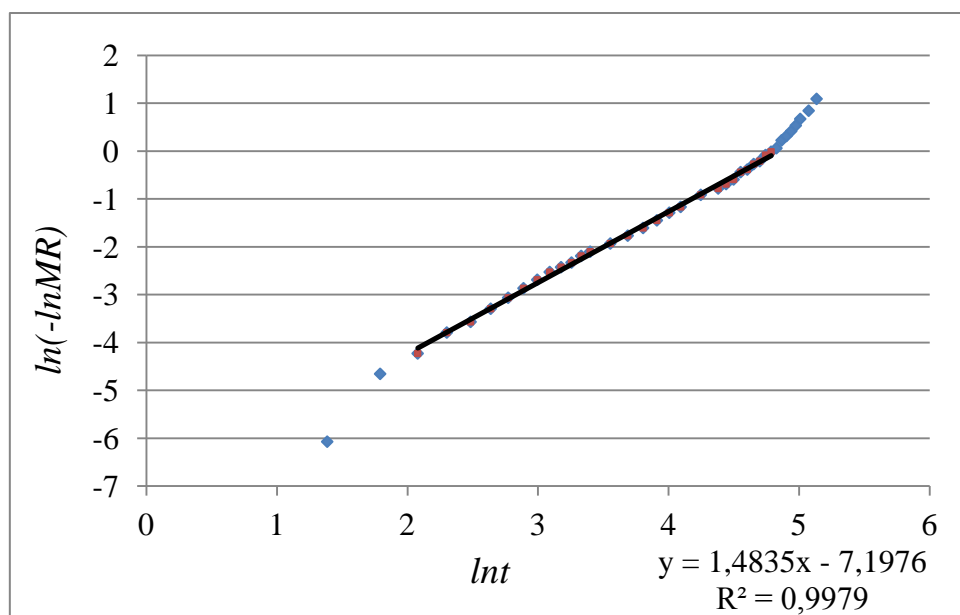
2.7 egyenletet kicsit átalakítva:  $\ln(-\ln MR) = \ln(-\ln MR_0) + k \cdot t$  alakú függvénykapcsolatot kapunk.

Eszerint, ha a függvénykapcsolat ábrázolásakor a vízszintes tengelyen  $\ln t$  értékeit, a függőleges tengelyen  $\ln(-\ln MR)$  értékeit ábrázoljuk, akkor egyenest kapunk. A 2.16. és a 2.17. ábrák banán és alma esetén elektromos aszalóban mért adatok alapján készültek.



**2.16. ábra Az  $\ln(-\ln MR)$ -t függvény banán elektromos aszalóban történő aszalása esetén**





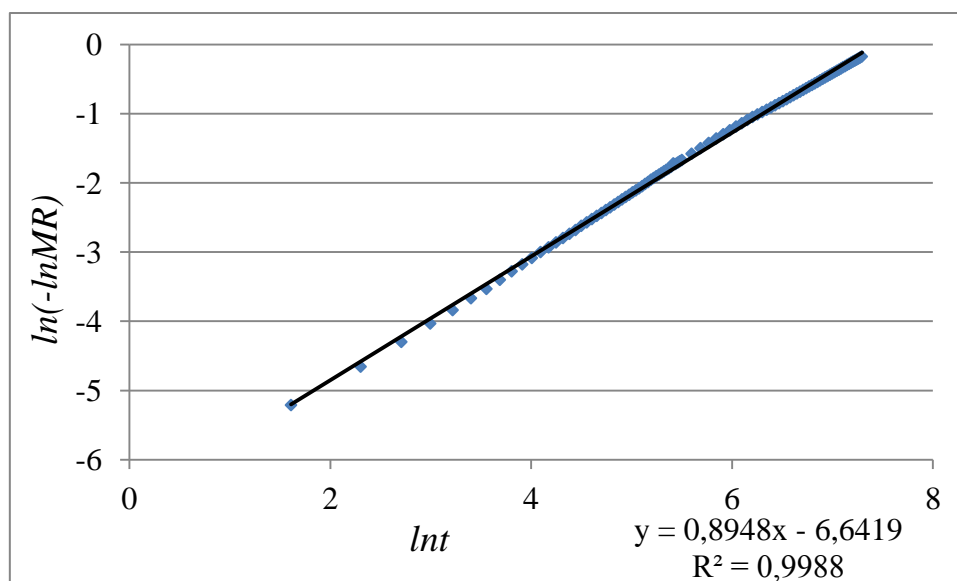
**2.17. ábra Az  $\ln(-\ln MR)$ - $t$  függvény alma elektromos aszalóban történő aszalása esetén**

A kiválasztott időtartamokra nézve az adatpontok eltérése az illesztett egyenesektől kicsi ( $R^2 > 0,997$ ), ezért a függvénykapcsolat jó közelítéssel egyenes. A matematikai modell sikeres alkalmazását mutatja az is, hogy a két esetben a függvény meredeksége is közel azonos:  $B \approx 1,5$  (B, lásd linearizált egyenlet). Ez a gyümölcsökben lezajló diffúziós folyamatokkal van összefüggésben.

#### 2.4.2 Kétkomponensű elegy párolgásának vizsgálata

Ahhoz, hogy középiskolában is használható modellt alkothassunk az aszalás folyamatának leírására, először a gyümölcs mint összetett anyagi rendszer összetételének egyszerűsítésére van szükség (fizikai lényeg kiemelése). Tekintsük a gyümölcsöt két komponensű rendszernek, melyben az egyik komponens illékony (a gyümölcsben a víz, modell-mérésben akár egy könnyen párolgó szerves oldószer), a másik egy gyakorlatilag nem párolgó komponens (szárazanyag-tartalom, egyszerűsítve cukor, vagy modell-mérésben paraffin olaj).

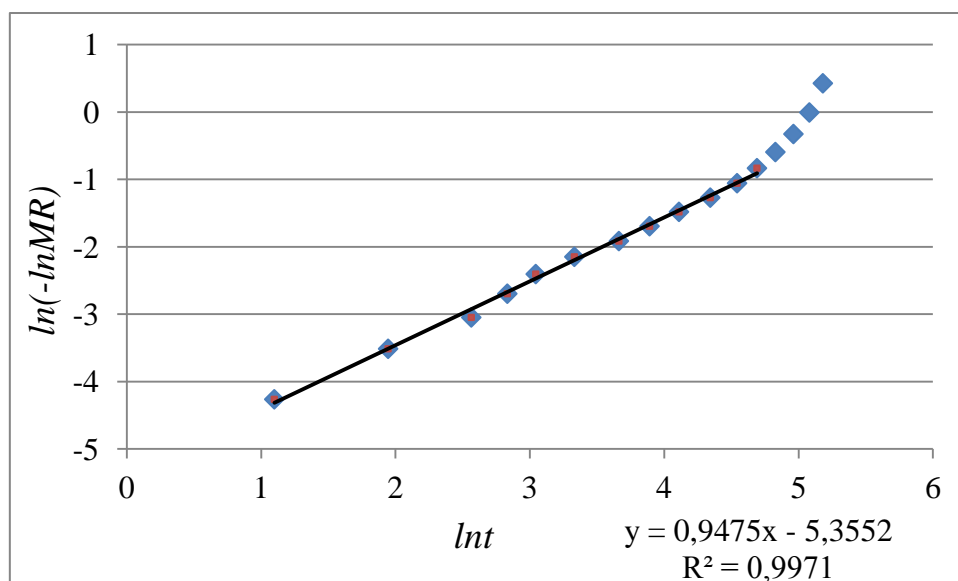
Első mérésünket paraffinolaj-pentán eleggyel végeztük. Az elegyet  $29^\circ\text{C}$ -os szobában, Petri-csészéből szabad felszínnel párolgattuk, közben precíziós digitális mérleggel ( $0,1\text{mg}$  pontosság) mértük a tömegét.



**2.18. ábra Az  $\ln(-\ln MR)$ -t függvény paraffinolaj-pentán elegy párolgása esetén**

Érdekes megfigyelni a 2.18. ábrán, hogy ebben a kísérletben írja le a matematikai modell legjobban a kísérleti adatok által meghatározott függvényt ( $R^2 > 0,998$  a teljes időintervallumra). Ebben az esetben (miután nem az elektromos aszalóban párologattunk, hanem szabadon) nem volt tapasztalható a mérés első szakaszában a felmelegítésből származó eltérés. A vizsgálat végén pedig szintén minden adatpont illeszkedik az egyenesre, ami valószínűleg a komponensek kisebb száma, és a részecskéi között működő gyenge kölcsönhatások miatt lehet, illetve hogy itt nem lépnek föl az elektromos aszalóban jelen levő áramlási és termodinamikai effektusok. Az egyenes meredeksége jóval kisebb, mint a gyümölcsök esetén, ami a diffúziós folyamatok különbözőségének eredménye.

A valóságot jobban megközelítő kémiai összetételt jelent, ha cukros vizet vizsgálunk. A víz viszont kevésbé illékony, mint a szerves oldószerek, ezért ezt a folyamatot az elektromos aszalóban gyorsítottuk fel. A körülmények és az összetétel hasonlósága miatt ebben az esetben az aszalás vizsgálatok tapasztalt függvényalakot kaptuk, vagyis az  $\ln(-\ln MR)$ - $lnt$  lineáris kapcsolat a jellemző. A függvény (2.19 ábra) első szakaszának alakja itt valószínűleg azért nem tér el az egyenestől, mert a mintát az aszalóban előmelegített Petri-csészébe töltöttem. A cukorkoncentráció maximumhoz közelítésekor az egyenestől eltérés volt tapasztalható. Valószínűleg az egyes komponensek között működő másodrendű kötések jelentősége nő meg, hiszen a rendszer közelíti a kristályos szerkezetű cukor kialakulását, valamint most is felléphetnek az aszalóban áramlási és termodinamikai effektusok. A függvény meredeksége a szerves kétkomponensű mintához képest nagyobb, de a gyümölcsök aszalása esetén tapasztalható képest kisebb.



**2.19. ábra Az  $\ln(-\ln MR)$ -t függvény cukoroldat elektromos aszalóban történő vízvesztése esetén**

A mérésorozatot valójában akkor tudjuk szervesen összekapcsolni az energia témakörével, ha egy egyszerű modellt állítunk fel a rendszerben lejárló folyamatok leírására. Ez a részecskeszemléltre épülő modell azért is fontos, mert jól kiegészíti az energiafogalom eddig tárgyalt aspektusait statisztikus fizikai alapokkal.

A modell a következő: tekintsünk egy kétkomponensű rendszert, melyben az egyik komponens illékony, a másik egy ebben jól oldódó, nem illékony komponens. A párolgás a szabad felszínről történik, amely egy részét a nem illékony komponens molekulái töltöttek ki. Az idő előrehaladtával a folyadék a nem illékony komponens szempontjából töményedik, tehát annak valószínűsége, hogy az illékony komponens molekulái képesek kilépni a rendszerből időben csökken. Ez okozza a párolgási sebesség csökkenését. Szemléletes, a középiskolában is használható modellt akkor kapunk, ha ezt a valószínűség-csökkenést a felszínen megtalálható illékony anyag molekulák számának relatív csökkenésével magyarázzuk (dr. Vass Gábor egyetemi docens ötlete alapján).

Helyezzünk az asztalra 70 db kétféle színű dobókockát 1-4 arányban (pl. 14 db színes, 56 db fehér kocka, vagyis egy 20%-os oldatból indulunk ki, hiszen a gyümölcsök víztartalma általában 80% körüli). Válasszunk ki ezek közül tíz darabot, amelyek a felszíni részecskéket fogják reprezentálni. Ehhez tartsuk meg itt is a teljes rendszert jellemző arányt, vagyis két színes (nem illékony komponens) és nyolc fehér (illékony komponens) dobókockát rakjunk külön. Most egyszerre dobjunk egyet mind a nyolc különválasztott fehér kockával. Ha a dobás után valamelyik fehér kocka felső lapja hatos, akkor azt vegyük ki a halmazból, majd pótoljuk

azokat megfelelő számú „belső” kockával úgy, hogy a „felszínen” folyamatosan tartsuk meg a két komponens folyadék egészére jellemző arányát. Ettől a ponttól több lehetőségünk is van a játékszabályok megválasztására, mégpedig aszerint, hogy milyen érdeklődésű csoportban szeretnénk a „kockamodellt” felhasználni.

i.) Természettudományi csoport esetén azt javaslom, hogy a jelenséget a legjobban megközelítő eljárással végezzük a hiányzó kockák pótlását: az összes (színes és fehér) „belső” kockát tegyük egy kis zsákba, amiből véletlenszerűen húzunk annyi kockát, amennyi a dobás után a „felszíniek” közül hiányzik (ennek az újabb statisztikus elemnek a játékban való megjelenése ennyi kocka esetén rontja a modell alkalmazhatóságát, de több csoporttal végeztetve a kockadobásokat azok átlagából azért használható adatokat kapunk). A továbbiakban folytassuk az eljárást ugyanígy, vagyis dobjunk a „felszíni” fehér kockákkal, majd az esetleges hatos dobások kockáit tegyük ki a halmazból, majd pótoljunk a zsákból.

ii.) Matematika érdeklődésű csoport esetén a számolásra helyezhetjük a hangsúlyt.

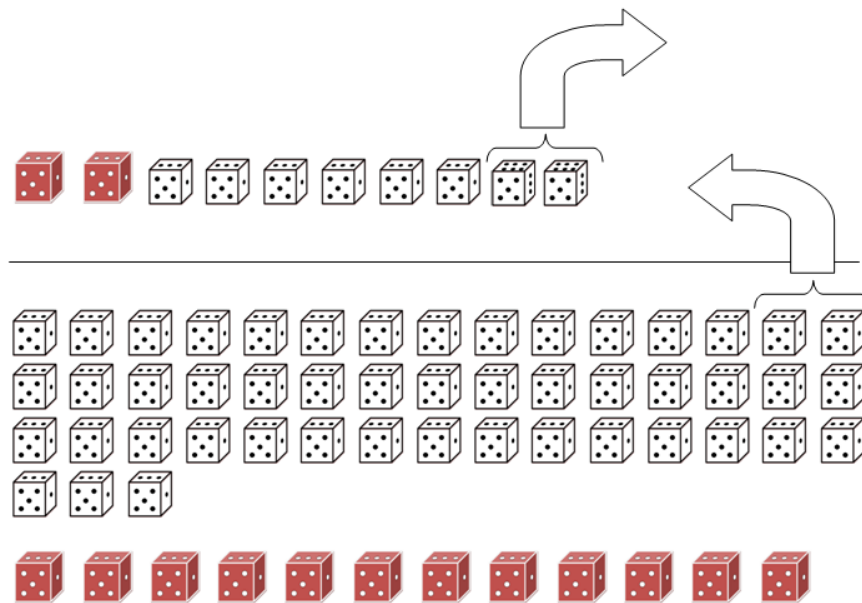
Nézzük meg részletesen a „matematikus” játékszabályokat!

Ahhoz, hogy a „felszínen” a színes és fehér kockák arányát a teljes halmazra jellemző értéken tartsuk, a hatos dobással kikerülő kockát (kockákat) a következőképpen is pótolhatjuk. Regisztráljuk folyamatosan az aktuális kockák számát, és minden lépés után számítsuk ki a színes kockák %-os arányát a teljes folyadékra (ez nem nehéz, hiszen a színes kockák száma nem változik). Amennyiben a „felszíni” kockák esetén ettől eltérő ez az arány, akkor a „felszínről” elvett kockákat az aktuális dobás után részben színes kockával pótoljuk. Tehát ha például a kezdeti 70 db kockából (amelyből 56 db fehér) 7 dobás után hiányzik 16 db fehér kocka, akkor a színes kockák aránya nagyobb lesz mint 25% (— , akkor a dobás után a „felszínről” hiányzó kockákat úgy kell a belsővel pótolni, hogy a meglévő 2 db színes mellé még 1 db színes kockát teszünk (ekkor a „felszínen” 3 db színes és 7 db fehér kocka lesz (30%), amely megközelíti a teljes kockatömegre jellemző 26%-os arányt). És így tovább, addig, amíg a „felszínen” van fehér kocka. Az eljárás lépései könnyebben nyomon követhetőek, ha a kockák számát excell táblázatba írjuk, hiszen akkor minden aktuális dobás után rögtön megadható a kétféle kocka számaránya (pontosabban a színesek aránya az összes kockához), segítve ezzel a „felszíni” kockák szabályszerű kipótlását. Vagy egyszerűen képlettel definiáljuk azokat az állapotokat, amikor szükségessé válik, hogy a „felszíniek” közé színes kockát is tegyünk. Miután a felszíni kockák esetén (is) diszkrétén változik a színes kockák

százalékos aránya (ti. 10%-os lépésekben, pl. 20%-ról 30%-ra), ezért a következő formulát alkalmazhatjuk (ennek levezetése a 4. számú mellékletben látható). Ha az összes dobókockák száma ( $N_{összes}$ ) egy aktuális dobás után (ahol  $n$  egész szám a következő értékeket veszi föl:  $n=2,3\dots7$ ):

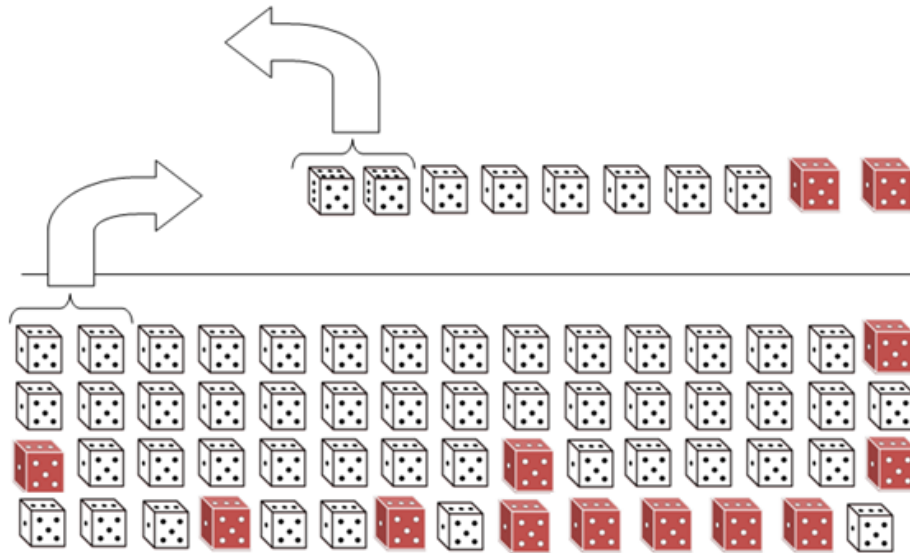
$$\text{---} \quad (2.8)$$

akkor a hiányzó „felszíni” kockát színessel kell pótolni (ha éppen több kockát kell pótolnunk, akkor egy színes és megfelelő számú fehér kockát helyezünk át a „felszínre”). Egy lehetséges kezdő lépést mutat be a 2.20. ábra.



**2.20. ábra Kétkomponensű elegy párolgásának modellezése dobókockákkal matematika csoportban**

iii.) Humán érdeklődésű csoport esetén a „belső” kockákat úgy kell fölrakni az asztalra, hogy azok közül egyszerűen a soron következő kockával (kockákkal) pótoljuk a hiányzó „felszínieket”. Ehhez persze burkoltan az előző formulát alkalmazzuk, de nem matematikai megközelítésben interpretáljuk, hanem egyszerűen azt mondhatjuk, hogy a fehér, illetve színes kockákat az egyre töményedő (időbeli és nem térbeli töményedést jelent ez persze!) oldatnak megfelelően helyezük egymás mellé. Az ehhez szükséges kezdőállapotot mutatja be a 2.21. ábra.



**2.21. ábra Kétkomponensű elegy párolgásának modellezése dobókockákkal  
humán csoportban**

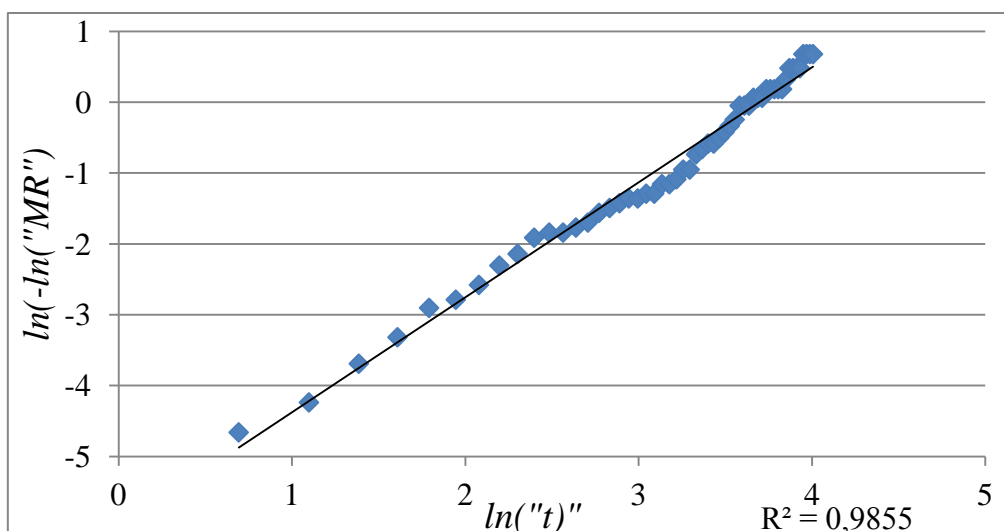
Természetesen ebben a játékban is definiálható az „idő” és az „MR” is. Az idő előrehaladtát a dobások számával reprezentálhatjuk, az MR meghatározása pedig a fehér kockák százalékos arányának ( $M_{fehér}$ ) segítségével elvégezhető.

$$\text{—————} \quad (2.9)$$

$$\text{—————} \quad (2.10)$$

ahol  $M_{0,fehér}$  a kiindulási,  $M_{fehér}$  a pillantnyi,  $M_{e,fehér}$  pedig a végállapothoz (egyensúlyhoz) tartozó arányt fejezi ki. Az egyensúlyhoz tartozó fehér kockák százalékos arányát a valósággal való hasonlóságot közelítve 20%-nak választottam.

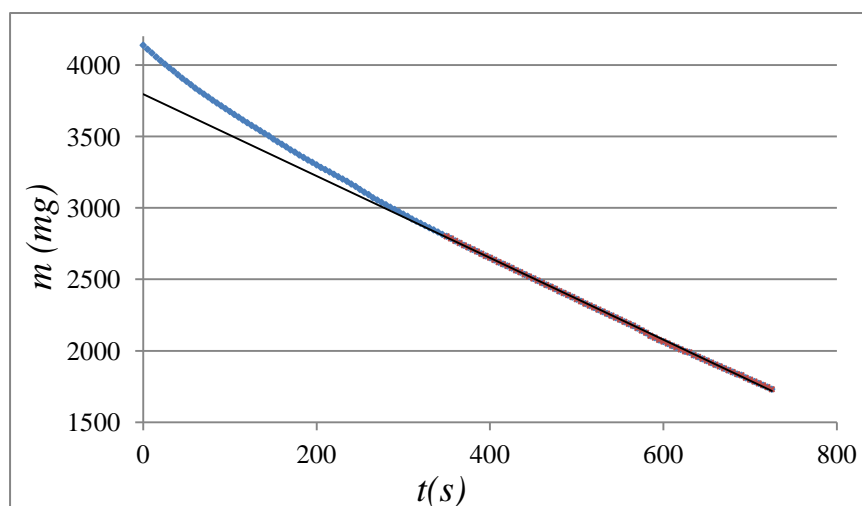
Egy valós dobássorozatot (amelyet a linearizált „MR-t” függvény megrajzolásához is használtam) mutatok be az 5. számú mellékletben. A 2.22. ábrán látható, hogy 70 db kocka segítségével (a „matematikus” szabályokkal játszva) már egészen jól közelíthető ( $R^2=0,9855$ ) a méréseinkben is tapasztalt függvénykapcsolat, ami a modell helyességének ellenőrzése is egyben.



**2.22. ábra Kétkomponensű elegy párolgásának dobókocka-modelljéből kapott linearizált „MR-t” függvény**

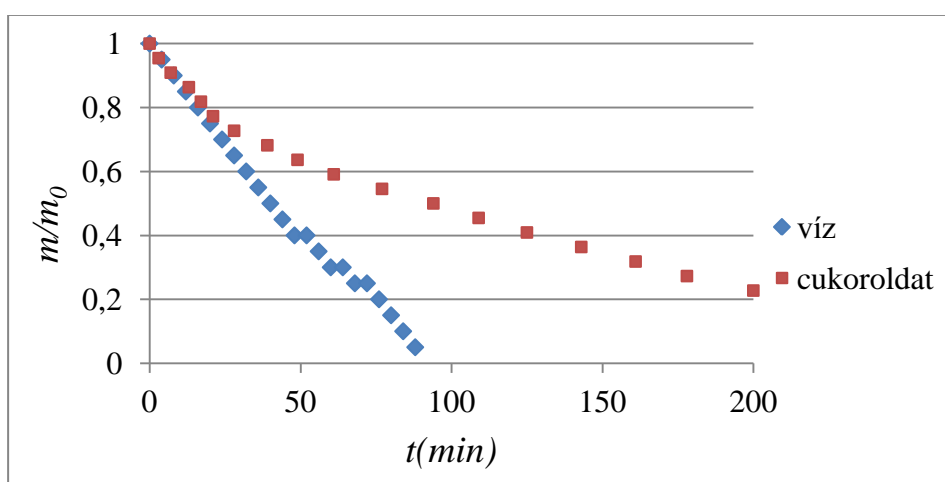
A dobókocka-modell természetesen jól illeszkedik az energiaszintézis gondolköréhez, hiszen egy részecske párolgáshoz szükséges energiájú állapotát az jellemzi, ha az adott kocka felső lapja hatos. Ezzel a statisztikus fizikát is becsatoltuk az energiaszintézis koncepciójába.

Fontos megjegyeznem, hogy egykomponensű folyadék szobában történő szabad párolgása esetén ettől eltérő eredményt tapasztalunk akár már Petri-csészéből történő párolgotatáskor is, ami vélhetően a folyadék párolgás miatt bekövetkező hűlésének eredménye. Ezt támasztja alá az a tapasztalati tény is, hogy dietil-éter párolgotatása esetén (2.23. ábra) a minta tömegének időfüggése a vizsgálat első szakaszán határozott eltérést mutat az egyenestől (az első 1 percben  $2^{\circ}\text{C}$ -ot csökkent a minta hőmérséklete!), a második szakasza azonban (amikor a környezettel való kölcsönhatás miatt beállt az egyensúly) jó közelítéssel egyenes.



**2.23. ábra Dietil-éter tömegének időfüggése Petri-csészéből történő párologtatás esetén (precíziós mérleggel mérve)**

Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy a párologás sebességét (az aszalás szempontjából vizsgált effektusok közül) több tényező is befolyásolja: a hőmérséklet, a környezet páratartalma, az edény alakja, a komponensek anyagi minősége és száma. A hőmérséklet és a páratartalom közel állandó értéken tartható egy elektromos aszaló berendezésben, ezért abban a nem illékony komponens jelenlétének hatása Petri-csészében jól vizsgálható, amit a 2.24. ábra is mutat. Látható, hogy a víz (kiindulási tömege 20g) és a cukoroldat (kiindulási tömege 22g) normált tömegének időfüggése között eltérés mutatkozik. A függvénykapcsolat a víz esetén lineáris, a cukoroldat esetében azonban nem.



**2.24. ábra Elektromos aszalóból párologtatott víz és cukoroldat normált tömegének időfüggése**

Ez a különbség a dobókocka-modellben triviálisan adódik: egy komponens esetén a „felületi” illékony komponens reprezentáló kockák száma állandó, vagyis a 6-os dobás valószínűsége is állandó, a párologás sebessége nem változik.



### 2.4.3 Az elektromos aszaló hatásfoka

Az energiafogalom szempontjából lényeges, hogy - ahogy a napenergiás aszaló esetén is tettük - meghatározzuk az elektromos aszaló hatásfokát. Ehhez ugyanazt az eljárást vesszük alapul mint korábban, vagyis azt mérjük, hogy a berendezés 1 óra alatt a standard edényben levő 50 g vízből mennyi vizet képes elpárologtatni (párologtató kapacitás). Itt különös gonddal jártam el: a maximális fokozatra (fűtőteljesítményre) kapcsolt eszköz tálcájára helyeztem az üres Petri-csészét, majd megvártam, amíg a hőmérséklet állandósul (kb. 60°C) az aszalótérben, és csak ezután öntöttem a szobahőmérsékletű (kb. 20°C-os) vizet az edénybe. A művelet alatt az egész aszalót a digitális mérlegen tartottam, amit a víz beöntése után táráztam. Így közvetlenül és folyamatosan az edényben lévő víz mennyiségét tudtam mérni. 1 óra elteltével a víz tömege 10 g-mal csökkent. A hatásfok számításakor az elpárologtatott vízhez szükséges energiát és az aszaló elektromos munkavégzését vesszük alapul, így:

$$\frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{P \cdot t} \quad (2.11)$$

Ez nagyjából egy nagyságrenddel nagyobb, mint amit a napenergiás aszaló esetében kaptunk, azonban érdemes megjegyezni, hogy az elektromos eszköz aszalótálcáira jóval kisebb mennyiségű gyümölcsöt rakhatunk, vagyis az önkényesen korábban definiált párologtató kapacitás és az abból meghatározható hatásfok adatok összehasonlítása mellett mindenképpen érdemes lenne megvizsgálni, hogy vajon az átáramló levegő felmelegítéséhez (illetve elektromos aszaló esetében még a ventilátor működéséhez) mennyi energia szükséges. Ehhez a következő becslést tehetjük.

Az aszalóban a kezdetben szobahőmérsékletű (20°C) levegő - a 2.11. táblázat adatai szerint - 5-ös fokozatban \_\_\_\_\_ hőmérsékletűre melegszik föl. A térfogatáram 2,38 dm<sup>3</sup>/s a 63 °C hőmérsékletű levegőre. Az 1s alatt áthaladó felmelegített levegő anyagmennyisége:

$$\frac{V}{t} \quad (2.12)$$

Ennek belső energiája:

$$- \quad - \text{al}$$

növekedett a melegítés hatására. Mivel az eszköz 250W elektromos teljesítményű, így ezt a folyamatot alapul véve a melegítés hatásfoka:

$$\frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{P \cdot t} \quad (2.13)$$

(Megjegyzem: a ventilátor működéséről külön nem áll rendelkezésre adat, csak annyit tudunk, hogy az 1 s alatt átáramló levegő gyorsításból származó mozgási energiája /az aszalótér alapterületének sugara 15 cm/

$$- \quad - \quad - \quad \text{—————} \quad (2.14)$$

vagyis két nagyságrenddel kisebb, mint a belső energia növekedése, tehát ahhoz képest elhanyagolható.) Ebből is látszik, hogy a párologtató kapacitás meghatározása – bár visszaadja az aszaló működésének lényegét - önmagában nem alkalmas a napenergiás és az elektromos aszaló berendezések összehasonlítására. Érdeemes ezért nagyságrendi becslést adni egy napenergiás aszaló fűtőteljesítményére. Ezt a számolást az áramlási sebesség mérésének problémája miatt egy másik - Juhász András által épített - berendezésre végzem el. Az áramlási sebességet gyertyaláng segítségével becsülhetjük (2.16. kép).



**2.16. kép Az aszalótérből kiáramló levegő sebességének kimutatása (a kép Juhász András által készített aszalónál készült)**

Ennek nagyságrendje 0,5-1m/s. Figyelembe véve az aszalótér nyílásának keresztmetszetét (ahová a gyertyát helyeztem), a térfogatáram meghatározható:

$$- \quad - \quad - \quad \text{—————} \quad (2.15)$$

Látható, hogy ez kb. duplája az elektromos készülék térfogatáramának, viszont esetünkben a napsugárzásból származó befektetett energia az aszaló kollektorának felületét felhasználva kb. 750 W, vagyis az elektromos aszalóhoz képest háromszor akkora. Tehát ebben a tekintetben egy házilag épített aszaló „versenyképes” egy üzletben vásárolható elektromos készülékkel szemben.

### **3. A CORIOLIS-HATÁS ÉS A KÖRNYEZETI ÁRAMLÁSOK TANÍTÁSI LEHETŐSÉGEI KÖZÉPISKOLÁBAN**

Nemcsak a fizika, hanem a földrajz tanítása számára is létkérdés a megújulás. Ha a két tárgy kapcsolatának oldaláról közelítjük meg a problémát, akkor a fizika számára tartalmi változást jelenthetne a földrajz tantárgy kerettantervben meghatározott néhány elemének kiegészítése, fizikai tartalmának tárgyalása (légkörten, óceáni áramlások). A földrajz tanítása pedig mindenképpen gazdagodhatna, amennyiben demonstrációs kísérletekkel egészülne ki a tanárok módszertani repertoárja. Véleményem szerint a földrajz sokszínűségéből (megkockáztatom eklektikusságából) a jelenleginél hangsúlyosabb lehetne a természettudományos jellege, ha a matematikai összefüggések hangsúlyosabb helyet kapnának a középiskolai oktatásban. Ebben a fejezetben bemutatom, hogy a környezeti áramlások témája alkalmas ezen célok megvalósítására.

Kidolgoztam egy fizikaórai egyszerű kísérletet, amely a diákok saját mérési tapasztalatára építve, a nehezebb matematikát kiküszöbölve mutatja be egy forgó rendszerben a forgás miatti eltérülés nagyságát [SZE, 2013]. A kísérlet és értelmezésének lényege az eltérülésre kiszámolt tapasztalati összefüggés. A hagyományosan Coriolis-erővel értelmezett jelenségek módszerem segítségével egyrészt magyarázhatók, másrészt a fontosságuk megadható. Becslést adhatunk a Coriolis-hatás nagyságrendjére a forgó Földön zajló néhány jellemző mozgás esetén. Ez a tudás elegendő számos földrajzban használt jelenség – mint például a ciklonok, a passzát-szél, az óceáni áramlások - megértésében, és matematikai egyszerűsége miatt akár földrajzórán is bevethető. Ez kiemelten fontos, mert földrajzórán kevés lehetőség adódik a tanórai számításokra, mérésekre.

#### **3.1 Tanítható-e a Coriolis-erő?**

##### *3.1.1 A Coriolis-hatás tanításának nehézségei*

A címbeli kérdés kétértelmű, nem véletlenül. Egyrészt: szabad-e tanítanunk a tehetetlenségi erőket fizika órán? Másrészt pedig felmerül: meg lehet-e tanítani a Coriolis-erőt mondjuk 9. évfolyamon? Elsőre egyáltalán nem egyértelmű a pozitív válasz. Korábban én is úgy gondolkoztam - ismerve az akkori tankönyvek szokásos gondolatmenetét a gyorsuló vonatkoztatási rendszerek témakörében -, hogy egyszerűbb ismeretek is nehezen adhatóak át a diákoknak. Sokáig gondot okozott számomra az inerciarendszer fogalmának tanítása, illetve használata. Mindig úgy éreztem, többet kellene magyaráznom diákjaimnak a pontos megértéshez. Ma már tudom, hogy nem szükséges mindig a teljes precizitás, hiszen a diákok világképe hosszú idő alatt formálódik, de persze fontos rávilágítunk a nehézségekre.

A Newton-féle törvények megértése az egyik sarkalatos pontja a fizika tanításának. Az arisztotelészi kép erősen működik a gyerekekben, amit sokszor a dinamika tanulása közben sem lehet kellő szinten helyrerakni. Ez a jelenség elsősorban a tapasztalatoknak a nem adekvát fogalomrendszerrel való magyarázatára vezethető vissza. Az utóbbi években például egyre gyakrabban tapasztalom a kinematika tanítása közben, hogy a diákok „nagyszerűen” megtanulják az egyenletes mozgás út-idő összefüggését, de nem vesznek tudomást más típusú mozgásokról. Hosszú gyakorlás eredményeként lehet csak elérni, hogy változó mozgások esetén ne számoljanak az  $S = v \cdot t$  képlettel [RAD, 2008].

A tehetetlenség törvényének értelmezése - látszólag - nem jelent gondot, hiszen az egyenes vonalú egyenletes mozgás jelenik meg benne, de a dinamika alaptörvényét már csak mint begyakorolt matematikai formulát kezeli a legtöbb diák. A mennyiségek közötti logikai kapcsolat már nem tisztul le bennük, és zavaros számukra a vonatkoztatási rendszer szerepe is. Ezt nehezíti még az a tény, hogy a newtoni dinamika fogalomrendszerének „megszilárdulása” előtt más tantárgyból előkerülnek alkalmazás szintjén a forgó Földön tapasztalt áramlási jelenségek. A földrajz szaknyelvre nem használja a vonatkoztatási rendszer és a gyorsulás fogalmát sem, így ott nem nyer értelmezést az erő és a sebességváltozás közötti szoros kapcsolat. Ezt tetézi az a – módszeres megfigyelések nélküli magyarázaton alapuló – tévképzet is, miszerint a fürdőszobai lefolyóban tapasztalt forgómozgást is a Föld forgása okozza.

Tehát arra a kérdésre, hogy szabad-e tanítanunk a tehetetlenségi erőket, határozottan az a válaszom, hogy igen, sőt megkockáztatom: kell tanítanunk ezt a témát, hiszen így nyernek a fogalmak igazi értelmet, és segítjük ez által a természetföldrajz tanítását is. Nem pusztán arról van szó, hogy a földrajz órán hallottakat megerősítjük, magyarázzuk, hanem olyan módszert választunk, amely a fizikatanítás sajátja, és termékenyen hathat más tárgyak, jelen esetben a földrajz tanulására. Az ilyen értelemben vett komplex, egymásra épülő természettudományos oktatásnak látom értelmét. Ez is az oka, hogy – véleményem szerint – nem járna sikerrel egy komplex természettudományi tárgy bevezetése (a természettudományi érettségi már működik, ami persze nem mond ellent állításomnak). Rögtön adódik a kérdés: megvalósítható-e az integrált természettudományos szemlélet, ha pl. fizika órán a tantermi fizikára korlátozódunk, és megmaradunk a klasszikus kísérletek szintjén.

### 3.1.2 Coriolis-hatás a földrajz tanításban és az érettségien

A magyarországi oktatási gyakorlat erőteljesen épít a tankönyvre, mint tanulást segítő eszközre [OH, 2007], ezért érdemes áttekintenünk a vonatkozó tartalmakat. A

természetföldrajz témáit tárgyaló tankönyvek több fejezetben is foglalkoznak a Coriolis-erő komoly ismeretét feltételező ismeretanyaggal. Öt forgalomban lévő 9-es évfolyamnak íródott földrajz tankönyvet vizsgáltam a Coriolis-erő fogalmának megjelenése szempontjából.

Makádi M. és Taraczközi A. könyvük [MAK, 2003] 3. fejezetében a légköri, a 4. fejezetben pedig a vízburokban lezajló folyamatokat tárgyalják. Folyamatosan használják a gázok állapotváltozásaihoz, a halmazállapot-változásokhoz, illetve a mechanikához köthető fogalmakat. Ez a tankönyv nem használja a Coriolis-erő kifejezést, hanem a következőképpen fogalmaz: „A ciklonokban a levegő kívülről befelé áramlik, mert a közepén alacsonyabb a légnyomás, mint a környezetében. Ám az áramló levegő sűrűdik a felszínnel, és a Föld forgásából származó tehetetlenségi erő eltéríti eredeti irányából. Ezért a felszín közelében a levegő befelé, az északi félgömbön az óramutató járásával ellentétes irányban áramlik.”

Hunyadi L. földrajz tankönyvének [HUN] a légkör és a vízburok jelenségeit tárgyaló fejezeteiben viszont többször is előkerül a szövegben a Coriolis-erő. Először a következőképpen találkoznak vele a tanulók: „A földfelszínen a szél mindig a magasabb nyomású hely felől fúj az alacsonyabb légnyomású hely felé. Az eredeti irányt azonban befolyásolja a Coriolis-erő (hatására a szél az északi félgömbön jobbra, a délin pedig balra kitér); a ciklonokban és anticiklonokban a centrifugális erő; a Föld felszíne közelében a sűrűdés is.” Néhány sorral alább pedig a következőt olvashatjuk: „A légáramlások létrejöttének közvetlen oka a légnyomáskülönbségből adódó gradiens-erő. Az általa kimozdított levegőrészecskékre azonban hat a Coriolis-erő...” Később, a Golf-áramlás kapcsán is említést tesz a „kitérítő erőről”.

Nemerkényi A. és Sárfalvi B. talán fölismerték azt a hiátust, amely a két tárgy tanítása közben fellép, ezért külön kiemelt részben [NEM, 2002] foglalkoznak a Coriolis-erővel. A megértést segíti egy ábra is. A bárikus széltörvény magyarázatoként kerül elő először, majd a ciklonok témájánál újra, illetve az általános légkörzés, valamint a tengeráramlások tárgyalásakor is utalnak a Föld forgásából származó hatásra. Fontos azonban megjegyeznünk, hogy a kiemelt magyarázat is pusztán azt a szokásos gondolatmenetet használja, mely szerint az északi féltekén az É-D, illetve D-É irányú mozgást végző légtömegek „lemaradnak”, illetve „megelőzik” a Földet, vagyis jobbra térülnek el. Ebben persze rejtve benne van, hogy a forgó rendszerben mozgó test esetén kell figyelembe venni ezt a hatást, de mi történne például egy K-NY irányú áramlás esetén?

Arday I., Rózsa E. és Ütőné Visi Judit tankönyvírók [ARD, 2003] is említést tesznek a Föld forgásából származó hatásokról a légkörben és a vízburokban is, de a részleteket nem

fejtik ki. A légnyomás és a szél – Ciklonok, anticiklonok című leckében a következőt olvashatjuk: „A szél mozgása a valóságban nem egyenes irányú, azaz a levegő nem pontosan az alacsony légnyomású területek irányába mozog, ugyanis ezt a légmozgást több tényező is befolyásolja. Ilyen a Föld forgásából származó kitérítő- (Coriolis-) erő, az ugyancsak ebből eredő centrifugális hatás és a földfelszín közelében ható súrlódás, amely a magasabb légrétegekben már elhanyagolható. A szél a valóságban az említett erők közös eredőjének irányába mozog.”

Jónás I., Dr. Kovács Lászlóné, Vízvári Albertné szerzők – a felsoroltaktól eltérően - könyvükben [JÓN, 2003] először a vízburok, majd a levegőburok jelenségeit tárgyalják. Így fogalmazzak: „Befolyásolja még az áramlásokat a tengervíz sűrűsége (hőmérséklet, sótartalom), az eltérítő erő (Coriolis-erő) és a kontinensek elhelyezkedése.” A légkör fejezetében pedig a következőt találjuk: „Ha a Coriolis-erő nem hatna, a szél a ciklon közepe felé fújna egyenesen. A Föld forgásából adódó eltérítő erő miatt a felszín közeli rétegekben a levegő kívülről befelé, az óramutató járásával ellentétes irányban áramlik (ez a Föld északi félgömbjén van így)”, majd egy leckével később „A légkörzés egyszerű lenne, ha a Föld nem forogna: az Egyenlítőnél felmelegedő és felemelkedő levegő a sarkok felé áramlana, és ott lehűlve visszatérne az Egyenlítőhöz. A Föld forgásából adódó erő azonban mindkét félgömbön módosítja a légáramlások útját. A szélirányok kialakulásában a súrlódási erő is szerepet játszik” – írják.

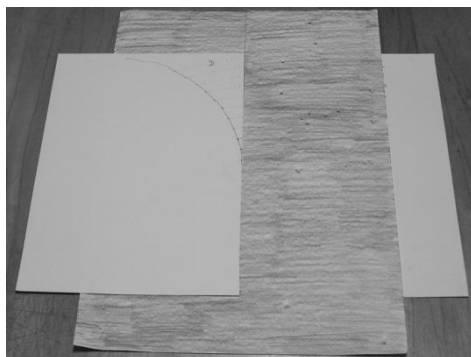
Láthatjuk, hogy a tankönyvírók mennyire különbözőképpen próbálják megoldani a problémát. Nincsenek könnyű helyzetben: szerintem nem az ő feladatuk a Coriolis-hatás bevezetése. Azt a szemléletet, amely szükséges lenne a megértéshez, mindenképpen fizika órán kellene elsajátítani. A diákok számára zavaró lehet, hogy fizikából gimnáziumban nem tanulnak hidrosztatikát (igaz az új kerettantervnek megint része), és a tehetetlenségi erők sem részei a törzsanyagnak. Nagyobb gondot okozhat viszont az, hogy a fizikában az erő fogalma a mechanikai kölcsönhatáshoz kapcsolódik. Ahogy már a centripetális erő is fogalmi zavarokhoz vezethet [RAD, 2008], úgy a tehetetlenségi erők bevezetés nélküli használata akadályozza a fogalomrendszer letisztulását.

Ha azonban megvizsgáljuk a földrajz érettségi követelményeit az elmúlt évek feladatsorait alapul véve, akkor megállapíthatjuk, hogy majd minden évben van olyan megoldandó feladat, amely épít ezekre az ismeretekre. Példaként említem a 2012. év egyik középszintű [OH3, 2012] feladatát, amely egy meteorológiai térképen látható légköri képződményhez kapcsolódóan tesz föl kérdéseket többek között a levegő vízszintes és függőleges mozgásáról.

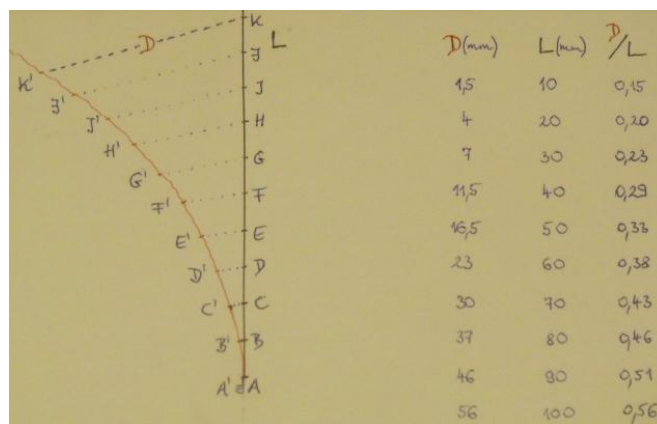
Egy 2010. májusi emelt szintű feladatsor [OH, 2010] pedig konkrétan a Coriolis-erő hatásaival foglalkozik. Sajnos nincs olyan adatbázis, amely az érettségi feladatonkénti megoldottságát magába foglalná, de érdekes lenne ezt megvizsgálni, hiszen pontosabb képet kaphatnánk arról, hogy a fizikai ismereteket is igénylő feladatokat (napsugárzás hatásai, környezeti áramlások) vajon milyen szinten tudják a fiatalok megoldani, összevetve a teljes feladatsorban mutatott teljesítménnyel.

### 3.1.3 A Coriolis-hatás egy lehetséges bevezetése

Vizsgáljunk egy egyenletes egydimenziós mozgást, amelyet egy papírlapra húzott szakasz fog reprezentálni. A papírlapot egyenletesen forgatva egyszerűen bemutathatjuk a Coriolis-hatást. Ehhez vegyünk két A4-es papírlapot (3.1. kép). Az egyiket vágjuk be a hosszabbik oldalának felezőpontjától a rövidebbik oldallal párhuzamosan a papírlap közepéig. A másik lapon is végezzük el a műveletet úgy, hogy a rövidebbik oldal felezőpontjából indulunk ki. A demonstráció első lépéseként illesszük össze a két papírlapot a vágások mentén úgy, hogy középpontjuk összeérjen. Ezután húzzunk vonalat az alsó papírlapra a másik papírlap vágott éle, mint vonalzó mentén (egyenes a 3.1. ábrán). A következőkben pedig ismételjük meg a vonalhúzást úgy, hogy a mozgás pályájának rögzítésére használt lapot egyenletesen forgatjuk (görbe a 3.1. ábrán).



3.1. kép A papírlapos kísérlet



3.1. ábra A relatív eltérés meghatározása

A kapott egyenesen, illetve görbén végezzünk méréseket, számításokat. A 3.1. ábrán látható módon az egyenesen (értsd: a mozgás inerciarendszerből szemlélt pályáján), illetve a görbén (értsd: a mozgás forgó rendszerből vizsgált pályáján) is tegyünk jelöléseket az időegységenként elért pontokhoz. Ezeket megkaphatjuk, ha a kiindulási pontból különböző nyílásszögű körzővel (1 cm, 2 cm stb.) körívezünk. A továbbiakban az így kapott A-K (az egyenes pontjai), illetve A'-K' (a görbe pontjai) pontsorozattal dolgozunk. Az egyenes egyes pontjainak A-tól mért távolságát  $L$ -lel, az összetartozó pontokból (pl. BB') képzett szakaszok hosszát  $D$ -vel jelölve egy adattáblát készíthetünk. Mérjük meg az  $L$  és  $D$  szakaszok hosszát, és határozzuk meg a  $D/L$  hányadost, amit közelítőleg mint relatív eltérés értelmezhetünk. Megállapítható, hogy a  $D/L$  hányados függ  $L$ -től, mégpedig nagyobb  $L$  távolsághoz nagyobb  $D/L$  relatív eltérés tartozik (a későbbiek során bebizonyítjuk az egyenes arányosságot). Ha a görbét az előzőtől különböző vonalhúzási sebességgel ( $v$ ), illetve forgatási szögsebességgel ( $\omega$ ) állítjuk elő, az új trajektória nem lesz fedésben az első rajzunkkal. Kisebb  $v$ , illetve nagyobb  $\omega$  egyaránt nagyobb relatív eltérést eredményez. A mért adatok kvalitatív elemzésével eljuthatunk a

$$\frac{D}{L} \sim \frac{L\omega}{v} \quad (3.1)$$

összefüggésig, hiszen fentiek alapján  $L$  és  $\omega$  a számlálóban,  $v$  pedig a nevezőben kell hogy szerepeljen. A dimenziók vizsgálatával pedig könnyen látható, hogy akkor kapunk a jobb oldalon is dimenziótlan hányadost, ha  $L$  mellett  $\omega$  és  $v$  is első hatványon szerepel.

A  $D/L$  hányados demonstrálja a Coriolis-hatás mértékét. Ha ez a hányados nagy, akkor az adott jelenségben a forgás trajektóriát befolyásoló hatása jelentős. (A hányados reciprokát Rossby-számnak nevezzük [JÁN, 2012].)

A ceruza hegyének mozgása inerciarendszerben egy egyenes vonalú egyenletes mozgás:

$$x = 0 \quad (3.2 \text{ a}) \quad y = v \cdot t = L \quad (3.2 \text{ b})$$

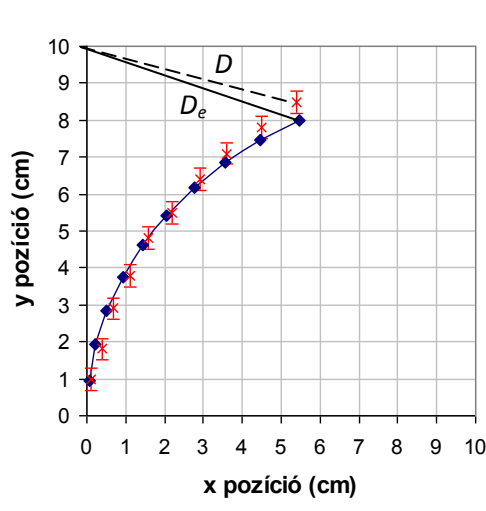
A ceruza hegye alatt azonban elforgatjuk a papírlapot, ezért a mozgó papíron kirajzolódó pálya egy forgó vonatkoztatási rendszerben érvényes pályát jelöl. Az origóból indulva az inerciarendszerbeli mozgás és a papír szögsebességének mínusz egyszerezésével mozgó egyenletes körmozgás összege adja a görbült pályát, amit a diákok a mozgó papíron saját maguk kirajzolnak. Ez jó demonstrációja a forgó Földön eltérülő trajektóriáknak, azaz a Coriolis-hatásnak.



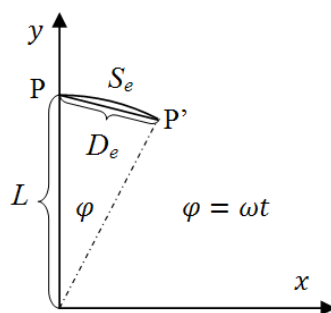
A forgó rendszerben a (origóból induló) ceruza mozgása így írható le:

$$x' = v \cdot t \cdot \sin \omega t \quad (3.3 \text{ a}) \quad y' = v \cdot t \cdot \cos \omega t \quad (3.3 \text{ b})$$

Ezen egyenletekből adódó mozgás trajektóriáját ábrázoltuk a 3.2. ábrán. A kísérletben kapott adatokat is berajzoltuk ugyanerre az ábrára vékony keresztekkel, 3 mm mérési pontosságot feltüntetve. A sebesség és a szögsebesség paramétereit próbálgatással úgy határoztuk meg, hogy a mérési eredményekhez legjobban illeszkedjenek, és 2,9 m/s valamint 0,18 1/s-nak adódtak. A két ponthalmaz kielégítően fedi egymást. A kísérletben meghatározott  $D$  távolságok csak kicsit térnek el a (3.3) egyenletekből kapott elméleti pontok alapján számolt  $D_e$  távolságoktól.



**3.2. ábra** Az elméleti, illetve a szemléltető kísérletben kapott trajektóriák összevetése.



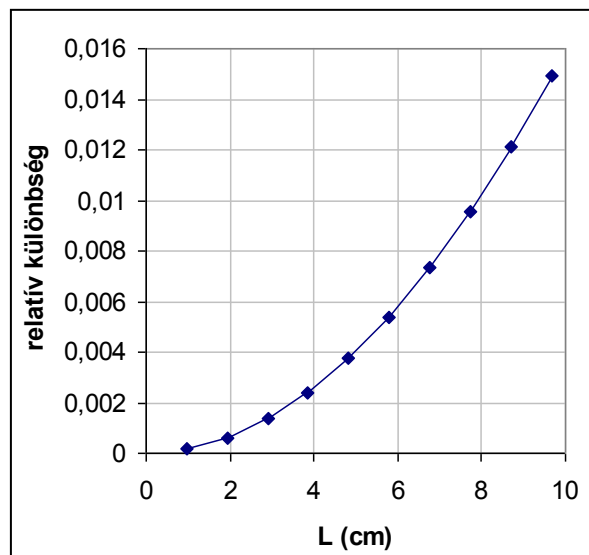
**3.3. ábra** A forgás miatti eltérés meghatározása

A 3.3. ábrán szemléltetjük a  $t$  idő alatt  $L$  radiális elmozduláshoz tartozó  $\varphi$  szögelfordulást. A  $PP'$  ívhossz itt könnyen meghatározható az egyenletes forgás alapján:  $S_e = L \cdot \varphi = L \cdot \omega \cdot t$ . Az origótól való távolodás is egyenletes:  $L = v \cdot t$ . A két egyenletet elosztva egymással kapjuk az (3.1) egyenlet jobb oldalán is szereplő tagot:

$$\frac{S_e}{L} = \frac{L\omega}{v} \quad (3.4)$$

Az (3.1)-ben szereplő könnyen mérhető  $D/L$  érték helyett itt az  $S/L$  szerepel. A kettő közötti különbség (a vizsgált kis elfordulás-tartományban) elhanyagolható. Módszertani szempontból meg kell jegyeznem, hogy a tanítási gyakorlatban is gyakran alkalmazunk elhanyagolásokat számítási feladatokban, de ritkán járunk utána, hogy az adott esetben befolyásolja-e a következtetést a közelítő számítás. Nézzük meg, hogy a kísérlethez kapcsolódó elméleti számítás milyen eredményt ad e tekintetben (3.4. ábra), ti. hogy a forgó rendszerben kapott görbéhez tartozó  $S_e/L$  hányados (ahol  $S_e$  az elméleti számítással kapott ívhossz) mennyire tér el az általunk használni kívánt  $D_e/L$  hányadostól (ahol  $D_e$  a 3.3. ábráról könnyedén leolvasható, az (3.5) egyenlet alapján számított forgásból származó elmozdulás).

$$D_e = \sqrt{x^2 + (y - y_0)^2} \quad (3.5)$$



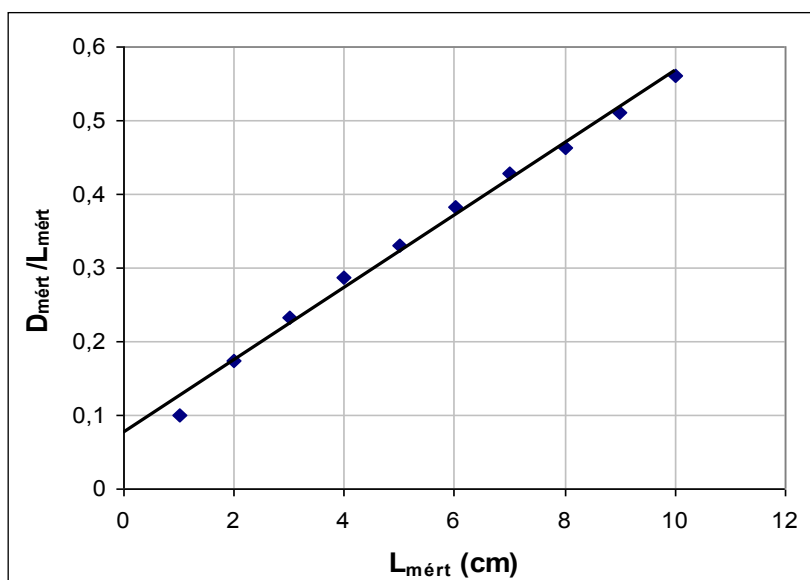
**3.4 ábra** Az  $|S_e - D_e|/D_e$  relatív különbség  $L$ -függése

Az 3.4 ábrán látható, hogy a demonstrációs kísérletben az  $S_e(L)$  és a  $D_e(L)$  függvények között 2%-nál kisebb a különbség (ez nagy elfordulások vizsgálata során természetesen megnő). Így az (3.1) egyenletben megfogalmazott egyenes arányosság bizonyításának teljes gondolatmenete az alábbiakban foglalható össze.

$$\frac{D}{L} \cong \frac{D_e}{L} \cong \frac{S_e}{L} = \frac{L\omega}{v} \quad (3.6)$$

Látható, hogy így már nem pusztán egyenes arányosságról van szó, hanem egyenlőségről, amiből egyébként a Coriolis-gyorsulás képletében szereplő 2-es faktor is – itt nem részletezett módon - kijön. A  $D/L$  hányados  $L$ -l való egyenes arányosságát a mért adatok is mutatják. A

kísérleti adatainkból (3.1. ábra) a 6. ábrán látható egyenest kapjuk, melynek meredeksége természetesen  $v$ -tól és  $\omega$ -tól függ. Az egyenes a vonalhúzás indítása és a forgatás indítása között eltelt idő miatt nem az origóból indul. A fenti, két egyenletes mozgás összetevésén alapuló modell ezért jól írja le a kísérletet. Bár a kísérleti pontatlanságok nem küszöbölhetőek ki teljesen (pl. a távolságmérések), a vonalhúzás és a forgatás sebessége is a tapasztalat alapján állandónak tekinthetőek, ezáltal a demonstrációs kísérlet jól használható.



**3.5. ábra** A  $D/L$  relatív eltérés  $L$  radiális elmozdulástól való függése a kísérletben

#### 3.1.4 Módszertani mérés

Alapfeltevésem az volt, hogy a Coriolis-erő bevezetése [BUD, 1978] nélkül is megvilágítható a jelenségkör lényege. Módszeremet eddig hat 9. évfolyamos csoportban próbáltam ki. Három csoportban saját diákjaim tanulnak, a többi hármat két másik tatai iskolából választottam ki, akikkel ezen az órán találkoztam először. Ahhoz, hogy a módszertani hatást mérni tudjam, készítettem egy négy kérdésből álló tesztet, amelyet az óra elején, majd az óra végén is kivetítettem a diákoknak. A tanulók füzetükbe rögzítették az általuk helyesnek gondolt választ, amit az óra utolsó két percében összesítettem. A mérést a tanév végén végeztem, amikor a résztvevők már foglalkoztak földrajz órán a ciklonokkal, és fizikából pedig terítékre került a teljes mechanika.

#### *Kísérletezési tapasztalatok*

A papírlapos kísérletet a tanulók párban, esetleg hármassal egyszerűen el tudták végezni. A pályák megrajzolása után a diákok máris láthattak egy alapvető tapasztalatot, ti. hogy a mozgás leírása több nézőpontból is elvégezhető, és nem vezet azonos eredményre. A kapott görbe arra is utal, hogy a forgó rendszerből szemlélve a mozgást van gyorsulás. A párok,

csoportok rajzait összehasonlítva azt is – szinte trivialitásként kezelve - megállapították a diákok, hogy a kapott trajektóriák nem feltétlenül egyformák: az egyenestől való eltérés mértéke függ a vonalhúzás sebességétől ( $v$ ) és a forgatás szögsebességétől ( $\omega$ ). Mért adataikból minden tanuló láthatta, hogy a relatív eltérés ( $D/L$ ) nő a távolsággal ( $L$ ). Motivált csoportban - akár házi feladatként is - az egyenes arányosság is megállapítható.

### Coriolis-hatás becslése hétköznapi jelenségekben

Az órán nagyságrendi becslést adtunk közösen az  $\frac{L\omega}{v}$  hányadosra néhány – a megértés szempontjából fontos - mozgás esetén (3.1. táblázat), ahol  $L$  a mozgásra jellemző távolság,  $v$  a mozgó objektum sebessége,  $\omega$  pedig a Föld forgási szögsebessége. Az alapvető célunk az volt, hogy a diákok a demonstrációs kísérlet során a relatív eltérésre kapott összefüggés segítségével megállapíthassák, hogy mindennapi életben előforduló a Coriolis-hatás mennyire jelentős.

jelenség	L (m)	$\omega_{45^\circ}$ (1/s)	v (m/s)	Coriolis-hatás fontossága $\left(\frac{L\omega}{v}\right)$	relatív fontos	abszolút értékben érzékelhető
kádlefolyóban a víz	$10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	nem	nem
Foucault-inga (Párizs)	10	$5 \cdot 10^{-5}$	1,25	$4 \cdot 10^{-4}$	nem	nem (fél periódus alatt!)
Pars Krisztián kalapácsvető dobása	$10^2$	$5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^1$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	nem	igen
Falkland	$10^4$	$5 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	nem	igen
ciklon	$10^6$	$5 \cdot 10^{-5}$	10	5	igen	igen

### 3.1. táblázat A Coriolis-hatás jelentőségének meghatározása néhány mozgás esetén

Az 3.1. táblázatban öt – közelítőleg vízszintes síkban történő - jelenséget vizsgálunk meg, ami a mozgás karakterisztikus hosszának 7 nagyságrendjét fogja át. Mindben kb. a 45. szélességi foknál tekintjük a mozgást és a Föld forgása az eltérés okozója. Ezért  $\omega_{Föld} \cdot \sin\varphi = \omega_{függőleges} = 5 \cdot 10^{-5}$  1/s szögsebességet használtunk, ami a Föld szögsebességének az adott helyen a Föld érintősíkjára merőleges komponense. (A Falkland-szigetek – ahol az I. világháború és egyben a történelem utolsó tengeri ütközete zajlott, mely tisztán hadihajók közti tüzérségi párbajból állt - a Déli szélesség 52. fokánál található, de ez a nagyságrendi becslést nem befolyásolja.) A kád és a mosdó lefolyójában haladó víz sebessége egyre nagyobb, az utolsó 10 cm-t kb. 2-3 s alatt teszi meg egy úszó szappanbuborék. Ezzel alulról becsültük a haladási sebességet. A

párizsi Pantheonban felállított történelmi Foucault-inga hossza ( $l$ ) 67 m, periódusideje kb. 16 s volt.  $5^\circ$ -os kitéréssel számolva a kétszeres amplitúdó ( $L$ ) 10 m nagyságrendűnek adódik ( ), az ingatest átlagsebessége egy fél periódusból számolva 1,25 m/s ( — . A táblázatban felsorolt 3-4. jelenség jellemző sebességét a ferde hajítás maximális távolságának formulájából számoltuk a dobás és a lövés távolságából kiindulva ( — . Mindkét esetben a Coriolis-eltérülés nagysága az elvben mérhető tartományba esik. A ciklonok átmérőjét a meteorológiai adatok alapján 1000 km-nek, a benne áramló levegő sebességét egy erős szél sebességével becsültük (ebben az esetben az elméleti leírásunk eredményeként adódó (1) arányosság már semmiképpen sem igaz).

A hatásvizsgálathoz készített teszt kérdéseit és a lehetséges válaszokat az 3.2. táblázat tartalmazza, melyben föltüntettem azt is, hogy a válaszadók (összesen 136 fő) hány százaléka jelölte az adott választ az óra elején, illetve az óra végén. Ha a változás az eredeti érték 20%-nál nagyobb mértékben nőtt, vagy csökkent, azt szignifikáns változásként értékeltem, és  $\uparrow$ , illetve  $\downarrow$  nyíllal jelöltem.

<b>1. Hogyan folyik le a kádban a víz? Melyik a helyes válasz?</b>											
A) A Föld forgása miatt az óramutatóval megegyező irányba forogva.			B) A Föld forgása miatt az óramutatóval ellenkező irányba forogva.			C) Attól függ, melyik féltekén vagyunk az A vagy B válasz igaz.			D) A Föld forgása <u>nem meghatározó tényező.</u>		
9,56	$\downarrow$	4,41	5,88	$\downarrow$	3,68	70,59	$\downarrow$	53,68	13,97	$\uparrow$	38,24
<b>2. Lehetséges-e, hogy a Föld forgása miatt egy úgygolyó ne találjon célba? Melyik a helyes válasz?</b>											
A) <u>Igen, az északi féltekén a céltól jobbra ér talajt a lövedék.</u>			B) Igen, a déli féltekén a céltól jobbra ér talajt a lövedék.			C) Nem, mert a lövedék túl gyorsan mozog.			D) Nem, a Föld forgása egyáltalán nem befolyásolja a lövedék pályáját.		
5,88	$\uparrow$	26,47	6,62	$\uparrow$	11,76	44,12	$\downarrow$	35,29	43,38	$\downarrow$	26,47
<b>3. Lehetséges-e, hogy a Föld forgása a kalapácsvetés dobótávolságát befolyásolja? Melyik a helyes válasz?</b>											
A) Igen, ezt figyelembe is veszik.			B) <u>Igen, de nem veszik figyelembe.</u>			C) Nem, a kb. 80 méteres dobásnál kimutathatatlan a hatás.			D) Nem, a sportszer túl gyorsan mozog.		
7,35	$\downarrow$	5,88	26,47	$\uparrow$	42,65	50,74	$\downarrow$	38,24	15,44	$\approx$	13,24
<b>4. Hogyan folytatódik az állítás? Melyik a helyes? A ciklonokban a levegő...</b>											
A) <u>az északi féltekén az óramutatóval ellentétes irányba forog.</u>			B) akkor is forogna, ha a Föld nem végezne forgómozgást.			C) gyorsabban forogna, ha a ciklon kisebb átmérőjű lenne.			D) a kisebb nyomású hely felől a nagyobb nyomású felé áramlik.		

25,00	↑	38,24	11,76	↓	8,09	11,76	↑	28,68	51,47	↓	25,00
-------	---	-------	-------	---	------	-------	---	-------	-------	---	-------

### 3.2. táblázat A Coriolis-teszt eredményei hat gimnáziumi osztály összesítésében

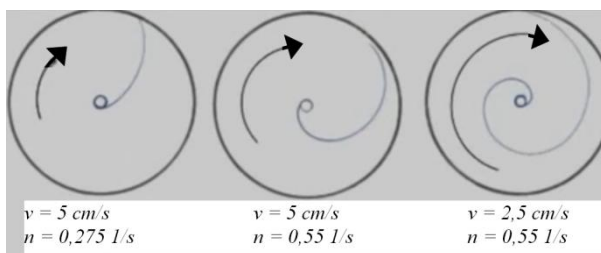
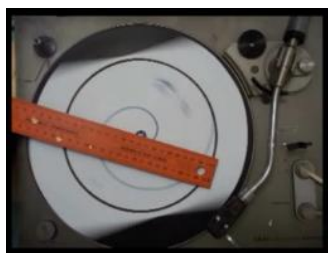
A táblázatból egyértelműen látható, hogy a diákok a lefolyóval kapcsolatban tévhitel rendelkeztek (1. C válasz az óra elején 71%), illetve hogy a levegő áramlásával kapcsolatban hiányosak az alapvető fizikai ismereteik (4. D válasz az óra elején 51%). Noha az óra végén sem minden esetben a helyes választ jelölték meg a legtöbben, de mind a négy kérdés esetében korábbi tanult tudásukat mérhetően pontosították a diákok. A módszer hatékonyságát az igaz válaszok százalékának változása jól mutatja, ezek rendre +24%, +21%, +16%, +13% (100% = 139 fő).

Az óra elején minden kérdésnél egy hamis választ láttak jónak a diákok (ami tovább növeli a téma tanításának fontosságát). Az óra végén azonban mind a négy esetben csökkent ez az arány: -18%, -16%, -12%, -26%. A 3., illetve 4. kérdésnél ezzel az igaz válasz lett a leggyakoribb. A 2. kérdés esetén az alapjelenség megértését az A és a B válasz megjelölése adja vissza (a kettő közötti különbség az irányszabály, amire nem fektettem hangsúly). Az ezekre összesen adott válaszok aránya 12%-ról 38%-ra nőtt, miközben az egyértelműen hibás D válasz a kezdeti 43%-ról, 26%-ra esett. Sajnos az 1. kérdésnél a leggyakoribb válasz a tévhit maradt.

A 4. kérdés C válaszát talán azért jelölték meg az óra végén többen, mert nem elég egyértelmű a kérdés, de ráéreztek a válaszadók, hogy az eltérülés mértéke és a méretparaméter ( $L$ ) között van összefüggés.

#### *Kiegészítés*

A papírlapos kísérlet szakkörön pontosítható lemezjátszó segítségével. Egy diákom elvégezte ezt a demonstrációs kísérletet is, melyet a következőképpen foglalhatunk össze. Vegyünk egy lemezjátszóra szabott körlapot (3.2. kép), melyre sugárirányban egy vonalzó mentén húzzunk egyenest, lehetőleg állandó sebességgel (a vonalzó ennek megvalósításában valamelyest segít). Ismételjük meg a műveletet a lemezjátszó korongjának két különböző fordulatszámú beállításánál. Hasonlítsuk össze a kapott ábrákat! Látható (3.6. ábra), hogy forgatott rendszerben görbéket kapunk, illetve hogy kisebb fordulatszám esetén (a 3.6. ábra első esetében fele a középső rajzon látható esetnek) az eltérülés mértéke kisebb. Ebben az egyszerű rendszerben is változtatható két további paraméter: a papírkorong sugara ( $L = 10$  cm, mi ezt nem változtattuk) és a vonalhúzás sebessége ( $v$ ). Ha a vonalat lassabban (a 3.6. ábra harmadik esetben az első kettőhöz képest fele akkora sebességgel) húzzuk, a forgatás hatása jobban érvényesül.



**3.2. kép A Coriolis-hatás demonstrálása lemezjátszó korongján**

**3.6. ábra A vonalhúzás sebessége és a fordulatszám hatása a körlapos kísérletben**

Elsősorban arra mutattam rá, hogy a Coriolis-hatás az erő fogalma nélkül is bevezethető a középiskolában egyszerű, szemléletes és interaktív módon. Így a tehetetlenségi erők megértésének nehézségeit [HRA, 2013] megkerülve adhatunk mélyebb magyarázatot a légköri és óceáni áramlásokkal kapcsolatos néhány jelenségre.

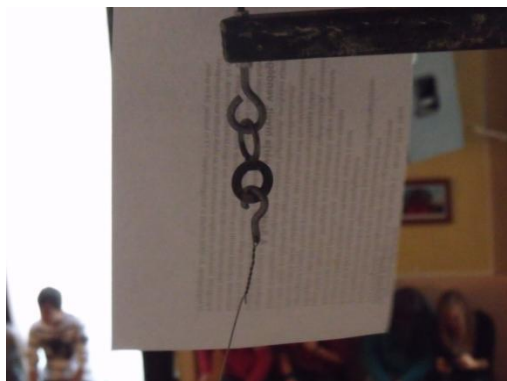
Ez az egyszerű fizikai kísérlet, kiegészítve más laboratóriumi kísérletekkel [SZE, 2011], és terepi megfigyelésekkel jó példa arra, hogyan illeszthető a természetföldrajz tanítása a természettudományok közvetlen tapasztalatokon alapuló megismerési metodikájához.

### ***3.2 A tehetetlenségi körmozgás, a Foucault-inga kísérleti modellje és numerikus szimulációja***

Természetesen a (pl. a Csodák Palotájából is) ismert egyszerű kísérlet is kivitelezhető: gurítsunk el a forgatott rendszerben egy golyót, és figyeljük a pályáját, melynek megjelenítésére a golyót festékbe mártathjuk. Mi a forgókádas kísérletekhez (lásd később) beszerzett korongozó asztalon végeztünk vizsgálatokat, melyeket a forgóasztalhoz rögzített kamerával felvettünk. Ennek előnye, hogy a kiértékelésnél megfigyelhetjük a fordulatszám és a platform széléről elindított golyó sebességének a golyó eltérülésére gyakorolt hatását. Így a többször ismételt próbák során akadt néha olyan eset is, amikor a golyó pályája önmagába záródó kör volt (lásd később). A kísérletek jól szemléltetik, hogy bár új kölcsönhatás nem lépett fel, a két megfigyelő (a teremben álló, illetve az asztallal együtt forgó) másképpen látta a mozgást, ami ezek szerint a vonatkoztatási rendszer megválasztásán múlik. A forgatott rendszerben jelentkezik egy gyorsulás, ami a már tárgyalt Coriolis-hatás következménye (ebben a vonatkoztatási rendszerben a centrifugális hatás is megjelenik, az egyes esetektől függő súllyal).

A Föld is egy ilyen forgó rendszer, forgásának meggyőző kísérleti bizonyítékát, és egyben a Coriolis-hatást Leon Foucault mutatta meg először. A párizsi 67 m hosszú, 16 s lengésidejű ingának mindössze két társát konstruálták meg még a XIX. században. Egyikük Kunc Adolf volt, aki 1880-ban Szombathelyen mutatta be 30 m hosszú, 11 s periódusidejű ingáját [JAN,

2011]. A kivitelezés igen gondos előkészítést igényel, de kisebb ingák az iskolában is készíthetők demonstrációs céllal. Az ingához ingatestként egy súlygolyó is alkalmas, melybe menetet vágva a huzal rögzíthető. Felfüggesztésként leggyakrabban a Cardano-féle [GYA, 2006] felfüggesztést alkalmazzák. Mi is így jártunk el, amikor dísztermünkben alkalmmilag beállítottuk kb. 4 m hosszú ingánkat (3.3., 3.4. kép).



**3.3. kép A Cardano-féle felfüggesztés egyszerű változata**

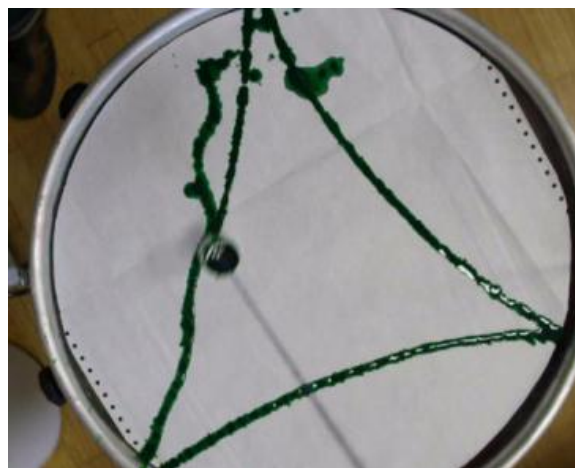


**3.4. kép Foucault-inga működés közben**

### *3.2.1 Foucault-inga modellel végzett kísérletek és értelmezésük*

A mélyebb megértéshez egy változtatható fordulatszámú forgóasztal és egy arra szerelt rövidebb inga komoly segítséget nyújthat. Kísérletsorozatunkban ingatestként egy felül nyitott, alul kis furattal ellátott műanyaghengert (pezsgőtablettás doboz) használtunk, melyből festék csorgott. Kétféle ábrát kaphatunk [JUH, 2001] aszerint, hogy az ingát az asztal közepéről óvatosan kitérítjük (3.5. kép), vagy a szélsőhelyzetből indítjuk el (3.6. kép). Esetünkben a forgatás periódusidejét úgy állítottuk be, hogy az az inga – forgatástól független - periódusidejének harmada legyen. Így az inga síkja sokkal gyorsabban körbefordul, mint az eredeti Foucault-féle kísérletben (ott kb. 1,4 nap). A választott speciális esetben azonos szimmetriatulajdonságokkal rendelkező ábrákat kapunk.



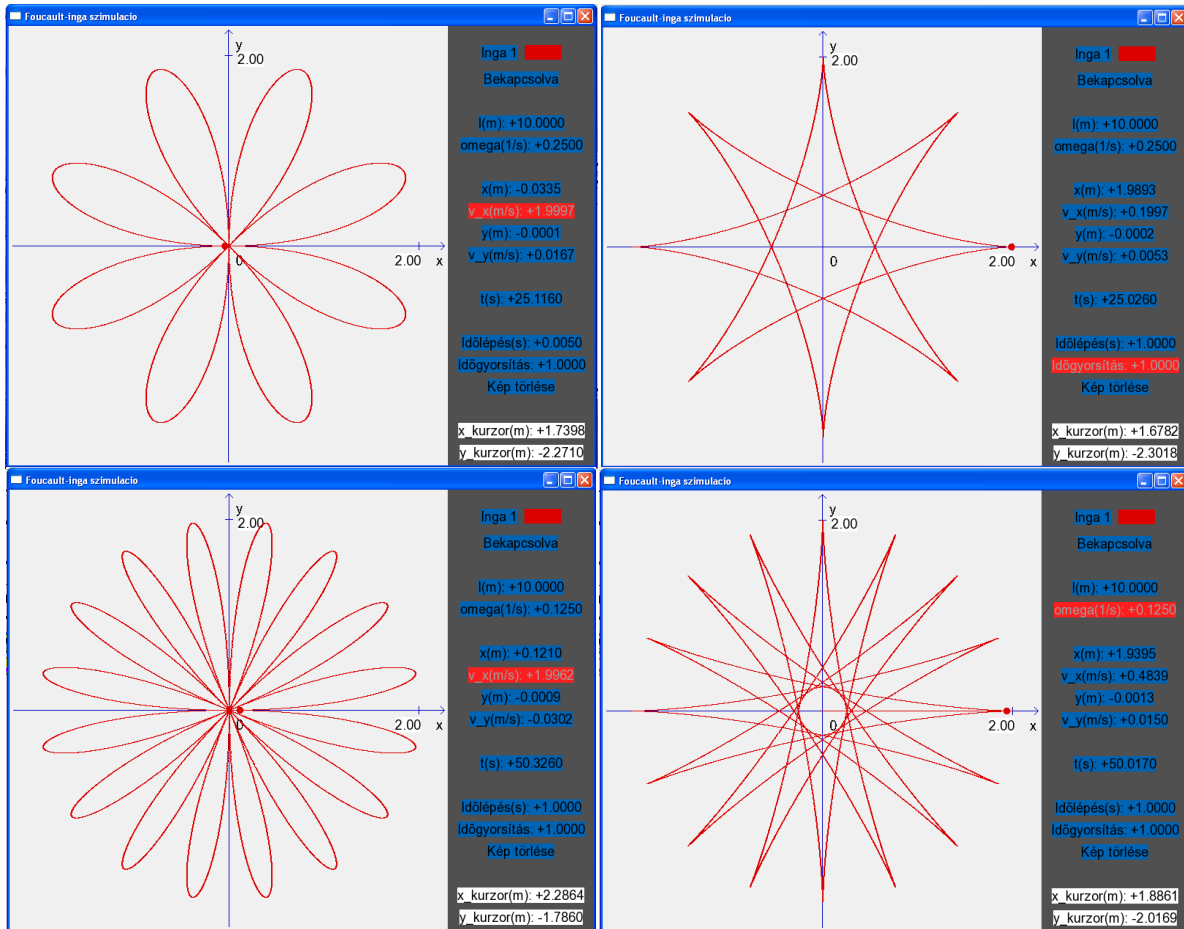


**3.5. kép Középpontból és 3.6. kép szélső helyzetből indított Foucault-inga modell trajektóriája.**

A demonstrációs kísérletek mellett (ahol a periódusidők beállítása elég nehézkes) egy erre a projektre írt szimulációs program segítségével további vizsgálatok végezhetők el (lásd alább): a paraméterek (inga hossza, forgatás periódusideje, kezdőfeltételek) irányított változtatásával (3.7. ábra) – akár a tanórán – gondolatmenetünket az áramlások hasonlóságának tétele, illetve az ún. Rossby-szám felé terelhetjük. A szimuláció alkalmas arra is, hogy rekonstruáljuk Foucault 1851-es ingájának mozgását, vagy akár diákjainkkal megtervezzük egy ingakísérlet összeállítását. Segítségével kiszámíthatjuk ugyanis, hogy egy pl. 4 m hosszúságú inga esetén - ha egy tanórán 15 perc alatt - szeretnénk már szemléltetni a Coriolis-hatást, akkor adott szögből való indítás során milyen messze tegyünk a padlóra dominókat, hogy legalább egy eldőljön a kívánt idő alatt.

A kísérletben tapasztaltak és a szimuláció által megrajzolt trajektóriák alapján megállapíthatjuk, hogy azok alakját a két karakterisztikus idő aránya, ti. a forgatás ( $T$ ) és az inga ( $\tau$ ) periódusidejének hányadosa szabja meg (3.7. a,b,c,d ábra). Ezt a dimenziótlanszámot nevezzük Rossby-számnak ( $Ro$ ), amely egyben az inga maximális gyorsulásának ( $a$ ) és a Coriolis-gyorsulásnak ( $A$ ) a hányadosával is megegyezik.

— — —



**3.7. a,b,c,d ábra. Középpontból (a,c), illetve szélső helyzetből (b,d) indított ingák szimulált trajektóriái  $Ro = 1/4$ , illetve  $Ro = 1/8$  esetén.**

A  $Ro$  reciprokanak is tulajdoníthatunk kézzelfogható jelentést:  $1/Ro$  - az előzőek alapján – a Coriolis-hatás súlyát adja, ami nem más, mint a relatív eltérés. Ehhez gondoljuk végig a következőt:  $\Omega$  szögsebességgel forgatott rendszerben egy  $v$  sebességgel egyenletes mozgást végző golyó  $L$  hosszúságú - forgatás nélküli - elmozdulása során arra merőlegesen  $\lambda$  eltérést szenved. Kis  $\lambda$  esetén az eltérés irányában állandó gyorsulással közelítve, valamint felhasználva a Coriolis-gyorsulás szokásos levezetéséből meghatározható értékét ( $a_C=2\Omega v$ ), az eltérésre  $\lambda=av^2/2=\Omega vt^2$  adódik [TÉL, 2003]. Ebből  $t$  helyére az  $L/v$  kifejezést behelyettesítve a relatív eltérés mértéke is meghatározható:  $\lambda/L=\Omega L/v$  (az összefüggésben szereplő  $L/v$  a mozgásra jellemző frekvenciának  $1/\omega$  a reciproka). Tehát  $\lambda/L=1/Ro$ . Így könnyen belátható az is, hogy két különböző hosszúságú Foucault-inga által bejárt trajektória akkor mutat geometriai hasonlóságot, ha a hozzájuk rendelt  $Ro$  egyforma.

Előző állításom mögött természetesen a Foucault-inga mozgásegyenleteinek [FOU] megfelelő analízise rejlik. Ez persze messze túlmutat a középiskolás fizika tanulmányokon, de a

teljesség kedvéért megmutatom. A legkiválóbb diákoknak szakkörön érdemes levezetni – hatásos. Tekintsük a Foucault-inga kétdimenziós mozgásegyenleteit az alábbi alakban:

$$\begin{aligned} & \text{---} & & \text{---} \\ & \text{---} & & \text{---} \end{aligned}$$

ahol  $x$  és  $y$  a két koordináta, időbeli első deriváltjaik a sebesség, második deriváltjuk a gyorsulás két komponense,  $g$  a nehézségi gyorsulás,  $l$  az inga hossza,  $\Omega$  a forgó rendszer szögsebessége, valamint  $\omega^2 = g/l$  (az inga frekvenciájának négyzete). A jobb oldalon álló első tag a nehézségi erő hatását, a második tag a forgó rendszerben mozgó test Coriolis-gyorsulását (lásd bevezető kísérletek), a harmadik pedig a centrifugális gyorsulást adja. Az egyenletekben szereplő egyes tagoknak a gyorsuláshoz való járuléka, illetve egymáshoz képesti „súly” nehezen olvasható ki a két egyenlet (3.8) és (3.9) alakjából. Ha megkonstruáljuk az egyenletek dimenziótlan alakját, a Coriolis-hatás jelentősége jól láthatóvá válik, és egyben két áramlás hasonlóságának kritériumát is kiolvashatjuk a kapott kifejezésből. Az egyszerűség kedvéért csak a (3.8) egyenletet alakítjuk át.

Mérjük a távolságot  $l$ , az időt pedig  $l/\omega$  egységekben. A (3.8) egyenletben szereplő hely- és időváltozókat írjuk át a választott karakterisztikus mennyiség és egy (az egyenletben vesszős) dimenziótlan mennyiség szorzataként.

$$t = t'/\omega \quad (3.9)$$

Ezzel az eljárással (3.8) a következőképpen alakítható át:

$$\begin{aligned} \frac{l}{\omega^2} \frac{d^2 x'}{dt'^2} &= -\omega^2 l x' + 2\Omega \frac{l}{\omega} \frac{dy'}{dt'} + \Omega^2 l x' \\ \frac{d^2 x'}{dt'^2} &= -x' + \frac{2\Omega}{\omega} \frac{dy'}{dt'} + \frac{\Omega^2}{\omega^2} x' \end{aligned} \quad (3.10)$$

A kapott egyenlet vesszős mennyiségei tehát dimenziótlan mennyiségek, az előttük szereplő szintén dimenziótlan kifejezések pedig szemléletesen mutatják az egyes tagok ingamozgást befolyásoló hatásának „súlyát”. Kiolvasható például, hogy létezik egy speciális eset, amikor  $\omega^2$  értéke megegyezik  $\Omega^2$ -tel (vagyis az inga periódusideje egyenlő a forgó asztal periódusidejével, tehát  $R\omega = 1$ ). Ekkor az egyenlet első és utolsó tagja kiesik: gyakorlatilag csak egy sebességet eltérítő hatás marad, a trajektória kör lesz, mint ahogy a megfelelően

beállított paraméterek ezt vissza is adják a szimulációban. Ezt az esetet nevezzük tehetetlenségi körmozgásnak (amit a forgó asztalon elgurított golyónál is tapasztaltunk).

Ami még fontosabb a számunkra, hogy a középső tag  $\Omega/\omega$  dimenziótlan szorzótényezője éppen  $1/Ro$ . A Coriolis-hatás tehát akkor jelentős, ha (3.10) jobb oldalán szereplő második tag szorzótényezője nagy, vagyis  $Ro$  kicsi. (Megjegyezzük, hogy az áramlásokat leíró Navier-Stokes mozgásegyenlet dimenziótlanításával hasonló eredményre juthatunk. A Rossby-szám eredeti bevezetése onnan származik.)

### 3.2.2 Foucault-inga modellje a tanítási gyakorlatban

A Foucault-inga nem tananyag a középiskolában, legfeljebb érdekesességgéppel említik a tankönyvírók is, általában a dinamika (9. osztály) vagy a periodikus mozgásokkal foglalkozó (11. osztály) fejezetben. Miután pusztán a vonatkoztatási rendszer megválasztásától függ a Foucault-inga pályája, ezért a kinematika témakörben már tárgyalható lenne elemi szinten.

A következőkben egy általam kipróbált tananyagot mutatok be, amely a dolgozat logikája szerint a tehetséggondozással foglalkozó fejezetben kellene hogy helyet kapjon, az előzőekkel való szoros kapcsolat miatt azonban ebben a fejezetben szerepeltetem.

Úgy gondolom, hogy érdemes a Foucault-inga problémájával foglalkozni, hiszen elvethetjük a magvait a később tárgyalt témáknak (Coriolis-hatás, környezeti áramlások, földrajz), könnyen készíthetünk ilyen ingát kicsiben, és már élvezhető a fizikai tartalom. A szimulációs programmal való játék egy kicsit más, mint a megszokott, motiváló hatású lehet. Működtethető egy teljesen új fizikai tartalom felfedezési tanulása (lásd a tehetséggondozást tárgyaló fejezetben, IBL), ami a tanulási, megismerési módszer bevezetése szempontjából nagyon fontos.

A feladatlap szakköri anyagnak készült, amit felsőbb éves (tizenhat 11. évfolyamos) diákokkal emelt szintű csoportban próbáltam ki, tehát nem volt alkalmam az elkészült tananyag széles körű tesztelésére. Eredetileg három tanórát szántam a feldolgozásra, végül négy órát foglalkoztak vele a tanulók. A legnagyobb gondot az okozta, hogy a csoport tagjai nem találkoztak még hasonló kutatás alapú, számítógéppel segített tanóraszervezéssel. Érdekes tapasztalat volt, hogy a csoport azon része, akik nem járnak plusz szakkörre (nevezzük őket kevésbé motiváltaknak), azok is mind eljutottak maguktól a játék végéig (a feladatlap 5.c feladatáig), de a továbbgondolás számukra már nehéznek bizonyult. A szakkörösök (3.7. kép) viszont motiváltak voltak az utolsó kérdések megválaszolásában is, sőt megoldották azokat. Ezért gondolom, hogy alkalmas ez a tananyag szakköri munka során (kellő idő ráfordításával) ennek a témának a feldolgozására. Közben a diákok nem

szokványos módon, hanem a felfedeztetéses tanulás módszerével, egyéni tempóban haladhatnak az ismeretek megszerzésével.

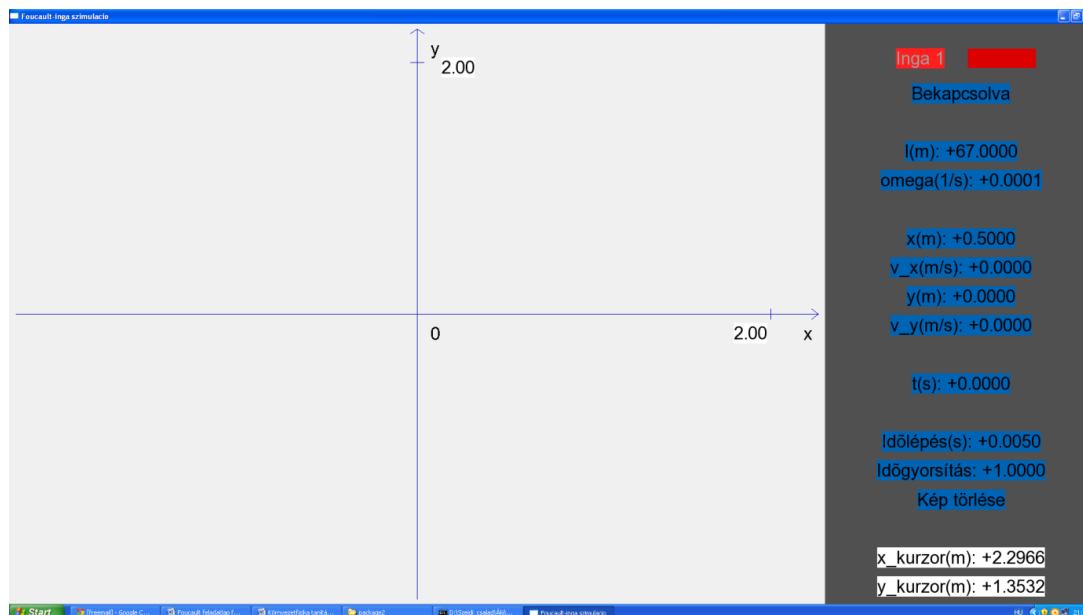
A szimulációs programot egykori diákkal, Beck Róberttel közösen készítettük el. Legfontosabb szempontnak azt tartottam, hogy a helyes fizikai tartalom megjelenítésén túl alkalmas legyen a program a diákok, mint felhasználók gondolatmenetének irányítására. Ehhez kiválasztottam a változtatandó fizikai mennyiségeket (kezdőfeltételek és paraméterek), és grafikailag lehetővé tettük egyszerre négy inga futtatását, trajektóriájának megjelenítését. Ez az összehasonlíthatóság alapja. A program felületén (3.8. kép) a diákok választhatnak a valós időnél gyorsabb szimulációt is, ami akkor érdekes, amikor már kiismerték az inga működésének lényegét, és alapvetően csak a végeredményre kíváncsiak. A program teljes egészében C++ nyelven íródott. A differenciálegyenletek megoldása az explicit negyedrendű Runge-Kutta módszerrel történt. Azért választottuk ezt, mert viszonylag kevés számítás igényel, így kellően gyors a valós idejű számoláshoz, illetve kellően pontos is az adott alkalmazáshoz. A megjelenítés 2D-s, és az SDL nyílt forráskódú multimédiás szoftvercsomag (pl. <https://www.libsdl.org/> és [http://hu.wikipedia.org/wiki/Simple\\_DirectMedia\\_Layer](http://hu.wikipedia.org/wiki/Simple_DirectMedia_Layer)) segítségével készült, kiegészítve néhány saját kódolású segédosztállyal. A megjelenítéssel való összekötésnél az is előny, ha az időléptetés pontjai kellően közel vannak egymáshoz, így nem kell interpolálni az ismert pontok között rajzoláskor; illetve az is előny a kinézet szempontjából, ha egyenletes időnként jelennek meg a pontok.



### 3.7. kép Szimulációs program használata tanórán

Az alábbiakban az egyik páros munkájának alapján mutatom be, hogy jó képességű, motivált középiskolás diákok hogyan oldották meg a feladatot (dőlt betűvel, aláhúzva szedtem a válaszaikat), milyen mélységekig jutottak el, bizonyítva az előzetes várakozásom sikerét. A tanulók előzetes tudása egy néhány héttel korábban, az egyik társuk által megtartott 10 perces kiselőadáson alapult, amely a Foucault-ingáról szólt. Ez a csoport nem vett részt a Coriolis-

hatással foglalkozó körlapos kísérlet tesztelésében. A feladatlap 'Kitekintés' pontjában szóban áttekintettük a diákokkal az ott feltüntetett fizikai tartalmakat.



3.8. kép A Foucault-inga szimulációs program kezelő felülete

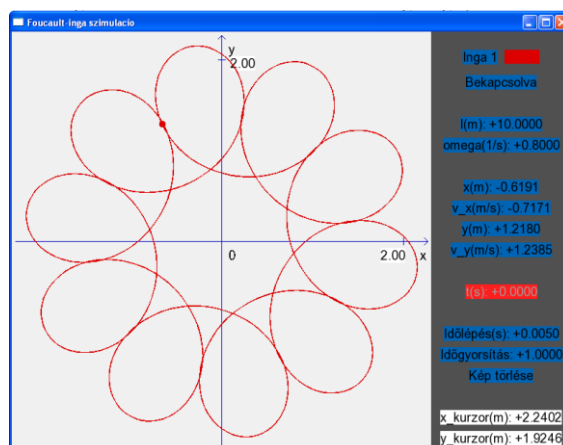
## Foucault-inga mozgásának vizsgálata

### Feladatlap haladóknak

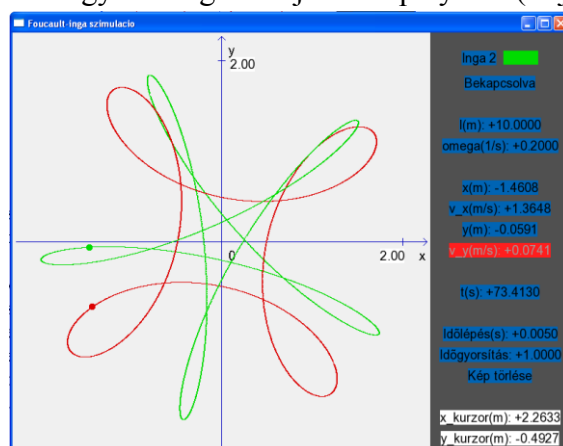
#### 1. Ismétlés: a Foucault-inga

#### 2. Ismerkedés a programmal

- Milyen fizikai mennyiségek adhatóak meg a programban?  
*hosszúság, nehézségi gyorsulás, forgatás szögsebessége, kezdőhely (x,y koordinátája), kezdősebesség ( $v_x, v_y$  komponense)*
- Mi a különbség a paraméterek és a kezdőfeltételek között?  
*a paraméterek a mozgás során nem változnak, a kezdőfeltételek értéke csak a mozgás elején adott*
- Zérus omega esetén állíts be két különböző hosszúságú ingát, indítsd el a szimulációt egymásra merőleges kezdőhelyzetekből, majd hasonlítsd össze az ingák periódusidejét! Milyen ismert összefüggést fogalmazhatunk meg?  
 *$T_1=2T_2$ , ha  $l_1=4l_2$*   
Ellenőrizd a sejtésed alapján!
- Állíts be tetszőleges paramétereket és kezdőfeltételeket, majd indítsd el a szimulációt!

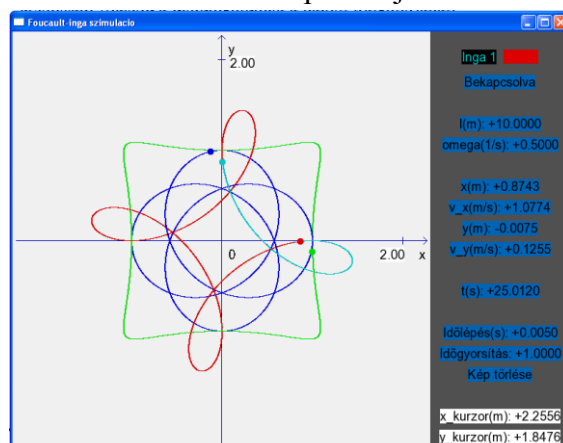


- e. Indíts el egyszerre két ingát úgy, hogy valamelyik bemeneti adatot különböző értékűnek választod! Figyeld meg a kirajzolódó pályákat (trajektória)!



### 3. A kezdőfeltételek variálása

- a. Állítsd be 4 inga esetén a kezdőfeltételeket úgy, hogy két inga az x-tengely két átellenes pontjából, két inga pedig az y-tengely két átellenes pontjából indul és legyen az ingáknak különböző kezdősebessége! A paraméterek legyenek azonosak! Másold a dokumentumba a kapott trajektóriákat!



Milyen paraméterek esetén kaptad ezeket a mintázatokat?

*az inga hossza 10m, a forgatás szögsebessége 0,5 1/s*

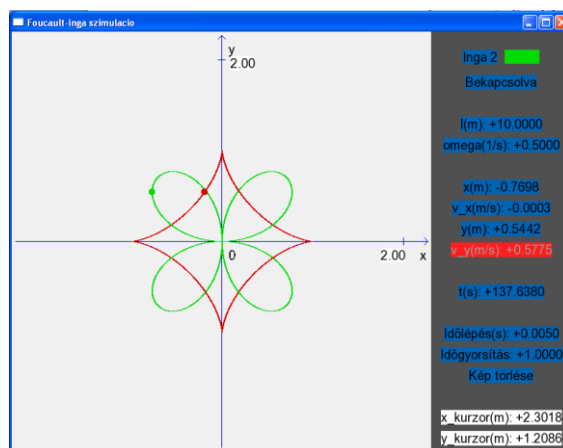
- b. Indíts el két azonos hosszúságú ingát úgy, hogy az egyiket kezdősebesség nélkül az x-tengely egy pontjából, a másikat pedig y irányú kezdősebességgel



az origóból „engeded el”! Az omega is legyen azonos! Mi az alapvető különbség és hasonlóság a két trajektória között?

az egyik csúcspontjai a tengelyeken vannak és az origón nem megy át, a másik kifelé görbülő részeket tartalmaz és átmegy az origón, hasonlóan szimmetrikusak

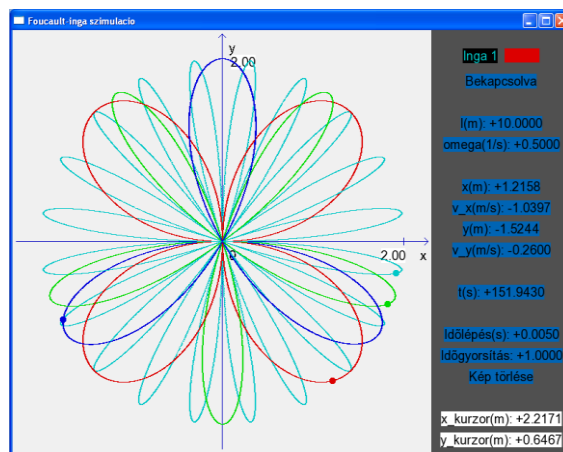
A kapott ábrák:



#### 4. A paraméterek variálása

- Eddig is előfordulhatott a szimulációid során, hogy az inga trajektóriája zárt görbe volt. Vizsgáld meg a paraméterek variálásával, hogy mely esetekben valósul meg ez a speciális eset!

ha az inga periódusideje és a forgatás periódusidejének aránya egész szám, íme négy eset:


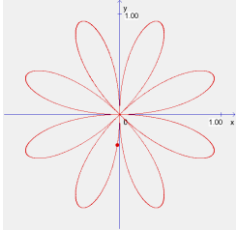
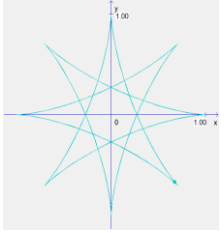
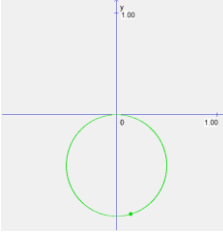
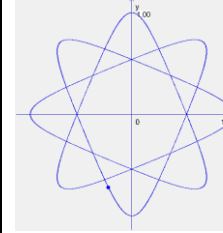


- Jellemezhető-e a kapott görbe valamilyen szimmetria tulajdonsággal? Több esetet vizsgálva fogalmazd meg a szimmetriával kapcsolatos megfigyelésedet!  
ha az arány egész szám, akkor az a szám jelzi a szimmetriát, annyi tükörtengelye van
- Lehet-e két pálya azonos alakú, ha a szögsebesség különböző?  
ha azzal arányosan az inga hosszát is megváltoztatjuk

#### 5. Mintázatok szimmetriatulajdonságainak vizsgálata

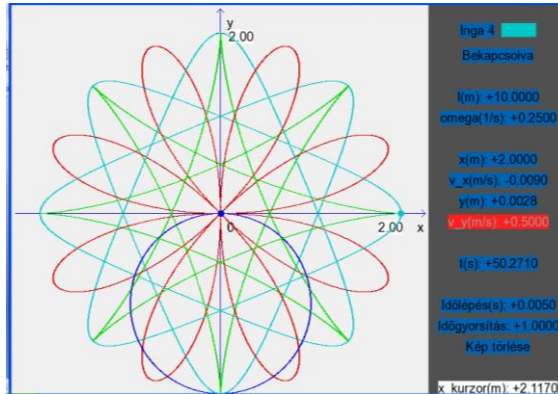
- Valósítsd meg az alábbi mintázatokat!
- Milyen paramétereket, illetve kezdőfeltételeket állítottál be?



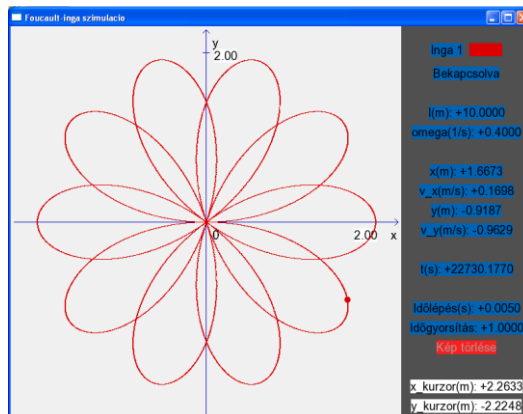
				
<b>l (m)</b>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>
<b><math>\omega</math> (1/s)</b>	<u>0.25</u>	<u>0.25</u>	<u>1</u>	<u>0.25</u>
<b><math>x_0</math> (m)</b>	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>0</u>	<u>2</u>
<b><math>v_{x0}</math> (m/s)</b>	<u>2</u>	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>0</u>
<b><math>y_0</math> (m)</b>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<b><math>v_{y0}</math> (m/s)</b>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0.5</u>
<b>g (m/s<sup>2</sup>)</b>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>

Indítsd el a négy fenti ingát egyszerre! A szimulált négy trajektória ábráját másold be a dokumentumba!

Ábra:



- c. Hozz létre számodra érdekes trajektóriát, amit előre megtervezel! Milyen paramétereket, illetve kezdőfeltételeket állítottál be? Másold ide az ábrát is!



$$l=10\text{m}, \omega=0,4 \text{ 1/s}, x=0, y=0, v_x=2 \text{ m/s}, v_y=0$$

- d. Mennyi idő alatt fordulna körbe a Föld egyik sarkán az inga lengési síkja?  
1 nap (omegának 0,0001 1/s-ot választottunk a programban)
- e. És az Egyenlítőn? nem fordul körbe (0 az omega)
- f. Mi lenne a helyzet, ha az iskolában készítenének egy 4 m hosszúságú ingát?  
 (Használd az időgyorsítás funkciót is!)

a szimulációba nem tudunk megfelelő omegát írni, ha az omega  $\bar{\quad}$ -ed részére csökken, akkor az idő annyi szorosára nő, kb. 1,41 nap

## 6. Általánosítás

- a. Ha egy (dimenziótlan) viszonyzámmal kellene jellemezni az egyes - valamilyen szimmetriával rendelkező - esetekhez tartozó ábrákat, akkor hogyan definiálnád ezt a hányadost? Mely paraméterek lennének a számlálóban és melyek a nevezőben, ha azt szeretnénk, hogy a paraméterek megváltoztatásával ugyanolyan ábrát kapjunk?

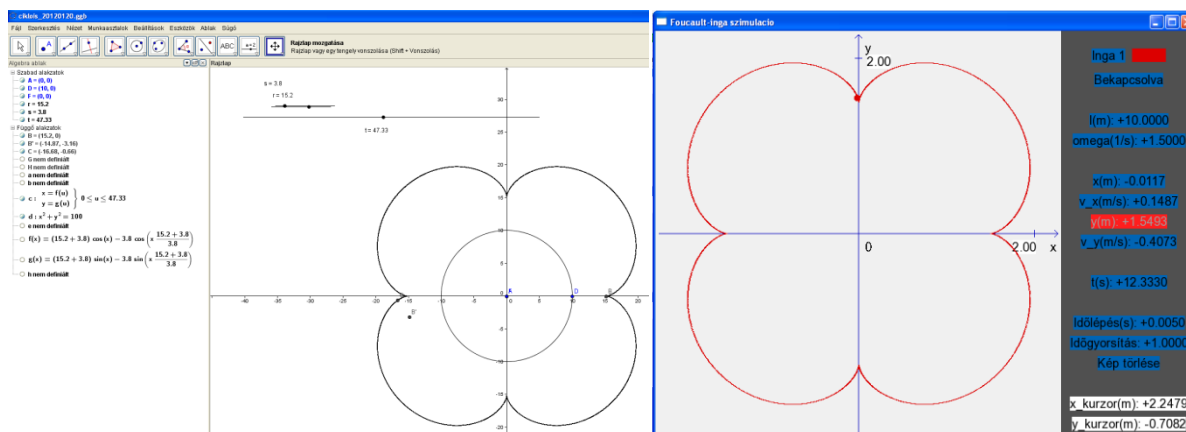
a periódusidők hányadosa:  $\frac{\quad}{\quad}$   $\frac{\quad}{\quad}$

- b. A definiált mennyiség hogyan adhat információt a forgatás hatásáról?  
minél kisebb ez a hányados, annál több szimmetriatengely lesz, ilyenkor kisebb lesz a forgás eltérítő hatása

## 7. Kitekintés

Ahogy a Foucault-inga esetében, úgy minden a forgó Földön mozgó test esetén a földrajzi helytől (forgási szögsebesség felületre merőleges komponense) és a sebességtől függően jelentkezik az eltérítő (Coriolis-) hatás. Annak a mozgásra gyakorolt hatása jól jellemezhető az iménti hányados (illetve annak reciprokával: Rossby-szám,  $Ro$ ) segítségével. Olyankor  $Ro$  ugyanolyan dimenziótlan szám, csak az inga periódusideje helyett  $L/v$  irandó ( $L$  a megtett távolság,  $v$  a test sebessége). Így  $\quad$  —.

A Foucault-szimulációban kapott görbék a geometriában jól ismert [REI, 1999] érdekes alakzatok, az ún. ruletták (azon belül az epicikloisok, illetve hipocikloisok) csoportjába tartoznak, amelyek jól meghatározott egyenletrendszerrel leírhatóak, geometriai rajzolóprogrammal megjeleníthetőek. Érdeklődők számára érdemes kipróbálni az internetről is ingyenesen letölthető Geogebra programot az összevetés igazolására (3.9. kép).



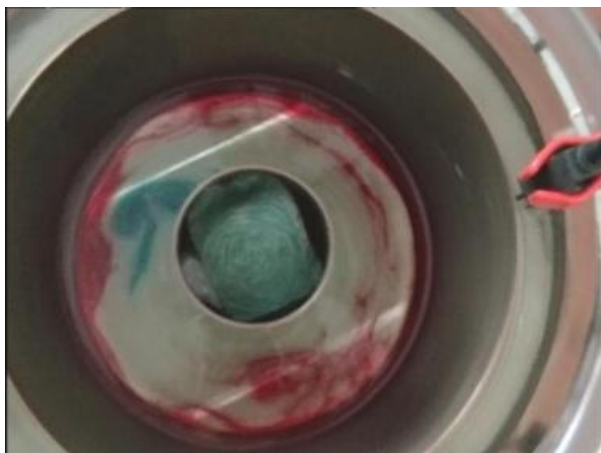
**3.9. kép A Geogebra és a Foucault-szimulációs program segítségével megrajzolt cikloisok**

### ***3.3 Áramlások hasonlósága forgatott közegekben***

A nagy skálájú áramlások tantermi méretekben való bemutatása nem triviális. Összeállítottam egy forgókádás berendezést: lelkét a – a már bemutatott - elektromos korongozóasztal adja, amelyre plexihengert helyeztem. Az eszköz segítségével – a korábban bevezetett Rossby-szám felhasználásával – a forgatott közegekben zajló áramlások hasonlósági törvénye hatékonyan használható arra, hogy a diákok megértsék, hogy ilyen méretekben is hű áramlástani modellezés lehetséges. Szakköri munkában további megfigyeléseket, kísérleteket is végeztünk pl. hogyan változik az áramlási kép a forgatás szögsebességének, vagy hőmérsékleti gradiens megjelenésével.

A fizikaoktatás is nyer ezekkel az eredményekkel, hiszen így szélesedik a tantárgy keretében tárgyalható természeti jelenségek köre. A fizika és földrajz tantárgyak közötti kapcsolatok erősítésén túl azért is érdemes a környezeti áramlások témájával foglalkozni, mert a földrajzoktatás eddigi hazai gyakorlata nélkülöz minden közvetlen tanórai tapasztalaton alapuló jelenségértelmezést, illetve demonstrációs kísérletet.

A ciklonok szemléletes tanítása [SZE2, 2011] akkor valósítható meg, ha legalább alapjelenség szintjén a forgatás hatását egy áramló rendszerben is megmutatjuk (3.10. kép).



**3.10. kép Ciklonok modellezése forgókádban (a képet a Kármán laborban a szerző készítette)**



**3.11. kép Forgókádas kísérlet a tatai Eötvösben**

Ehhez szükséges a már említett korongozó asztal, melyre plexiedényt helyezünk (3.11. kép). Az edény a mi esetünkben 46 cm átmérőjű és 40 cm magas. Az áramlások hasonlósága alapján a ciklonokra jellemző  $Ro$  értéket kell a megfelelő fordulatszám segítségével beállítanunk. A választandó fordulatszámot könnyen becsülhetjük a ciklonokra és a modellre jellemző tipikus paraméterek segítségével. Ciklonokra az áramlási sebesség 10 m/s, a Föld forgásából adódó frekvencia  $10^{-4}$  1/s, a ciklon átmérője  $10^6$  m; modellünkre pedig az áramlási sebesség  $10^{-1}$  m/s, az edény mérete 1 m nagyságrendben közelíthető.

Látható, hogy  $\Omega_{modell}$  értékére 1/s adódik, vagyis a forgóasztal fordulatszámát 10/perc nagyságrendűnek kell választani. A dolgozat Coriolis-effektussal foglalkozó részében leírtak szerint ez természetes is, hiszen ha kisebb az áramlás jellemző mérete (illetve pl. körlapon húzott vonal hossza), akkor kisebb lesz a hatás is (a relatív eltérés arányos a távolsággal). Tehát ugyanakkora relatív hatást nagyobb szögsebességgel lehet elérni. Ezért ha pusztán az áramlás jellemző méretét csökkentjük egy a forgó Földön zajló jelenségnél – mint pl. mosdókagylóban lefolyó víz -, akkor a Coriolis-hatás nem lesz domináns.

A diákokban kialakuló hibás szemléletet esetenként a köztudatban (beleértve a fizika [HAL3, 2002] és földrajz tanárok egy részét is!) elterjedt triviálisnak tűnő, de helytelen megfontolások is kialakíthatják, például sokan ismerik a déli féltekére elrabolt felügyelő és a fürdőszobai lefolyó esetét – ti. hogy a felügyelő a víztölcser forgásirányából megállapíthatná, hogy már

nem az északi féltekén tartózkodik. A fenti gondolatmenet segítségével viszont bármelyik gimnazista számára egyértelművé válik: a felügyelő ez alapján nem határozhatja meg földrajzi helyét.

### **3.4 Földrajz és fizika határán**

Korábban nagyon ritka volt, hogy valaki fizika-földrajz szakosként végzett valamelyik tudományegyetemünkön. Ez is lehetett az oka annak, hogy ezek a tantárgyközi kapcsolatok kevésbé jelentek meg (szakirodalom se nagyon van) a hazai oktatási gyakorlatban. Ma is több oktatási fórumon vita, hogy a földrajz tantárgyat a természettudományos tárgyak közé szabad-e sorolni. Az igaz, hogy a földrajz szemléletében és tananyagában is olyan integrált tantárgy, amelynek vannak kétségtelenül nem természettudományos aspektusai, de határozottan kijelenthetjük, hogy a természetföldrajz épít a többi természettudományos tárggyal való rokonságra. Kémiai (kőzetek, ásványok, légkör összetétele) és biológiai (földrajzi övezetesség...) ismeretek is megjelennek, de a legtöbb esetben leginkább a fizikában megismert jelenségek, törvényszerűségek adják az alapot. Talán nem túlzó a természetföldrajz egyes részeinek (pl. légkörtan) alkalmazott fizikaként való aposztrofálása sem.

#### **3.4.1 Földrajzi jelenségek fizikai alapjai a földrajz oktatásában**

Példaként tekintsünk egy földrajztankönyvi tartalomjegyzéket (3.2. táblázat) [JÓN, 2003], kiválasztva azokat a leckéket (55 közül), amelyek megértése közvetlen fizikai ismereteket igényel. (A csillagászati témákat nem jelenítettem meg.)

<b>A geoszférák</b>	43
A Föld belső szerkezete, a földi szférák kialakulása	44
A lemezmozgások következményei I-II.	49
Lemezmozgások, földi katasztrófák (olvasmány)	53
Ásványok, kőzetek keletkezése	55
Miről ismerhetők fel a kőzetek?	58
Felszínfejlődés a belső és a külső erők kölcsönhatásában	65
A vízburok kialakulása, óceánok, tengerek	73
A tengervíz mozgásai	75
A világtengerek jelentősége	78
A felszín alatti vizek	81
A szárazföldek felszíni vizei	84
Édesvizek a fagy fogságában	88
A levegőburok anyaga, szerkezete	94
Időjárás, éghajlat	97
Légnyomás, szél, időjárási frontok, ciklonok, anticiklonok	101
A nagy földi légkörzés	104
Időszakosan változó és helyi szelek	107
Víz a légkörben - A csapadékképződés	109

Az időjárás előrejelzése, az időjárás-jelentés értelmezése (forrásfeldolgozó óra)	112
A légkör jelentősége, védelme	114

### 3.2. táblázat Fizikához köthető tananyagok egy földrajz tankönyv tartalomjegyzékében

Ezeknek a tananyagrészeknek a megértése elsősorban mechanikai és hőtani ismereteket igényel. A földrajz tantárgy kimeneti mérésében is hangsúlyosak a fizika tantárgyhoz kötődő feladattípusok. Példaként említek néhány földrajz érettségi feladatot: 2005. emelt 5. és 9. feladat (összesen a megszerezhető pontok 7,5%-a), 2012. közép 4. feladat (7%) [OH4].

A fizika és a földrajz középiskolai tartalmának kapcsolatáról már a 90-es évek elején született cikk módszertani lapban: Radnóti Katalin foglalta össze a fizikai fogalmak használatát a földrajz tanítása során [RAD, 1993]. Az alapos áttekintés (bár pl. az áramlások témakörét nem említi) felhívta a figyelmet arra, hogy a fizikatanárok bevonjanak a tanítási folyamatba földrajzi példákat, de a cikk születése óta eltelt húsz év alatt alig találunk ezzel párhuzamos módszertani írásokat, és a fizika tankönyvek is híján vannak ezen ismeretek közlésének. A földrajz tanításával foglalkozó szakemberek is feltártak bizonyos tanulói tévképzeteket [DUD, 2012], amelyek többnyire a fizikával kapcsolatos tévképzetekkel vannak kapcsolatban (Föld alakja, gravitáció, égitestek mozgása, földrengések, Coriolis-hatás stb.). Ez is erősíti azt a gondolatot, amely szerint a fizika tanításának föl kellene vállalnia, hogy valóban megalapozza a természetföldrajz jelenségeinek oktatását. Néhány konkrét témában fizika órákon lehetne bemutatni azokat az alkalmazásokat, amelyek később (vagy párhuzamosan) a földrajz tananyagban is megjelennek.

Álljon itt pár példa, amely alkalmas lehet erre:

- földrajzi áramlások
  - ciklonok (kialakulásuk, szerkezetük),
  - frontok (kialakulásuk, szerkezetük),
  - óceáni áramlások,
  - folyók (vízkörforgás, nagy folyók aszimmetrikus partmosása),
- földrengéshullámok (típusai, energiája, Richter-skála),
- cunami,
- gejzír működése,
- meteorológiai ismeretek
  - légnyomás,
  - csapadékfajták, csapadékképződés,
  - felhőfajták, felhőképződés, felhők sebessége,

- a Föld energiaháztartása
  - napsugárzás jellemzői
  - üvegházhatás,
- földrajzi helymeghatározás

Összegezve azt mondhatjuk: elodázhatatlan a gyakorlatban is megvalósítható tantárgyi integráció, amelyhez megfelelő taneszközök (tankönyvek, esetleg a fizika tanításával foglalkozó portálok) elkészítése szükséges. Ahogy már megvalósult a környezeti kémia tankönyvi megjelenése, úgy látok esélyt arra is, hogy legalább modulok szintjén összeálljon egy – szaktanárok által tetszőlegesen – variálható tananyag, amelyben a fizika-földrajz integrált tananyagok, illetve környezetfizika jelenhetne meg. Ehhez persze tanári összefogásra van szükség, akár az Eötvös Loránd Fizikai Társulat keretein belül. Az ELTE doktori iskolájának végzett (illetve jelenlegi) hallgatói és az egyetemek oktatói (pl. az ELTE Környezettudományi Centruma) bizonyára részt tudnának venni egy ilyen együttműködésben.

#### *3.4.2 Földrajzi jelenségek kvalitatív értelmezése a fűszél példáján keresztül*

A reáliák „gondolati hierarchiája” magában hordozza azt a lehetőséget, hogy a középiskolai oktatásban is használjuk, illetve kihasználjuk az egyes tantárgyak ismeretanyagának elsajátítása során beépült tudást. A gyakorlat azt mutatja, hogy a diákok nehezen kötik össze a különböző területek tartalmait és módszereit, de éppen az szab gátat a tantárgyi koncentrációnak, hogy ezek az elemek nincsenek beépítve a kerettantervekbe, így általánosan nem terjedhet el ez a tanítási kultúra. Fontos a tantárgyak egymásra hatása és a megerősítés minden szinten, figyelembe véve, hogy az adott tantárgyból és a kapcsolt tudományterületből milyen előismeretekkel rendelkeznek a tanulók. Jelenleg természetföldrajzot gimnáziumban 9. évfolyamon tanulnak a diákok, fizika tantárgyból viszont csak 10. osztályban kerülnek elő hőtani jelenségek. A fizika így kevésbé tud segíteni például a légkörben zajló folyamatok megismerésében, és talán a földrajztanároktól sem várható el, hogy az eddigi gyakorlattól gyökeresen eltérő módon fizikai összefüggésekkel kiegészítve oktassák tantárgyukat. A fizika viszont akkor válhat eredményesebbé – többek között -, ha bizonyítaná, hogy a természettudományi terület alaptudománya, vagyis több gyakorlati példával, problémával foglalkozik.

Választott példában fizikai (hőtani), földrajzi és matematikai ismeretek összekapcsolását mutatom be. A jelenség egyszerű kvantitatív értelmezése után (ami egyébként 2013-ban az iskolánk által rendezett Öveges József Emlékverseny fizika feladatsorának 3. feladat volt, [www.eotvos-tata.sulinet.hu]) kitérek annak mélyebb

magyarozatára is, amely fizika és földrajz szakos tanárkollégák számára lehet tanulságos, illetve szakköri anyagként is használható.

A jelenség, mint értelmezendő probléma a következőképpen írható le.

*„A főnt száraz és meleg bukószélként jellemezhetjük. Magashegységek környezetében alakul ki, amelynek egyik oldalán az érkező levegő felfelé kényszerül, lehűl és nedvességtartamát a hegy ezen oldalán adja ki. A levegő a gerincen átbukva, immáron kiszáradva a másik oldalon leáramlik, felmelegszik és ezáltal relatív nedvessége jelentősen lecsökken. Jelenlétére a hegységgel párhuzamosan kialakuló lecsiszolt felhőformák utalhatnak. Európában legismertebb példája az Alpok mentén figyelhető meg, itt a déli főnként nevezett esetben a dél felől érkező levegő a hegygerinceken átbukva a hegység északi oldalán idézi elő ezt a száraz, meleg szelet.” (forrás: wikipédia)*

### **Elemezzük fizikailag a folyamatot a következő szempontok alapján!**

- Becsüljük meg, hogy milyen magasságban kezdődik a kondenzáció?
- Mekkora hőmérsékletű és relatív páratartalmú lesz a felemelkedő légtömeg a hegy csúcsánál?
- Becsüljük meg, hogy mekkora hőmérsékletű és relatív páratartalmú lesz a leszálló levegő a hegy másik oldali lábánál?

### **Gondolatmenetünkhöz használjuk a következő jellemző adatokat:**

- a hegy magassága:  $h = 1500 \text{ m}$
- az ún. száraz adiabatikus gradiens (a légtömeg hőmérsékletének változása a magassággal, miközben nedvességtartalma nem változik): — ———
- az ún. nedves adiabatikus gradiens (a légtömeg hőmérsékletének változása a magassággal, miközben relatív nedvességtartalma 100%): — ———
- a hegy lábához érkező légtömeg  $20^\circ\text{C}$ -os és relatív páratartalma  $53\%$  (ami azt jelenti, hogy a levegő abszolút vízgőztartalma az ezen a hőmérsékleten a levegő által maximálisan befogadható vízgőztartalom  $53\%$ -a).
- A maximális vízgőztartalom hőmérsékletfüggése:

$t \text{ (}^\circ\text{C)}$	-25	-15	-10	0	5	10	15	20	25	30	40
$w \text{ (g/m}^3\text{)}$	0,7	1,5	2,0	5,0	7,0	9,0	13,0	17,0	23,0	30,0	32,0

A megfogalmazott kérdéseinkre könnyedén megadhatjuk a választ az adatok felhasználásával középiskolás tudással is (a versenyen 112 indulóból 16 főnek sikerült megszereznie a maximális pontszámot ebben a feladatban).



- a) A vízgőztartalom a kondenzációig: \_\_\_\_\_, ez 10°C-on jelent 100% relatív páratartalmat, amit a légtömeg 1000m magasságban ér el (a száraz gradienst használva).
- b) A további emelkedés közben a relatív páratartalom nem változik: 100% lesz a hegygerincre érve, és az 500m emelkedés közben (a nedves gradienst használva) további 2,5°C-kal hűl a légtömeg, tehát 7,5°C-os lesz.
- c) 1500m magasságcsökkenés közben a légtömeg hőmérséklete (a száraz gradienssel számolva) 15°C-kal nő, vagyis 22,5°C lesz.

A vízgőztartalom megegyezik a gerincen jellemző értékkel, ami a táblázat adataiból a 7,5°C-nak megfelelő telítettségéből  $8\text{g/m}^3$ -nek becsülhető, tehát a hegy túloldali lábánál a 22,5°C-os levegő ( $w \approx 20\text{g/m}^3$ ) relatív páratartalma — 40%

Most nézzük meg, hogy valójában mi is rejlik a földrajzban használatos hőmérsékleti gradiens fogalma mögött. Tapasztalatom szerint sok esetben a gyakorló fizika szakos kollégák sincsenek tisztában a szövegben található kifejezések pontos jelentésével, pedig például a száraz, illetve a nedves adiabatikus gradiens a mértékegységek alapján is könnyen megfogalmazható jelentéssel bír. Földrajztanulmányokból ismeretes, hogy a légkörben felfelé haladva csökken a levegő hőmérséklete, amit az ún. termikus gradienssel szokás megadni. Ez a mennyiség kifejezi, hogy 100m vertikális elmozduláshoz mekkora hőmérsékletváltozás tartozik.

*Becsüljük meg a száraz és a nedves adiabatikus gradiens értékét Péczeli György Éghajlattan tankönyve [PÉC, 2002] alapján!*

A levegő súlyából származó nyomás csökken a magassággal, ezért a földfelszínről felszálló légtömeg tágul, miközben csökken a hőmérséklete. A folyamat adiabatikusnak tekinthető - még akkor is, ha a függőleges áramlás nem túl gyors -, mert az áramló légtömeg mennyiségéhez képest elhanyagolható az a levegőmennyiség, amelyben mint határretegben zajlik a környezettel való hőcsere. Így alkalmazható a termodinamika I. főtétele adiabatikus esetre, vagyis:

$$(3.12)$$

Kis változásokra írható:

$$(3.13)$$

Az ideális gázok állapotegyenletének kis változásokra felírt alakja:

$$(3.14)$$

A bal oldalon található kifejezést két tagra bonthatjuk\*:

$$(3.15)$$

(\*Megjegyzés: ez az átalakítás a középiskolában nem triviális, de egyszerű algebrai megfontolásokkal belátható a következőképpen.

Alakítsuk át az egyenletet úgy, hogy a baloldalon a két nyomás értéket a  $(V_2 - V_1) = \Delta V$  taggal szorozzuk, így:

Hasonlóan járjunk el a térfogatértékekkel, vagyis állítsuk elő azok  $\Delta p$ -vel való szorzatát. Ekkor:

Átrendezve és a megfelelő tagokat szorzat alakban fölrva kapjuk:

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} \left( \frac{p_2}{p_1} \right)$$

(3.13) felhasználásával írhatjuk:

Felhasználva, hogy ideális gázokra  $C_v + R = C_p$ :

$$(3.17)$$

n-nel való osztás után a moláris tömeg, moláris térfogat és sűrűség közötti kapcsolatot alkalmazva egyenletünk az alábbi alakban írható:

$$-$$

Az aerosztatikából ismeretes, hogy függőlegesen felfelé haladva a levegő súlyából származó nyomás csökken:

Ezt a kifejezést beírva a (3.17) egyenletbe kapjuk:

$$-$$

ahonnan a száraz adiabatikus gradiens értékére egyszerűen adódik az irodalomban (és a feladat szövegében) is használt érték:

$$-\frac{g}{\gamma} = -\frac{g}{\gamma} \quad (3.18)$$

A nedves adiabatikus gradiens becsléséhez a telített levegőből hűlés miatt kondenzálódó vízgőz által a levegőnek leadott hőt is figyelembe kell venni, vagyis az (3.13) egyenlet most a következőképpen néz ki:

Ezt átalakítva kapjuk:

$$\text{---} \quad (3.20)$$

amiből

$$\text{---} \quad (3.21)$$

összefüggéshez jutunk. Ezt  $\Delta T$ -vel osztva kapjuk:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (3.22)$$

Becsülésünkhöz használjunk föl két közelítést, ti. hogy  $1 \text{ m}^3$  levegő kb. 40 mol, valamint a földfelszín közeli levegő általános hőmérséklettartományában ( $10^\circ\text{C}$  körül)  $1 \text{ m}^3$  telített levegőből  $1^\circ\text{C}$  hűlés hatására kb. 0,6 g vízgőz kondenzálódik [PÉC2, 2002], az alábbi egyenlet írható:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---}$$

amiből

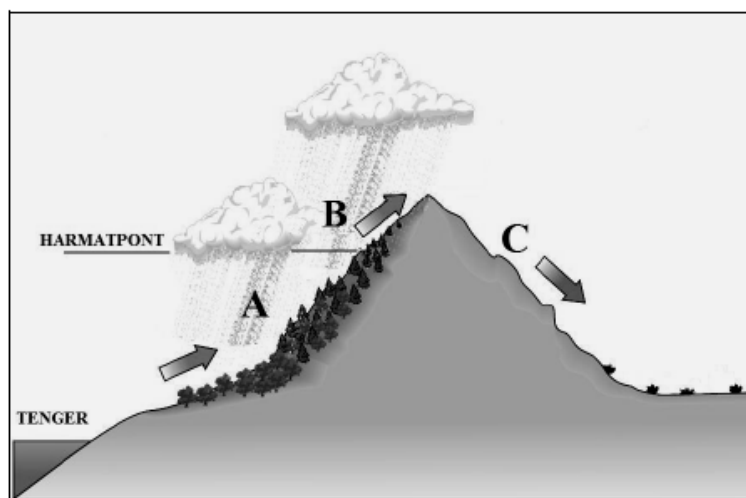
$$\text{---} \quad \text{---} \quad (3.23)$$

érték adódik, amely nagyságrendben visszaadja a feladatban is használt  $0,5^\circ\text{C}/100\text{m}$  nedves adiabatikus gradiens értéket. Ez az érték természetesen nem állandó, a levegő hőmérsékletétől függ, hiszen az befolyásolja a telítettséghez tartozó relatív páratartalmat, így azt is, hogy  $1^\circ\text{C}$  hűlés hatására mekkora tömegű víz kondenzálódik az egységnyi levegőtérfogatból.

A problémát kvalitatív szinten földrajz tanórán is megismerik a diákok, sőt a földrajz érettségin is megjelent már többször is, pl. a 2012. év tavaszi időszakában a középszintű érettségin az alábbi feladatot kellett megoldania egy érettségizőnek:

Az ábra egy hegyen átkelő légtömeg fizikai állapotának változását mutatja be.

- a) Írja az állapotváltozások megfogalmazása után annak a helynek a betűjelét, amelyre az vonatkozik.



1. A hőmérséklet növekszik – a tényleges páratartalom nem változik – a viszonylagos páratartalom csökken.

2. A hőmérséklet csökken – a tényleges páratartalom nem változik – a viszonylagos páratartalom nő.

3. A hőmérséklet csökken – a tényleges páratartalom csökken – a viszonylagos páratartalom nem változik.

3 pont	
--------	--

#### **4. KÖRNYEZETFIZIKA A TEHETSÉGGONDOZÁSBAN**

A dolgozat eddigi részében alapvetően azt tárgyaltam, hogy a környezetfizika témáját érintő tananyag milyen módszerekkel oktatható modern és hatásos módon a jelenlegi kor követelményeinek megfelelően. Az utolsó fejezetben a diákok differenciált oktatásának kihívásával foglalkozom, hiszen a műszaki és természettudományok egyetemi oktatásához elengedhetetlen a középiskolában az erre fogékony diákok részletesebb tanítása a témában. Az ilyen diákok feladattal történő ellátása és orientálása a fizikatanítás fontos feladata. Jelen értekezés alapját pedig a tehetséggondozáshoz köthető tartalmi és módszertani fejlesztés (környezetfizika szakkör) adta.

Készítettem egy felmérést (2007), amelyben azt vizsgáltam, hogy rendelkeznek-e a diákok a két választott témámmal (napenergia, Coriolis-hatás) kapcsolatban pontos ismeretekkel, illetve hogyan gondolkoznak arról, hogy érdemes-e környezetfizikát tanulni. A vizsgálathoz használt kérdőív kérdései a 6. számú mellékletben olvashatóak. A felmérésben nyolc iskola (Baja, Budapest, Debrecen, Kecskemét, Pécs, Szekszárd, Veszprém, Tata városából) 200 tanulója vett részt a középiskola minden évfolyamáról. A válaszadók csoportja érdeklődésüket és fizika jegyüket tekintve sem volt homogén. A legfontosabb eredményeket a következőképpen foglalhatjuk össze [a felmérés részletei megtalálhatóak az ELTE TTK Atomoktól a csillagokig előadássorozatának honapján: [www.atomcsill.elte.hu](http://www.atomcsill.elte.hu)]:

- a diákok a Coriolis-hatással kapcsolatban hiányos ismeretekkel rendelkeznek: bár a Passzát-szélrendszer előkerült földrajz tantárgyból, irányát (a kérdőív 6. kérdése) a válaszadók mindössze 15%-a jelölte helyesen; illetve azt az állítást (3. kérdés), mely szerint „*A Coriolis-erő az északi féltekén jobbra eltérítő tehetetlenségi erő.*” a felkínált három lehetőség közül (a. igaz; b. nem igaz, balra; c. nem tudom) a válaszadók harmada válaszolta a helyes a. választ, ami teljes tanácstalanságot jelez. Van mit tennünk e tekintetben. A felmérésben résztvevők közül is sokakban él a tévhit a Coriolis-hatás és a kádlefolóban haladó víz mozgásának kapcsolatáról (8. kérdés), ugyanis a diákok több mint 40%-a erre utaló választ jelölte meg (mely szerint igaz az állítás, hogy „*A kád lefolyójában a víz Magyarországon mindig az óramutató járásával egyirányú forgásba jön.*”)

- a napsugárzás intenzitására vonatkozó kérdésre (4. kérdés) viszont nagyságrendben és mértékegységét tekintve is meglepően magas volt a jó válaszok aránya (70%)

- a környezetfizika témáihoz való viszonyulásra irányuló kérdések (2., 5., 7., 10., 11.) alapján kijelenthető, hogy érzik a diákok a környezetfizikában rejlő lehetőségeket, szívesen tanulnának ezekről a témákról. Ezekre a kérdésekre 5 fokozatú skálán kellett válaszolniuk a

diákoknak, ahol az 1 a legkevésbé, 5 a leginkább jellemző választ jelentette. Arra a kérdésre (2. kérdés), hogy „A környezeti fizika hétköznapi jelenségekkel foglalkozik – jobb lenne, ha ilyenekről tanulnánk.” a résztvevők válaszainak átlaga 3,75 volt. Az átlag az 5. kérdés esetén (ami a környezetfizika szakköri részvételre vonatkozott) 2,85; a 7., 10., illetve 11. kérdés esetén rendre 3,75; 4,57; 3,59 értékűnek adódott.

Ennek ismeretében kezdtem a tehetséggondozás területén környezetfizikával foglalkozni.

#### ***4.1 Tehetségek a fizikában***

A fizikatanároknak – véleményem szerint – az a feladata, hogy ebben a természettudományokat kevésbé preferáló oktatási rendszerben megtalálják azokat a kitörési pontokat, amelyek mentén legalább részsikereket érhetnek el munkájukban. Ehhez elengedhetetlen, hogy tanuljunk egymástól, és éljünk olyan saját kezdeményezésekkel, amelyek segítségére lehetnek a szakma megújulásának. Számos jó példát láthatunk az országban: kisebb-nagyobb rendezvények adnak lehetőséget, hogy a fizikatanítás szereplői találkozzanak, és akár hálózattá fejlődve (pl. az ún. Tehetségpontokon keresztül) segítsék egymást. Tradicionális (OKTV, Öveges Emlékverseny) és újabb országos tanulmányi versenyek (Budó Fizikaverseny), vagy akár pl. a Kutató Diákok Mozgalma keretében szervezett programok adnak teret a legfelkészültebb diákoknak is a megmérettetésre, de komoly szakmai kihívás az emelt szintű érettségien való jó szereplés is. A tantárgy megítélésének javításában nagy szerepe van az országsszerte megrendezett fizika-show-knak [JAL, 2012], a fizikát népszerűsítő kísérlet-bemutatóknak (7. számú mellékletben egy saját programot is bemutatok), és elvitathatatlan a Csodák Palotájának hatása a fiatalokra.

Mégis hiányérzetünk lehet, hiszen a könnyen átvehető jó gyakorlatok megismerésére már kevesebb a lehetőség. Az ELTE TTK Fizika Doktori Iskolája három konferenciát is szervezett a fizika, illetve a természettudományok tanításának megújításával kapcsolatban [JUH, 2010], [TAS, 2011], [JUH, 2013]. Mindhárom rendezvény rendkívül hasznos volt, a konferencia-kiadványoknak pedig minden szaktanár könyvtárában szerepelniük kellene. Azonban ezen alkalmak során elsősorban tartalmi kérdések kerültek előtérbe, kevés szó esett a módszertani kérdésekről, amelyek legalább olyan lényegesek a megújulás szempontjából.

A pedagógiai szakemberek egy szükséges paradigmaváltásról beszélnek a természettudományok tanításában [NAH3, 2002]. Nyilván ők amellet teszik le a voksot, hogy legyen a teljes rendszer egészét érintő, átfogó pedagógiai, módszertani váltás. Ennek – szerintem - jelenleg nincsenek meg a feltételei, hiszen a magyar oktatási hagyományok, kulturális háttér nehezen enged egy gyökeres változást. A tanárok nincsenek fölkészülve egy

gyors váltásra (a tehetséggondozás is megrekedt azon a szinten, amit a tanárok maguktól csinálnak, ugrásszerű változás nem várható). Ezért javaslom (és ennyi szükséges lenne), hogy minden év végén legyen lehetőség projekt jellegű tevékenységre. Ez alatt a tanár és az osztály projektjét értem, nem feltétlenül a projektoktatást. Ebbe belefér egy kutatás alapú, vagy probléma alapú feldolgozás csoportokban, de lehet egy-egy komplexebb projekt végigjárása is. Ehhez kellenek háttéranyagok, segédanyagok, amiből a tanár választhat. Az átfogó változás hiányában én magam ezt a módszertani fejlődési utat jártam be, vagyis a szakkör vezetése közben létrejött oktatási anyagokat bevontam a tanítási gyakorlatomba is.

Mindenekelőtt leszögezhetjük, hogy érdekeltté kell tenni a tanulókat a tanulásban, megismerésben, megértésben. Erre alkalmas lehet, ha részt vehetnek a tevékenységekben, valamint saját döntéseik is szerepet kapnak és megtapasztalhatják az eredményeket. Nagy élmény lehet, ha a diák maga végezhet megfigyelést, ő jön rá egy összefüggésre – de csak akkor, ha tud vele utána mit kezdeni (használni más szituációban, összekötni más tanult elemekkel). Tapasztalataim szerint egy tehetséggondozó szakkör vezetése módszertani szempontból is fejlődési lehetőséget kínál: a tanórákon megszokott tanulásszervezési módokon túl tudatosan kereshetjük a szakkör funkciójához legadekvátabb formát. Ennek kapcsán akadtam rá az ún. kutatásalapú tanításra (inquiry-based learning, IBL), amely az én esetemben a legközelebb állt a szakköri keretekben megvalósuló tanulási folyamatoknak. Az IBL alapvetően a konfuciuszi elvet vallja: „mondd el és elfelejtem, mutasd meg és megjegyzem, engedd, hogy csináljam, és megértem”, és ebben látja a pedagógiai szemlélet szükséges fejlődését. A központi cél, hogy kifejlesszük a diákokban a kutatási készségeket. A tehetséggondozó szakkörön megvalósuló tanári önfejlesztés azzal az előnnyel is jár, hogy pedagógiai kultúránk a normál tanórák során is a kipróbált pedagógiának megfelelően alakul. A megújulás pedig szükségszerű, hiszen „manapság Magyarországon is egyre nagyobb az igény a kooperatív tanulási formák alkalmazása iránt, ami a hagyományos pedagógia hiányosságaira vezethető vissza. Ugyanez mondható el a projektmódszer alkalmazásáról, a komplex megközelítésről, a gyakorlati kontextusba helyezésről (...) Szükséges egy új tanármodell kidolgozása, melyben a tanár a tanulás hozzáértő vezetője.” [NAG, 2010]. Célszerű a gyakorló tanároknak a kikristályosodó elméleteket nem diszjunkt halmazokként tekinteni, ezért minden pedagógiai iskola hátrányát és előnyét együttesen kell mérlegre tenni, illetve azokból összekombinálni a számára legadekvátabb saját pedagógiát. Az IBL hátránya, hogy nem feltétlen illeszkedik az órarendi oktatáshoz, és persze nem minden téma és óra alkalmas a megvalósítására. A tanárok maguktól (hacsak nem válnak gyakorlottá pl. egy

szakkör vezetése által) nem is fognak így tanítani, mert nincs benne rutinjuk, és nagy létszámúak a csoportok is a tanórákon. Az eszközigenyről (ezalatt írott taneszközöket, kidolgozott feladatlapokat is értek) valamint a szükséges terem és laborasszisztens segítségéről nem is beszélve.

A tehetséggondozás területén is fontos szempont, hogy a fizikában tehetségesek csoportja nem homogén, hanem azon belül (KIR, 2010) léteznek: a tanulásban, a matematikai képességekben, a gondolkodásban, a gyakorlati tevékenységben, az eszközkészítésben tehetségesek. Az egyes típusok (általában) jellemző tulajdonságait foglalja össze a 4.1. táblázat. Persze minden diák összetett személyiség, a felsorolt képességek némelyikével együttesen is rendelkezhet a tanuló. Ezért fontos a differenciált foglalkozás.

<i>tanulás</i>	<i>matematikai képességek</i>	<i>gondolkodás</i>	<i>gyakorlati tevékenység</i>	<i>eszközkészítés</i>
szorgalmasak	logikus gondolkodás	jó az elemzőkészségük	precíz munkavégző	ötletesség, szemfülesség
jó a memóriájuk	absztrakciós képesség	lényeglátóak	türelmes	műszaki érzék és jártasság
jó stratégiával tanulnak	térlátás	logikusan gondolkodnak, érvelnek,	jó megfigyelő	kézügyesség
logikusan gondolkodnak	számolási készség	képesek a komplex látásmódra	jól tud koncentrálni	türelem
szívesen dolgoznak	a jó becslés képessége	képesek a rendszer szemléletű megközelítésre	rendezett, fegyelmezett gondolkodású	alaposság
motiváltak a sikerre	intuíció	fegyelmezett, ugyanakkor flexibilis a gondolkodásuk	ügyel a részletekre	problémamegoldó képesség
van önbizalmuk	türelem	egyéni megoldásokat keresnek	jó a lényeg látása	lényeglátás
	koncentráls képessége	fogékonyak a párhuzamokra	jó a kézügyessége	a koncentráls képessége
	konvergens gondolkodás	jó az absztrakciós képességük	jó a térlátása	önbizalom
	független gondolkodás	gazdag a képzelő erejük	ötletes	felelősségérzet
	vizuális képzelő erő	jó a tér- és forma látásuk	képes megosztani a figyelmét	eltökélttség, kitartás
	formalizált gondolkodás		kíváncsi	

#### 4.1. táblázat A fizikában tehetségesek különböző típusai és azok általános jellemzői

A táblázatban felsoroltak ismeretében - akár az erős, akár a gyenge oldalukat tekintve - irányítottan fejleszthetőek a tanulók, amiben a tanár mint mentor, vagy akár a csoport többi tagja segíthet. De ennél talán még fontosabb az a tény, hogy a tehetséggondozáshoz kapcsolódó tanulói tevékenység is már önmagában egy komplex, sokrétű folyamatot jelent, és a tanár feladata éppen az, hogy fejlessze minden diákját ezeken a képességterületeken.



Érdeemes sorra vennünk egy tehetséggondozó szakkör tervezésénél (vagy akár egy már működő szakkör értékelésénél) a tanterv speciális alapelveit is. (KIR2, 2010)

- |                     |                                   |  |
|---------------------|-----------------------------------|--|
| 1. Testreszabottság | 5. Tárgyak között átívelő tanulás | 9. Gazdaságosság                           |
| 2. Nyitottság       | 6. Döntéshozatal                  | 10. Kihívás                                |
| 3. Függetlenség     | 7. Alkotás/újraalkotás            | 11. A tartalom akcelerált/haladó ütemezése |
| 4. Komplexitás      | 8. Időzítés                       |  |

Természetesen sok olyan program létrehozható, amelyek ezen kritériumok többségét teljesíti, így itt csak kiemelek néhány szempontot.

önálló (vagy csoportos) kutatómunka szervezhető (1., 3., 6., 7., 9., 10., 11.)

témaválasztás (4., 5., 9., 11.)

szakköri forma (2.)

táborok – erősíthető a földrajz és a fizika kapcsolata (meteorológia, térképészet, energetika környezeti vonatkozásai, stb.); gyakorlatilag az összes alapelv teljesül: 1-11.)

#### ***4.2 Környezetfizika szakkör az Eötvös József Gimnáziumban***

A tehetséggondozó műhelyek (szakkörök) működtetése nagy kihívás egy mai fizikatanár számára. Ahogy a tanórákon csökkent az érdeklődés a tantárgy iránt, úgy csökkent a szabadon választható plusz feladatok vállalása is a diákok körében: legyen az egy kiselőadás megtartása, részvétel egy versenyen, vagy akár egy délutáni foglalkozás. Pedig ma is ott ülnek a padokban a tehetségek, akikkel differenciáltan foglalkoznunk kell. Ehhez olyan speciális foglalkozásokat kell megterveznünk és meghirdetnünk, amelyek megfelelő motivációs erővel bírnak (ezzel korábban kevésbé kellett törődni), sokrétű feladat elé állítják a diákot, képesek az adaptív tudás formálására (ha úgy tetszik, megfelel a modern pedagógiának), és modern fizikai szemléletet adnak át. Egyik lehetséges tárgykör lehet ehhez a környezetfizika, amely alkalmas a kvalitatív és kvantitatív összefüggések megmutatására, korszerűen egészíti ki a kötelező tananyagtartalmakat, fejleszti a komplex látásmódot.

Több olyan konkrét okot is megfogalmazhatunk, amelyek célkeresztbe helyezik a környezetfizika témáját:

1. a fizikatanításban ez a terület még meglehetősen járatlan, szakmailag (tartalmi és módszertani értelemben is) bőven van lehetőség az innovációra
2. a hagyományos témáknál komplexebb problémákat tárgyal, erősen interdiszciplináris
3. sikeres tehetséggondozó munkát lehet végezni (mert érdekes a diákoknak)

4. alkalmas az új pedagógiai szemlélet működésének megtapasztalására
5. a hétköznapi életben is használható tudást ad, ezért a diákok könnyen köthetik a saját életükhöz, motiváltak a környezetfizikai jelenségek megértésében

Ha a környezetfizika témái mögé tekintünk (sugárzások, energetika és környezet, környezeti anyagtudomány, zaj, környezeti áramlások) és megvizsgáljuk, hogy ezek közül a középiskolás fizika korábbi tananyagában mit találunk meg [MAG, 2003], akkor a sugárzások témáján kívül ebben az aspektusban (környezeti vonatkozások) a többivel nem találkozunk. Ezt a hiátust ismerhették fel az új kerettantervek készítői [MTA2, 2014], hiszen megjelent az energetika és környezet és a környezeti áramlások, sőt a zaj témája is. Ebből a szempontból a fizikatanárok számára még fontosabb, hogy az új tantervi elemekhez megfelelő háttérismerethez, szakirodalomhoz jussanak (a fizikatanári képzésben erre nem volt lehetőségük). Jelenleg még nagyon hiányos a használható forrás.

Az persze nem egyértelmű, hogy elérhetőek-e a kerettantervekben megjelölt célok egyszerűen a tananyagba való illesztéssel; megteremthető-e például a kísérleti háttere ennek a területnek, illetve megjelennek-e majd az érettségi követelmények között a környezetfizika elemei, vagy megmarad az érdekességek szintjén. Azt gondolom, hogy van erre lehetőség, hiszen az alapjait tekintve nem rugaszkodik el a középiskolai fizikatanítás fogalomrendszerének szintjéről, inkább csak kiegészíti azt, illetve komplexebb szemléletében hoz újat. Példaként néhány német fizika tankönyvet átnézve láthatjuk, hogy környezetfizikai elemek tananyagba való beillesztése másutt már évekkel ezelőtt megtörtént [BAY, 2002]. Van arra is példa, hogy év végén projektek keretében még elmélyültebben foglalkozzanak a diákok ilyen jellegű problémákkal (meteorológiai megfigyelések: levegő nedvességtartalma, légnyomás, csapadékmérés, egyszerű szabályszerűségek a meteorológiában) [BRE, 2003]. Ez egy járható út lenne, kompromisszumot (ha lehet ilyenről beszélni) jelentene a hagyományos hazai fizikatanítás és a modern pedagógia közötti szakadék között.

#### 4.2.1 A környezetfizika szakkör szervezése

A tatai Eötvös József Gimnázium nevelő-oktató munkájának hagyományai között már a múlt század 20-as éveiben jelentős szerep jutott a természettudományoknak. Akkor tanított először iskolánkban Öveges József professzor, de említhetném Skoflek István paleontológus nevét is (1957-80-ig tagja a tantestületnek), akinek elvülhetetlen érdemei voltak a tehetséggondozás terén (Herman Ottó Kör) a természettudományokban. A matematika, biológia-kémia és a fizika munkaközösségek ma is nagy hangsúlyt fektetnek a tanórán kívüli tehetséggondozó munkára. Ennek ékes bizonyítékai a több mint 30 éve megrendezett Öveges

Emlékverseny, a tehetséggondozó műhelyek sora (az utóbbi évekből kiemelendő műszaki területen az Űrkutató-robotika szakkör, fizika területen pedig a Környezetfizika szakkör), de ide sorolhatjuk a komplex természettudományi táborokat is. Ezek a jó gyakorlatok nem az elméleti modellekből megkonstruált tevékenységek, hanem egy jól működő kollektív munka eredményeként születtek meg. A tanári igény és igényesség hívta ezeket életre.

Az ELTE Fizikai Intézet Kármán Laboratóriumában tett több látogatás során fogalmazódott meg az ötlet, hogy kezdjük megteremteni az alapjait egy hasonló demonstrációs laboratóriumnak, ahol a környezeti áramlások mellett a környezetfizika egyéb területei (pl. napenergia fölhasználási lehetőségei, sugárzások) is helyet kaphatnának. Ennek kapcsán indult el Környezetfizikai szakkörünk, ahol többek között a Coriolis-hatás problémakörét dolgoztuk fel.

A szakkör beindításakor (2007) alapvető célként azt fogalmaztam meg, hogy a diákok tudományos igényű vizsgálatokat végezzenek, olyan modern fizikai témákkal (amikkel a fizikusok ma foglalkoznak) találkozzanak, amelyek szorosan kapcsolhatók a tananyaghoz, de egyben túlmutassanak azon, illetve akár működő technikai eszközöket is készítsenek.

A szakkörre elsősorban műszaki és természettudományi érdeklődésű tanulók jártak, de volt, aki pusztán az érdekes témák miatt volt tagja a szakkörnek. Általában kb. 10 fővel dolgoztam minden évben, de volt év, amikor 18 taggal működött a szakkör. A szakkör minden gimnáziumi korcsoportnak kínált lehetőséget a fejlődésre, ami elősegítette azt is, hogy a diákok egymástól is sokat tanulhattak. A műhelymunka jelentősége a diákok szempontjából abban állt, hogy olyan mérési eljárásokkal találkozhattak, amelyekre normál tanórákon nincs elég idő (pl. napelemes mérés), motivációs hatása volt pl. emelt szintű fizika csoport választása miatt, de fontos volt, hogy olyan tanulók is eredményesek lehettek a szakkörön, akik kevésbé tudtak kitűnni a tanórán, Másban voltak tehetségesek: például műszaki tervezésben, gyakorlatias problémák megoldásában. Ezen kívül fejlődtek a csoportos munka szervezése és megvalósítása területén is.

Tanári szempontból azért volt érdekes a szakkör vezetése, mert számos olyan problémában merülhettem el, ami nem lett volna szerves része a gondolkodásomnak. Fejlődtem a csoportmunka, a gyakorlati feladatok megszervezésében, bővültek az ismereteim a fenti témákban és megláttam a földrajz szépségét. Egy tanár számára az sem utolsó szempont, hogyan tud védekezni a kiégés ellen (ezzel keveset foglalkozunk, pedig kellenek az új célok, kihívások, még akkor is, ha az oktatás majd' minden évben átalakul valamelyik ponton).

Egy szakkör eredményességének mérése nem könnyű feladat. Nehéz korrelációt találni pl. a diákok szakköri tevékenysége és a pályaválasztása között, legalábbis nem jelenthetjük ki egyértelműen, hogy minden esetben pusztán a környezetfizika szakkörön való részvétel befolyásolta felsőoktatási tanulmányaik megválasztását. A szakköri tevékenység elismerését azonban jól mutatja az ott végzett munka független szakemberek általi megítélése. Sikeresen szerepeltek a szakkörösök diákkonferenciákon mindkét témában (napenergia, Coriolis-hatás):

-*Marschall Bence* (Ciklonok fizikája, Miskolc, Országos Középiskolai Földtudományi Diákkonferencia, 2. hely és a Magyar Meteorológusok Társaságának Különdíja, valamint Veszprém, Hlavay József Diákkonferencia, 2. hely)

-*Gozsovics Dóra és Zichó Viktor* (A napenergiás aszaló működésének vizsgálata, Veszprém, Hlavay József Diákkonferencia, 2. hely)

-*Kanozsai Dávid, Riz Szabolcs és Szabó Renáta* (Mindenhol süt a Nap, Miskolc, Országos Középiskolai Földtudományi Diákkonferencia, 2. hely)

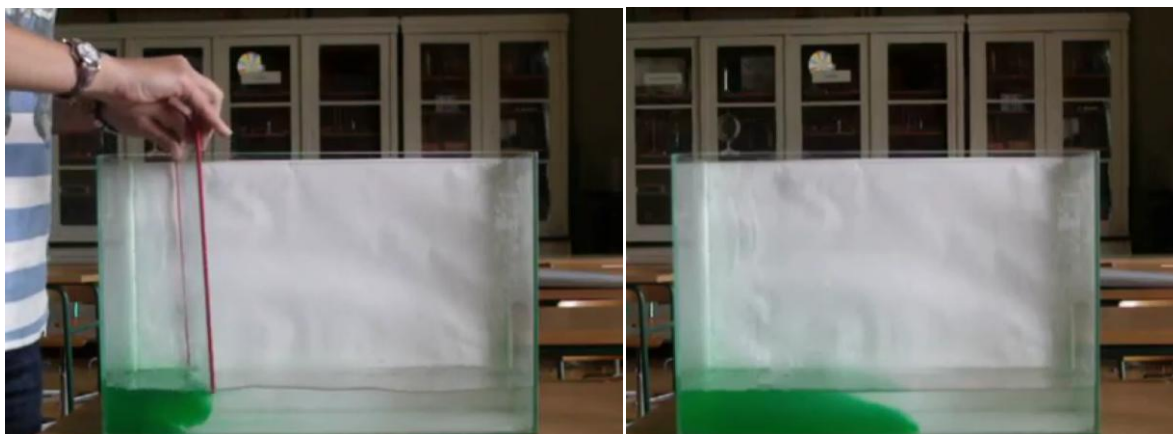
Közülük Bence azóta a SOTE hallgatója, Dóri mechatronikai mérnöknek, míg Viktor energetikai mérnöknek tanul. A többiek jelenleg is gimnáziumunk tanulói. A szakköri tevékenység mindannyiuknak jó alapot szolgáltatott a későbbi kutatói munka végzéséhez.

Fizika tantárgyhoz kötődő tanulmányi programokon, tehetségkonferenciákon többször mutattuk be a szakkör eredményeit (Megyei Tehetségnapon több alkalommal vettem részt meghívott előadóként), illetve tartottunk kísérlet-bemutatókat (tatai matematika tábor, Ifjú Fizikus verseny megyei döntője). Iskolánk az idei évben bekerült az Öveges Programba, amely egy komplex természettudományos laboratórium kialakítását jelenti többek között, és amely alapja lehet egy komolyabb általános iskolákkal folytatott együttműködésnek is, akár környezetfizikai témában. A szakköri munka részleteiről a következő pontokban lesz szó.

#### 4.2.2 A szakkör fizikai tematikája

A több évig működő környezetfizika szakkörön úgy kellett megválasztanom a témákat (a korábban felsorolt elvek mellett), hogy illeszkedjen a szakkör tanulói összetételéhez. Nemcsak azt kell megoldani ugyanis, hogy a vegyes évfolyamokról bekerülő diákok ismeretei megfelelően bővüljenek, hanem azt, hogy volt olyan diák, aki több évig, és volt, aki egy évig volt tagja a csoportnak. Így minden évben a korábbi tevékenységek (illetve fizikai ismeretek) ismétlésére úgy kellett figyelmet fordítani, hogy az új diákok megfelelő időt kapjanak az alapfogalmak megértésére, miközben a „régiek” is hasznosnak ítélik a foglalkozásokat, és már az új kihívások felé tekinthetnek. Ez is az oka annak, hogy a környezetfizika nem minden

területével foglalkoztunk eddig. A napenergia témakörében megismerkedtek a diákok a napsugárzás legfontosabb jellemzőivel, az ahhoz szükséges fogalomrendszerrel (mint pl. feketetest sugárzás, napállandó, a Nap látszólagos pályája, üvegházhatás), majd a napenergiához kapcsolódó eszközök elkészítésére, azok működésének vizsgálatára helyeztem a hangsúlyt. Ilyen volt a napenergiás aszaló (külön vizsgálható volt a kollektor rész is /lásd 2. fejezet/, sőt volt olyan diák, aki demonstrációs céllal otthon készített egy sörkollektort) megvalósítása, a különböző napsütő modellek fizikájának a feltárása (próbálkoztunk parabolatányéros napsütő készítésével is parabolaantenna felhasználásával, de az nem volt kellően sikeres). Pályázati forrásból beszereztem napelemet (lásd később), vákuumcsöves kollektort és egy ún. heat pipe csövet is. A két utóbbi vizsgálatát a jövőben kezdjük meg. A környezeti áramlások témájában a forgatott közegek áramlási viszonyai (lásd korábban 4.3 fejezetet) mellett tornádó-moddell (mágneses keverő segítségével [HALÁ, 2006]), és frontokkal (kisméretű akváriumban két térrészben elválasztott megfestett hideg (4.1. kép) és meleg víz felhasználásával [GYÜ, 2006]) is foglalkoztunk. Készítettünk Foucault-ingát és annak modelljét, amelyet az áramlásokhoz vásárolt korongozóasztalon vizsgáltunk. Mindemellett telepítettünk meteorológiai kisállomást (amely sajnos technikai okokból rövid ideig üzemelt). Az egység alkalmas volt a légnyomás, a szél erősség és a szélirány, a hőmérséklet, a hulló csapadék és a relatív páratartalom mérésére, illetve azok webfelületen való regisztrálására is ([www.metnet.hu](http://www.metnet.hu)). A szakkörhöz kapcsolódóan környezettudományi táborot is szerveztem, ahol az eddigieken túl a felhőkkel, térképészettel, egyszerű meteorológiai mérőeszközök elkészítésével (hajszálas higrométer, szélmérő ping-pong labdából), valamint vízanalitikával foglalkoztunk.



**4.1. kép Hidegfront modell mozgásának vizsgálata tanteremben**

### *Napállandó mérése*

A hazai középiskolai fizikatanítás látóterébe több mint egy évtizede került a napállandó mérése középiskolai módszerekkel [JAR, 2003]. Ma már az emelt szintű érettségi szóbeli mérései között is találunk az eljárás tekintetében hasonló vizsgálatot [www.oktatas.hu], ugyanis ott egy lámpa infrateljesítményének meghatározása a feladat. Ha a napenergiával kapcsolatban a mennyiségi viszonyokat is szeretnénk megértetni diákjainkkal, akkor mindenképpen érdemes megismertetni őket ezzel a méréssel. Választhatjuk az ún. kockamódszert, vagy mérhetünk fekete matt festékkel bevont rézgolyóval is, amelynek megvan az az előnye, hogy a fémfelületet nem kell a napsugárzásra merőlegesen beállítani.

Nézzük meg az eljárás fizikai alapjait. Egy napsugárzás hatására melegedő objektum esetén az energiamérleg általános esetben a következő alakban írható (4.1 egyenlet):

Az egyenlet bal oldalán található tagok a napsugárzásból ( $S$  a napállandó) és a környezet hősugárzásából származnak (a Stefan-Boltzmann –törvénynek megfelelően). A jobb oldalon rendre a belső energia növekedést ( $C$  az objektum hőkapacitása), a környezettel való hőcserét (ahol  $V$  a hőátadási tényezőt és a kölcsönhatás felületét is tartalmazza, nevezzük veszteségi tényezőnek), valamint a környezetnek a felületről kisugárzott energiát leíró tagokat láthatjuk.  $A_1$  a sugárzásra merőleges felületet,  $A_2$  pedig a teljes felületet jelenti. Ennek a differenciálegyenletnek a megoldása középiskolában nem megvalósítható, de bizonyos esetekben elhanyagolásokkal élhetünk. Például a melegedés kezdőpillanatában a hősugárzásból és a hőátadásból származó tagok kiesnek, ekkor a  $T(t)$  függvény lineárisan közelíthető, ami azt jelenti, hogy mérve a hőmérsékletet az időben, a függvény kezdeti szakasza véges időtartamra a következő alakra egyszerűsödik:

$$(4.2)$$

amiből pl.  $A$ ,  $c$ ,  $m$  ismeretében  $\Delta T$ -t és  $\Delta t$ -t mérve  $S$  meghatározható.

A napsugárzás hatására melegedő golyó esetében a napállandó háromféleképpen is meghatározható:

- a  $T(t)$  függvény első szakaszát lineárisnak tekintve (ezzel közelítve a  $t=0$  időpontban a függvény érintőjét) az egyenes meredekségéből, ekkor ugyanis igaz

$$\text{—} \quad (4.3)$$

ahol  $S$  a napállandó,  $D$  a fémgolyó átmérője,  $c$  a fajhője,  $m$  a tömege, valamint  $\Delta T$  és  $\Delta t$  mérhető. Az egyenlet átalakításával  $S$  értéke adódik.

- az egyensúlyi hőmérséklet kialakulásakor viszont a hőátadásból, illetve hősugárzásból származó tagok nagyságrendje ismeretlen, ezért összehasonlító mérés szükséges, a napállandó standard mérése pont ezt használja ki [JAR2, 2003] a 4.1 egyenletből következően

$$\text{---} \quad (4.4)$$

ahol  $P_{\text{fűtés}}$  az elektromos fűtés teljesítménye, illetve  $T_{\text{max}}$  a golyó maximális (egyensúlyi) hőmérséklete és  $T_{\text{körny}}$  a környezet hőmérséklete

- a rézgolyó árnyékban történő hűlése hasonlóan lineárisan közelíthető mint az első szakasz, amiből  $S$  szintén megadható.

Az alábbiakban egy kevésbé ismert, de ugyanazzal a differenciál-egyenlettel leírható esettel foglalkozom.

### *Napsütő vizsgálata*

Az energetika témakörében a napenergia – elsősorban középiskolai – felhasználási lehetőségeivel foglalkoztunk. Ennek kapcsán diákjaim két eszközt készítettek: az ún. napsütőt és a napenergiás aszalót. Mindkét esetben azt tűztük ki célul, hogy a rendelkezésre álló (olcsó, illetve hulladék) anyagok felhasználásával megkeressük a berendezés optimális működéséhez szükséges paramétereket. A napsütőnek több fajtája is létezik, mi az ún. doboz típusú készítettük el (4.2. kép), amely két egymásba illeszthető papírszigeteléssel ellátott kartondobozból, egy fényáteresztő „fóliaablakból” és fényvisszaverő alufóliából áll.



**4.2. kép A kész napsütő**

A doboz belsejét nem béleltük ki fekete matt kartonnal (4.3. kép), ami nyilván segítette volna a benne levő levegő felmelegítését, de a szabadban történt mérések alkalmával így is 70°C körüli hőmérsékletet sikerült elérni (4.4. kép).

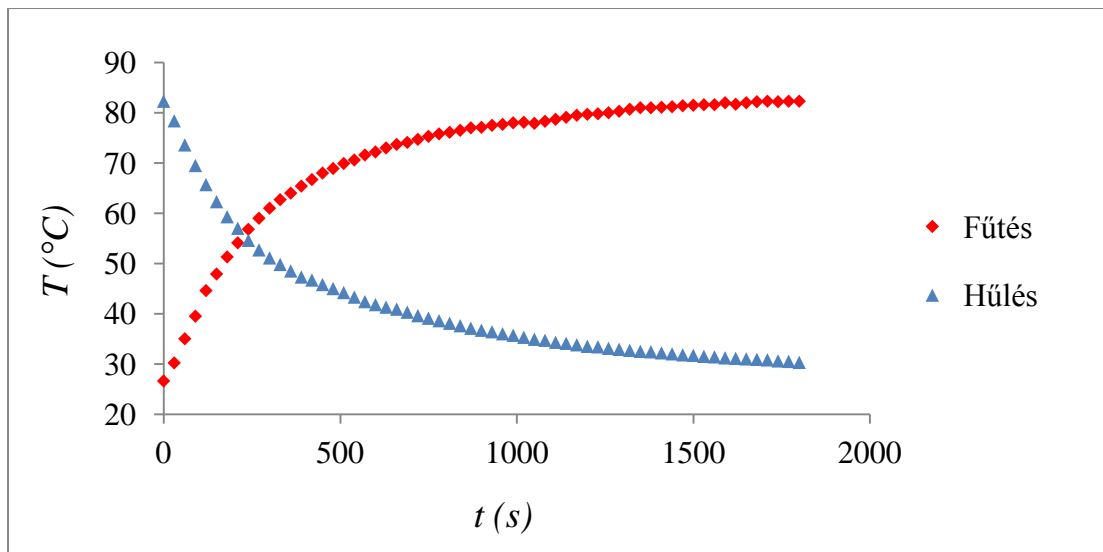


4.3. kép Szakkörös diákok a napsütő készítése közben



4.4. kép Hőmérséklet mérése a napsütő belsejében

A mérések reprodukálhatósága érdekében tantermi körülmények között a napsugárzást egy  $300\text{ W}$  teljesítményű reflektorral szimuláltuk úgy, hogy a reflektor teljes egészében a napsütőt világítsa meg. Digitális hőmérővel mértük a doboz belsejében a hőmérsékletet a szobahőmérsékletről történő felmelegedés, majd az egyensúly elérése után a hűlés szakaszában is. A mérési eredményeket a 4.1. ábra foglalja össze. Mindkét függvény (a fűtési szakaszt pirossal, a hűlési szakaszt kézzel jelöltem) jellegzetes exponenciális alakú.



4.2. ábra A napsütő melegedési és hűlési szakaszában mért hőmérséklet-idő függvény

Az általános 4.1 egyenlet felírásánál ebben az esetben a hőszugárzásból származó tagokat hanyagoljuk el (a mérési eredmények kiértékelése után diszkutáljuk ezt a lépést). Így a napsütő működésének fizikáját a következő egyenletek segítségével foglalhatjuk össze. A napsütő energiamérlegét a fűtési (4.5), illetve hűlési szakaszban (4.6) felírhatjuk:

—

(4.5)

—

(4.6)



ahol  $S$  a fényforrás teljesítménye,  $C$  a sütő hőkapacitása,  $V$  az ún. veszteségi tényező. (Megj.: feltételeztük, hogy a veszteség arányos a sütő pillanatnyi belső hőmérséklete és a környezet hőmérséklete különbségével. Ez a modell középiskolában megérthető, hiszen az egyenletek hasonlítanak a közegellenállásos szabadeséshez, a jelenség lényegi vonásait pedig visszaadja még egy 9. osztályosnak is.) Az (4.5) és (4.6) egyenletekből  $V/C$  meghatározható, ugyanis az egyenletek megoldásában a mért mennyiségeken kívül csak a  $V/C$  hányados szerepel. Ezt számítógépes kiértékeléssel kiszámíthatjuk, hiszen a megoldásként adódó 4.7, 4.8 egyenleteket

$$\text{---} \quad (4.7), \quad \text{---} \quad (4.8)$$

linearizálva rendre a következőket kapjuk:

$$\text{---} \quad (4.9)$$

illetve

$$\text{---} \quad (4.10)$$

Ezeket ábrázolva a meredekség  $V/C$  értékét adja mindkét esetben, ami a mérési eredményekből ( $T_{körny}=26,6\text{ °C}$ ,  $T_{max}=82,3\text{ °C}$ ) rendre (4.9) alapján:

$$\text{---} \quad \text{---}$$

míg (4.10) alapján

$$\text{---} \quad \text{---}$$

értékűnek adódott. Ezen két érték különbsége mutatja a meghatározás bizonytalanságát.

A melegítési szakaszt vizsgálva pedig (1) alapján a konstans hőmérséklet beállta után mondhatjuk:

$$(4.11),$$

amelyből  $S$  ismeretében  $V$  megadható. Amennyiben  $S=300W$ , úgy  $V\approx 5,4W/°C$ , így  $C\approx 2100J/°C$ . Ebből a napsütő hatásfoka is definiálható, ha hasznos energiaváltozásként a napsütő levegőjének melegedéséhez szükséges energiaváltozást vesszük.

Így a napsütő hatásfoka:

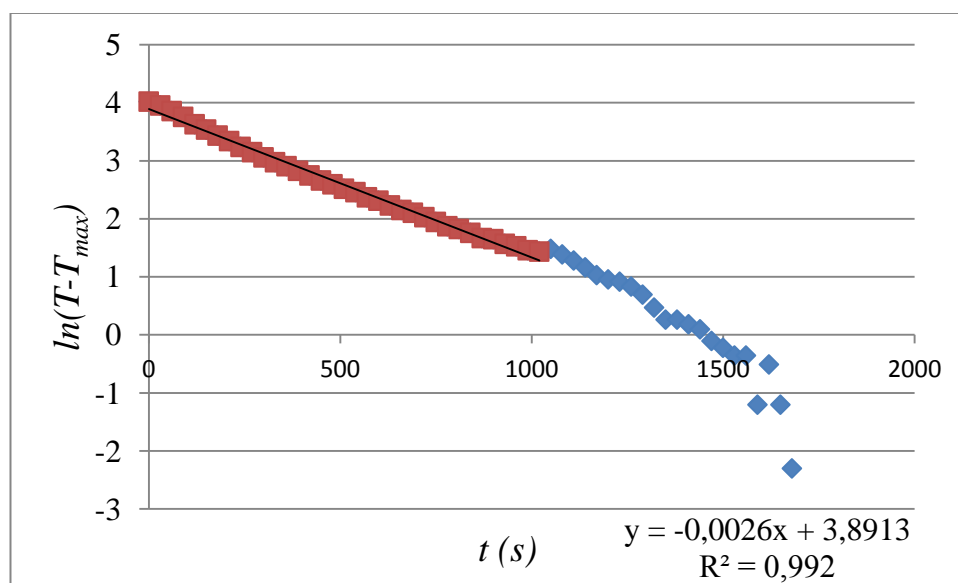
$$\text{---} \quad \text{---} \quad (4.12)$$

A hatásfok értéke a melegítési időtartamtól függ, a számolásnál a maximális hőmérséklet hibahatáron belüli megközelítésének idejét ( $1800s$ ) vettem.

A napsütő energiámérlegének fölrásakor elhanyagoltuk a hősugárzásból származó tagokat. Az eredmények ismeretében ezt két dolog is indokolja:

- a hőátadásból származó taghoz  $\{V \cdot (T_{max} - T_{körny}) = 5,4 \text{ W/}^\circ\text{C} \cdot 55,7 \text{ }^\circ\text{C} = 300 \text{ W}\}$  képest a hősugárzást leíró tag  $\{5,57 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \cdot 1/16 \text{ m}^2 \cdot ((350 \text{ K})^4 - (300 \text{ K})^4) = 28 \text{ W}\}$  egy nagyságrenddel kisebb (felületként a doboz átlátszó fóliájának A4 méretét vettem, hiszen a doboz többi része hőszigetelt volt)

- a differenciálegyenlet exponenciális függvényként adódó megoldása illeszkedik a mért adatsorra: az  $\ln(T - T_{max}) - t$  függvény adott tartományban valóban egyenes



4.2. ábra A napsütő melegedési görbéjéből képzett  $\ln(T - T_{max}) - t$  függvény

#### 4.2.3 Napenergia modul

A szakköri tevékenység alapján összeállítottam egy napenergiával kapcsolatos modult, amelynek egyes elemei az oktatás több szintjén is használhatóak: alapórán, emelt szinten illetve szakköri anyagként. Tapasztalataim alapján ez a tananyag alapszinten a középiskola 10. évfolyamán (a csoport előzetes tudása és létszáma függvényében) 5-6 tanóra felhasználásával teljesíthető. A fontosabb alapfogalmak bevezetését frontális munkaszervezéssel célszerű megoldani (a sok új ismeretlen fogalom miatt), a jelenségekkel, eszközökkel kapcsolatos ismeretanyag átadását pedig feladatlap segítségével, vagy csoportmunkában lehet szervezni. Én ez utóbbit választottam a szakkörön, később pedig tananyagként néhány tanulócsoporthoz a tanórákon (alapszint) is kipróbáltam. Ennek összefoglalása látható a 4.2. táblázatban, melyben az alapszintű csoporthoz óraszámot is rendeltem, a szakköri anyaghoz pedig a kötetlenebb időkeret miatt nem (emelt szintű csoportban ebben a formában nem próbáltam ki a tananyagot). A napsugárzás minőségi és

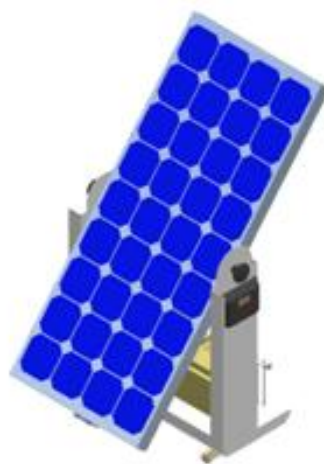
mennyiségi jellemzése kapcsán értelmezhető a Nap sugárzási spektruma: alapszinten csak annyit érdemes elmondani a tanulóknak, hogy a különböző színű (akár látható, akár nem) tartományokhoz a spektrumban (aminek látható tartománya tanulmányozható kézi spektroszkóppal) különböző energia is tartozik, és az egyes komponensek aránya függ a sugárzó test hőmérsékletétől. A napsugárzás energiájának nagyságrendje a Föld felszínén érdekes elsősorban, ami változik a földrajzi hellyel és függ a mérés időpontjától is. A villamosenergia-termelési technológiák közül érdemes megismerni a naperőművek típusaival, melyekben értelmezhetőek az energiaátalakulási folyamatok (pl. napkémény). Emelt szinten (illetve szakkörön) az alapfogalmak átisméltése (bevezetése) mellett érdemes bemutatni a diákoknak a napsugárzás mennyiségének mérésére szolgáló eszközök valamelyikét (mi Lux-mérővel rendelkezünk), és röviden ismertetni annak működési elvét (mit is mér valójában). Ezen a szinten számításokat is végezhetünk, pl. megbecsülhető a feketetest sugárzás törvényeinek segítségével a Föld felszíni hőmérsékletének ismeretében a Nap felszíni hőmérséklete. Ez alapján természetesen a Naprendszer többi Föld-típusú bolygójának hőmérséklete is megbecsülhető, mely adatok összevethetőek irodalmi adatokkal, amiből a tanulók az üvegházhatás jelentőségére tudnak következtetni. Az üvegházhatás kvalitatív értelmezéséhez egyszerű kísérletet is végezhetünk: világítsunk meg matt feketére festett fémgolyót, majd ismételjük meg a mérést úgy, hogy a melegítendő testet gömblombik belsejébe helyezzük. A napállandó mérést, a napsütő, a napkollektor és a napenergiás aszaló működésének vizsgálatát már részletesen a 2. fejezetben, illetve a 4.2.2 pontban tárgyaltam. Ezeket túl kiemelek a modulból két (fizikai és technikai szempontból is) igen hasznos tevékenységet, mégpedig a napkollektor méretezésének kérdését, és a napelem működésének vizsgálatát. Az előbbihez egy egyszerű szoftver is vásárolható (én magam 5000 Ft-ért jutottam hozzá a cég honlapján /[www.naplopo.hu/](http://www.naplopo.hu/) keresztül), amely minden lényeges kérdést tárgyal egy – akár az iskolába – felszerelendő napkollektorral kapcsolatban (pl. mekkora a napi melegvíz-fogyasztás, milyen tájolású tetőre tudjuk felszerelni). A szakkör tagjai végigjárták egy képzeletbeli beruházás tervezését, melynek során a cél a testnevelés öltözők melegvíz-ellátásának megoldása volt gimnáziumunkban (akkor ezt megvalósítható ötletként az iskolavezetésnek is fölvettem, de sajnos még nem valósult meg).

<i>Témakör</i>	<i>Alapszint</i>	<i>Emelt szint/szakkör</i>
<i>Bevezetés A Nap spektruma</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A napsugárzás minőségi és mennyiségi jellemzői (eloszlása a Föld felszínén)</li> <li>A sugárzás energiájának hasznosítása erőművek szintjén <b>(1 óra)</b></li> <li>Az elvégzendő vizsgálatok bemutatása és a csoportok beosztása <b>(1 óra)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alapfogalmak áttekintése (<math>c</math>, <math>f</math>, <math>\lambda</math>), spektrum, fekete test sugárzása, kézi spektroszkóp, Lux-mérő működése</li> <li>A Nap felszíni hőmérsékletének becslése a Stefan-Boltzmann törvény segítségével</li> <li>Fény-anyag kölcsönhatása</li> </ul>
<i>Napállandó</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Az elektromágneses sugárzás melegítő hatásának kimutatása: kísérlet izzóval megvilágított fémgolyóval <b>(1 óra)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modell kísérlet, számítás (emelt szintű érettségi lásd 4.2.2)</li> <li>Napállandó mérése különböző napszakokban, évszakokban</li> </ul>
<i>Napsütő</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Napsütő működésének vizsgálata kvalitatív szinten (T-t függvény felvétele) <b>(0,5 óra, bontva a következővel)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Napsütő készítése</li> <li>Mérések (lásd 5.2.4)</li> </ul>
<i>Napkollektor vizsgálata</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Működés megértése kvalitatív módon (üvegházhatás értelmezése) <b>(0,5 óra)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tervezés a Naplopó szoftverével</li> <li>Napkollektor (vagy ún. sörkollektor) készítése</li> <li>Mérések (lásd 2.2.1)</li> </ul>
<i>Napenergiás aszaló</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Működés megértése kvalitatív szinten (lásd 2. fejezet) ábra segítségével</li> <li>A hatásfok értelmezése <b>(1 óra)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Az aszaló hatásfokának meghatározása</li> <li>Összehasonlítás az elektromos aszalóval</li> </ul>
<i>Napelem cella</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>U-I karakterisztika mérése különböző terhelés esetén <b>(1 óra)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>P-R karakterisztika</li> <li>A jellemző függvények változása a megvilágítás, illetve dőlésszög függvényében</li> </ul>

4.2. táblázat A napenergia modul tevékenységei különböző szinteken az ajánlott szakirodalom feltüntetésével

A napelemmel kapcsolatos mérés többször megjelent az emelt szintű szóbeli mérések között. Ehhez pályázati keretből vásároltam egy napelem-panelt, egy töltésszabályzót és egy akkumulátort. A napelemet egy helyi cég segítségével olyan egyedi tervezésű állványra szereltem, amely alkalmas a panel dőlésszögének változtatására, továbbá az eszköz az akkumulátorral együtt bármelyik tanterembe könnyen szállítható (4.4. kép, a műszaki tervrajz

a 8. számú mellékletben látható). A diákok számára azért is érdekes ez az összeállítás, mert a valóságban találkozhatnak olyan berendezéssel, amelyet a lakóházakra is felszerelnek. Tantermi mérésként reflektorral világíthatjuk meg a panelt, melynek kimérhető a feszültség-áramerősség és a teljesítmény-terhelő ellenállás karakterisztikája, amit a továbbtanulni szándékozó diákoktól a felvételi rendszer elvár. Az eszközt néhány éve alapórán, emelt szintű csoportban és szakkörön is használom.



#### 4.4. kép Oktatási célra kialakított napelem-panel, töltésszabályzó és akkumulátor rendszer

Az oktatási gyakorlatban így valósul meg az energiafogalom szintézise a diákok gondolkodásában, hiszen a foton energiájától eljutnak a gyümölcsök víztartalmának csökkentéséig, illetve a villamosenergia-termelésig, képessé válnak összekötni ezeket a folyamatokat egységes rendszerbe.

#### 4.2.4 Szakköri együttműködések

A hazai középiskolai természettudományos oktatáshoz kapcsolódóan számos diákkonferencia zajlik minden évben. Ezek alapvetően azokat a tehetségeket tudják megszólítani, akik rendelkeznek egy többlet motivációval, ti. hogy megmérettessék magukat egy hasonló érdeklődésű fiatalokat felvonultató mezőnyben. Természetesen számos előnye van ezeknek a rendezvényeknek (pl. figyelemfelhívás, a tudományos kutatás elsajátításának első lépései stb.), de van azonban néhány hiányossága is. Ugyanis nem minden tanuló képes (bár a tudása megvan, de nem szeretne kiállni pl. egy zsűri elé, ráadásul a gimnazisták életkori sajátosságai ezt felerősítik) nekivágni egy ilyen versenynek, illetve a résztvevők nem feltétlen profitálnak megfelelően egy ilyen lehetőségből, ugyanis általában kevés alkalom van az igazi szakmai

eszmecserére, a diákok beszélgetéseire, amikor az ötleteiket, kudarcaikat oszthatják meg egymással, esetleg más – szakmailag felkészült – tanárral.

Ebből az ötletből született meg a 2010-ben megrendezett *Környezetfizikai nap* (a bp-i Berzsényi, a szekszárdi Garay és a tatai Eötvös szakköreinek tapasztalatcseréje, valamint szakmai előadások: dr. Horváth Ákos, dr. Jánosi Imre, dr. Pálffy Miklós), 2011-ben pedig a *TT Tehetségnap* (iskolánk természettudományi és matematika szakköröseinek bemutatója, és egykori diákok, jelenlegi kutatók előadásai), amelyek alkalmával tematikusan jártuk be a fizika választott területeit.



4.5. kép A Környezetfizikai nap előadásaira közel 200 diák volt kíváncsi



4.6. kép Bemutató a délutáni szakköri találkozón

A Környezetfizikai nap első részében (4.5. kép) lehetőséget adtunk a nagyközönségnek (közel 200 fő, elsősorban a tatai Eötvös József Gimnázium tanulói), hogy tájékozódjon három témában („A napenergia hasznosítása napelemekkel”, „Perspektívák az alternatív energiák felhasználása terén”, illetve „Mi az igazság? Globális klímaváltozás a közelmúlt botrányainak tükrében”). A délután folyamán pedig kötetlen formában a résztvevő partneriskolák csoportjai mutatkoztak be egymásnak (4.6. kép). A szekszárdiak elsősorban csillagászati témákkal készültek (bár foglalkoztak légköroptikai jelenségekkel is), a budapestiek a kaotikus jelenségek tárgyalásából adtak ízelítőt, a tataiak pedig a forgókádas kísérleteket, a napenergiás aszalót és a Foucault-ingát mutatták be. A program sikerét mutatja, hogy a három csoport még két alkalommal találkozott a másik két intézmény vendéglátásában, mely alkalmakat nagy várakozás előzte meg. Biztos vagyok abban (Baranyai Klára /Berzsényi gimnázium/ és Ságodi Ibolya /Garay gimnázium/ kolléganőkkel együtt), hogy az ilyen típusú szakmai kapcsolatok építése és működtetése a megfelelő terep a diákok számára, ahol mindenképpen pozitív megerősítést és könnyen elleshető jó ötleteket kaphatnak egymástól, miközben fejlesztik kommunikációs képességeiket is. A részletes tatai program a 9. számú mellékletben található.

### **4.3 Tehetséggondozó verseny**

#### *Az Országos Öveges József Emlékverseny fizika feladatainak környezetfizikai vonatkozásai*

Öveges tanár úr emlékének tisztelegve 1980-ban iskolánk emlékversenyt indított útjára kilencedikes és tízedikes diákok számára. A ma is népszerű és országosan elismert versenyen matematika- és fizikatudásukat mérhetik össze a tehetséges és fölkészült tanulók. A feladatsorok összeállítását gimnáziumunk matematika, illetve fizika munkaközösségei végzik. Az utóbbi években nagy hangsúlyt fektettünk arra, hogy a feladatsorban helyet kapjon egy környezeti probléma, elsősorban energetika témában [[www.eotvos-tata.sulinet.hu](http://www.eotvos-tata.sulinet.hu)].

Az eddigi témák a következők voltak:

- *alumínium dobozok gyártása és a szükséges energia (2004., 1. feladat)*
- *autók fogyasztása (2005., 2. feladat)*
- *lakások hőszigetelése (2005., 3.)*
- *kondenzációs kazán (2007., 3.)*
- *napkollektoros vízmelegítés az iskolában (2008., 3.)*
- *napsütő működése (2009., 3.)*
- *főzés bográcsban és elektromos főzőlapon (2010., 1.)*
- *szélerőmű, Betz limit (2012., 2.)*
- *árufuvarozás vízen, szárazföldön, levegőben (2012., 3.)*
- *Forma-1 autók fogyasztása (2013., 1.)*
- *a fűn fizikája (2013., 3.)*

Látható, hogy változatos témák kerültek elő annak ellenére, hogy a versenyző évfolyamok előzetes tudása nem enged meg tetszőleges feladatot egy három feladatból álló feladatsor esetén. A feladatok javításakor két fontos tapasztalatot fogalmaztuk meg a kollégákkal: egyrészt a környezetfizikai problémák a hosszabb megfogalmazás (több új háttérismeretet is le kellett írni) miatt sokakat elrettentenek a megoldástól, másrészt a felkészültebbek jól tudják működtetni (a legtöbb esetben volt több hibátlan megoldás) a problémamegoldó képességüket egy ilyen nem hagyományos feladat esetén. Érdekes elemzést lehetne végezni a részletes eredmények felhasználásával, ti. hogy a többi feladat megoldottságához képest hogyan alakul a környezetfizikai feladatok megoldásának sikeressége. Azonban ez meghaladja a jelen dolgozat kereteit.

Az azonban fontos kérdés, hogy mi indokolja a feladatkészítő munkaközösség témaválasztását. Elsősorban az a tény, hogy Öveges József szellemi örökségét egy olyan fizikaverseny képviselheti méltóan és színvonalasan, amelyben hétköznapi és egyben interdiszciplináris problémák fogalmazódnak meg. Szem előtt kell tartanunk közben azt a tényt, hogy a verseny tradicionálisan a gimnáziumi korosztály első és második évfolyamát célozza meg úgy, hogy minden résztvevő – évfolyamától függetlenül – ugyanazt a feladatsort írja meg. Tehát alapvetően leszűkül a témaválasztás lehetősége (elsősorban a mechanikára), vagy általános iskolában előkerülő problémákat választunk megoldandó feladatként. Miután a fizikának ezek a területei meglehetősen sok feladatgyűjteményben helyet kapnak (néhány kiadvány gyakorlatilag már csak ismételni tud), ezért úgy döntöttünk az utóbbi években, hogy minden feladatsorba egy-egy környezetfizikához köthető jelenséget fogalmazzunk meg, ami azzal az előnnyel is jár, hogy a feladat szövegének értelmezése válik igazi kihívássá a versenyzők számára. Így egyszerűbb hőtani, energetikai, mechanikai ismeretekkel is érdekes, ugyanakkor komoly nehézségű feladatot készíthetünk. A legtöbb esetben valamely aktuális hétköznapi témához kapcsolódunk, így kapott helyet közlekedéshez, villamosenergia-termeléshez, napenergiához, vagy akár szélenergiahoz köthető feladat. A versenyen sikeres tanulók a fizikában tehetségesek típusai közül (4.1. táblázat) a matematikai képességükkel és gondolkodás módjukkal tűnnek ki, különös tekintettel számolási készségükre, a logikus gondolkodásukra, intuíciójukra, konvergens gondolkodásukra, lényeglátásukra.



## 5. ÖSSZEGZÉS

Ahogy a tudományegyetemek képzési rendszerében megjelent az utóbbi években a környezetfizika területe, úgy a középiskolai fizikaoktatásban is szükséges a tananyag hangsúlyainak ennek megfelelő modernizálása, átrendezése. Az új kerettantervekben megjelennek ugyan a környezetfizika elemei, a konkrét gyakorlati alkalmazáshoz – a csekély hazai tapasztalat miatt – azonban szükséges egy jól használható tanári segédanyag. Ehhez kidolgoztam és kipróbáltam egy tanítható tematikát a környezetfizika két területéhez kapcsolódóan. Részletesen körüljártam a napenergia tanításának, illetve a környezeti áramlások tárgykörének tanítási lehetőségeit a középiskolában.

Értekezésemben elemeztem az energia fogalmi megértésének hiányosságait. A probléma megoldását az energia fogalmának szintézisében látom, amelyet a gyakorlatban a napenergiás aszaló berendezéshez kapcsolódó folyamatok elemzésével valósítottam meg.

Megmutattam, hogy egy saját készítésű eszköz (az aszaló) mennyiben segíti a fizika tanítását a diákok motiválása, komplex látásmódjának fejlesztése kapcsán.

Méréseket végeztem az aszaló működését jellemző fizikai mennyiségek meghatározására, valamint kísérletileg megvizsgáltam az aszalás folyamán a gyümölcsökben lezajló összetett párolgási folyamat egyes tulajdonságait.

Kidolgoztam a Coriolis-hatás csekély matematikai előzetes tudást igénylő bevezetését. Ezáltal a Föld forgása miatti légköri jelenségeket a földrajz órákon is fizikai igényességgel lehet tanítani.

A Foucault-inga numerikus szimulációjával a középiskolások számára könnyen használható szakmódszertani eszközt fejlesztettem, ami a környezetfizikai jelenségek értelmezésekor használatos Rossby-szám jelentésének megértését teszi lehetővé fizika szakkörön.

Külön fejezetet szenteltem a környezetfizikai tehetséggondozó szakkör szervezési és tartalmi elemeinek bemutatására. A napenergia összehangolt oktatására kidolgoztam egy tevékenységekre épülő keretprogramot, ami a kötelező órák több szintjén és a tehetséggondozásban is alkalmazható.

Számomra az eszközkészítés lehetőségét, módszertani fejlődést és a diákok számára is izgalmas projektek kitalálását adta a megvalósított program. A diákok pedig a tananyagon túlmutató ismeretekkel gazdagodtak, és megtapasztalhatták a tudományos megismerés folyamatát és örömét.

Doktori munkám legfontosabb eredménye, hogy megmutattam: érdemes környezetfizikával foglalkozni a középiskolában is, hiszen komplex módon tárgyal modern témákat, miközben növeli a diákok motivációját a fizikai jelenségek megismeréséhez.

## ***SUMMARY***

As the environmental physics has been involved into the curriculum of the science universities, there is a need in high school teaching to develop new curricula. In the new curriculum initiative in Hungary there are the elements of environmental physics, but the detailed practical and usable curricula are to be developed in details.

In my graduate studies I developed and used a teachable, new curriculum for high school students corresponding to two parts of the field of environmental physics: “solar energy” and “environmental flow”.

I analyzed the understanding of the concept of energy among high school students, and pointed out its shortcomings. The solution, in my opinion, is teaching the synthesis of the energy concept. I developed a detailed syllabus to investigate and teach the energy transfer processes using a solar dryer that gives a good possibility to accomplish the synthesis of the concept of energy. This is an output of a long term experience on extracurricular classes that I carried out in the topic of environmental physics for inquiring students. I demonstrated that how a homemade device (the dryer) can help the teaching challenges in physics, how it can help to motivate students, and can develop their complex picture on physics and nature. We carried out measurements to determine the main properties of the dryer and we experimentally investigated some aspects of the difficult evaporation processes that takes place in the fruits during a drying process.

I developed a syllabus for teaching Coriolis-effect based on a very limited mathematical knowledge that can be understandable for student with wide range of interest. Using this method several phenomena in our atmosphere can be taught in geography classes meeting the condition of good standards of physics.

I developed a software that usable to demonstrate the motion of the Foucault pendulum and I integrated its usage to the curriculum of the environmental physics extracurricular class. This makes the Rossby number possible to understand via practical experience (output of the software) of the students.

A chapter describes the organizing work and the curricular parts of an optional extracurricular class in environmental physics. The main aim of this teaching was to teach the talented students using non regular methods. I developed a harmonized syllabus for teaching solar energy at several level (basic, advanced and talents) of high school teaching.

The main result of my work was the demonstration of usability of new methods in teaching environmental physics phenomena in solving the current challenges of physics teaching.

## ***IRODALOMJEGYZÉK***

- [**AKP, 2005**] Akpinar, Mathematical modelling of the thin layer drying process under open sun of some aromatic plants, *Journal of Food Engineering* 77 (2006) 864–870
- [**ARD, 2003**] Arday I. et al., Földrajz I., Műszaki Könyvkiadó, Budapest (2003), ISBN 9631627543
- [**BAR, 2009**] Baranyai Klára Földrajzi helymeghatározás a Nap segítségével, *Fizikai Szemle* (2009), LIX. Évf., 4.sz., p. 147.
- [**BAY, 2002**] Reinhard Bayer et al., *Impulse Physik 2*, Klett, Stuttgart (2002), pp. 307-317, ISBN 3127725000
- [**BRE, 2003**] Wilhelm Bredthauer et al., *Impulse Physik 1*, Klett, Stuttgart (2002), pp. 289-309, ISBN 3127723008
- [**BUD, 1978**] Budó Ágoston, *Kísérleti Fizika I.*, Tankönyvkiadó, Budapest (1978), ISBN 9631729605
- [**CSA, 2009**] Csajági S. és Fülöp F., *Fizika 9.*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2009), ISBN 9789631959925
- [**CSIG, 2012**] Csigér István et al., *Biológia 11.*, Maxim Könyvkiadó, Szeged (2012), ISBN 9789639489745
- [**DÉG, 2012**] Dégen Csaba et al., *Fizika 11.*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2012), ISBN 9789631962680
- [**DIA, 1993**] Diamante és Munro, Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices, *Solar Energy Vol. 51* (1993), No. 4, pp. 271-276
- [**DUD, 2012**] Dudás Edit et al., És mégis forog a Föld? Tévképezetek a földrajzban, A földrajz tanítása, Mozaik Kiadó, Szeged (2012), XX: évf., 3. sz., pp.8-20.
- [**FAR, 2010**] Farkas Zs. És Molnár M., *Fizika 10.*, Maxim Könyvkiadó, Szeged (2010), ISBN 9789632610122
- [**FAZ, 2005**] Fazekas András István, Villamosenergia-termelési technológiák jellemzői, MAFE, Budapest (2005), p.33., ISBN 9632188004
- [**FAZ2, 2005**] Fazekas András István, Villamosenergia-termelési technológiák jellemzői MAFE, Budapest (2005), pp. 44-47., ISBN 9632188004
- [**FEY, 2000**] Richard Feynmann, Hat könnyed előadás, Park-Akkord Kiadó (2000), p.89., ISBN 9635305818
- [**FOD, 2006**] Eben Fodor, *The Solar food dryer*, New Society Publishers, Canada (2006), ISBN 9780865715448
- [**FOU**] Foucault's Pendulum and the Coriolis Force, <http://geosci.uchicago.edu/~nnn/LAB/DEMOS/coriolis.html>
- [**GYA, 2006**] Gyarmati Csaba, Gyorsan bemutatható Foucault-inga kísérlet, *Fizikai Szemle* (2006), LVI. Évf., 10.sz., pp. 350-352.
- [**GYÜ, 2006**] Gyüre Balázs et al., Környezeti áramlások - szemelvények a Kármán laboratórium kísérleteiből 1.rész, *Légekör*, Budapest (2006), 1. sz.
- [**HAL, 2002**] Halász Tibor, *Fizika 9, Mozgások Energiaváltozások*, Mozaik Kiadó, Szeged (2002), ISBN 9636973326

- [**HAL, 2005**] Halász Tibor et al., Fizika 11., Mozaik Kiadó, Szeged (2005), ISBN 9636974225
- [**HAL2, 2002**] Halász Tibor, Fizika 9., Mozaik Kiadó, Szeged (2002), p. 126., ISBN 9636973326
- [**HAL3, 2002**] Halász Tibor, Fizika 9., Mozaik Kiadó, Szeged (2002), p. 84., ISBN 9636973326
- [**HALÁ, 2006**] Halász Gábor, Tornádómodell kísérleti vizsgálata, Természet Világa, Budapest (2007), 10. sz.
- [**HRA, 2013**] Hraskó Péter, Elmélkedés a Coriolis- és a centrifugális erőről, Fizikai Szemle (2013), LXIII. Évf., 5.sz., p. 168.
- [**HUN**] Hunyadi László, Csillagászati és általános természeti földrajz, Calibra Kiadó, Budapest, ISBN 9636863105
- [**IMR, 1983**] Imre L. et al., Some aspects of the intermittent solar drying of lucerne Solar Drying and Rural Development, Int. Meeting, Bordeaux, France (1983), pp.93-103.
- [**JAL, 2012**] Jaloveczki J, „Fizikashow”, a fizika népszerűsítésének eszköze, Fizikai Szemle, (2012), LXII. Évf., 11. sz., pp. 388 -391.
- [**JAN, 2011**] Jankovics István, Ingakísérelt a szombathelyi székesegyházban, Természet Világa (2011), 142. évf., 3. sz.
- [**JÁN, 2012**] Jánosi I. és Tél T., Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába, ELTE TTK, Budapest (2006), elektronikus tananyag, [http://etananyag.ttk.elte.hu/FiLeS/downloads/EJ-Janosi-Tel\\_kornyaram.pdf](http://etananyag.ttk.elte.hu/FiLeS/downloads/EJ-Janosi-Tel_kornyaram.pdf)
- [**JAR, 2003**] Jarosievitz Beáta, A napállandó mérése Európában, Fizikai Szemle (2003), LIII. Évf., 7. sz., p. 257.
- [**JAR2, 2003**] Jarosievitz Beáta, A napállandó mérése, Fizikai Szemle (2003), LIII. Évf., 4. sz.,
- [**JEF**] Jeffrey J. McGovern, [http://www.cs.elte.hu/~ewkiss/education\\_hu.html](http://www.cs.elte.hu/~ewkiss/education_hu.html)
- [**JÓN, 2003**] Jónás Ilona et al., Földrajz 9., Mozaik Kiadó, Szeged (2003), ISBN 9636973342
- [**JUH, 2001**] Juhász et al., Fizikai kísérletek gyűjteménye 1., Archimedes BT., Budapest (2001)
- [**JUH, 2010**] szerk. Juhász A. és Tél T., Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen, ELTE Fizika Doktori Iskola, Budapest (2010), ISBN 9789632841502
- [**JUH, 2011**] Juhász A. és Nagy P., Természet tudomány tanítása korszerűen és vonzóan, Új utak keresése, Mit tudnak a középiskolások az energiáról? Egy felmérés eredményei ELTE TTK (2011), pp. 354-363.
- [**JUH, 2013**] szerk. Juhász A. és Tél T., A fizika, matematika és művészet találkozása az oktatásban, kutatásban, ELTE TTK, Budapest (2013), ISBN 9789632843469
- [**JUHÁ, 2008**] Juhász E. és Pongó V., Bádogdobozokból készült napkollektor működésének vizsgálata, ELTE TTK, Budapest (2006), Tudományos Diákköri Dolgozat
- [**JUR, 2009**] Jurisits J. és Szűcs J., Fizika 10., Mozaik Kiadó, Szeged (2009), ISBN 978 963 697 362 9

- [KIR, 2010] Kirsch Éva et al., A tehetséggondozás lehetőségei fizikából, Magyar Tehetségszolgáltató Szervezetek Szövetsége, Budapest (2010), pp. 54-60.
- [KIR2, 2010] Kirsch Éva et al., A tehetséggondozás lehetőségei fizikából, Magyar Tehetségszolgáltató Szervezetek Szövetsége, Budapest (2010), p 33.
- [MAG, 2003] Kerettanterv, Fizika, Magyar Közlöny, (2003), 43. évf. II. sz., pp. 281-287.
- [MAK, 2003] Makádi M. és Taraczközi A., A Föld, amelyen élünk, Természetföldrajz 9., Mozaik Kiadó, Szeged (2003)
- [MAK, 2011] Makádi M. és Horváth G., A földrajz és a természettudományok, Földrajzi Közlemények, Budapest (2011), 135.2. pp. 179-184.
- [MEZ, 2011] Mező Tamás et al., Fizika 11., Maxim Könyvkiadó, Szeged (2011), ISBN 9789632610948
- [MÓR, 1914] Móra Ferenc, Az energia megmaradás, Szegedi Napló (1914)
- [MTA, 2014] Magyar Tudományos Akadémia, Kerettanterv a gimnáziumok 9-12. évfolyama számára, Földrajz, [http://kerettanterv.ofi.hu/03\\_melleklet\\_9-12/index\\_4\\_gimn.html](http://kerettanterv.ofi.hu/03_melleklet_9-12/index_4_gimn.html)
- [MTA2,2014] Magyar Tudományos Akadémia, Kerettanterv a gimnáziumok 9-12. évfolyama számára, Fizika B változat, [http://kerettanterv.ofi.hu/03\\_melleklet\\_9-12/index\\_4\\_gimn.html](http://kerettanterv.ofi.hu/03_melleklet_9-12/index_4_gimn.html)
- [NAG, 2009] Nagy A. és Mező T., Fizika 9., Maxim Könyvkiadó, Szeged (2009), ISBN 9789632160115
- [NAG, 2010] Nagy Lászlóné, A kutatásalapú tanulás/tanítás és a természettudományok tanítása, Iskolakultúra, Veszprém (2010), 12. szám, pp.30-36
- [NAH, 2002] Nahalka István et al., A fizikatanítás pedagógiája, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2002), p. 34., p.140.
- [NAH2, 2002] Nahalka István et al., A fizikatanítás pedagógiája, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2002), p.166.
- [NAH3, 2002] Nahalka István et al., A fizikatanítás pedagógiája, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2002), p.130.
- [NEM, 2002] Nemerényi A. és Sárfalvi B., Általános természetföldrajz, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2002), ISBN 9631926974
- [OH, 2010]  
[http://www.oktatas.hu/pub\\_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/feladatok2010tavasz/e\\_fldr\\_10maj\\_fl.pdf](http://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/feladatok2010tavasz/e_fldr_10maj_fl.pdf) (7. oldal, 4. feladat)
- [OH, 2007] TIMSS felmérés,  
[www.oh.gov.hu/letolt/okev/doc/timms/timss\\_2007\\_osszefoglalo\\_jelentes.pdf](http://www.oh.gov.hu/letolt/okev/doc/timms/timss_2007_osszefoglalo_jelentes.pdf)
- [OH, 2012] Oktatási Hivatal, Részletes érettségivizsga-követelmények, Földrajz,  
[https://www.oktatas.hu/pub\\_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/vizsgakovetelmenyek2012/foldrajz\\_vk.pdf](https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/vizsgakovetelmenyek2012/foldrajz_vk.pdf)
- [OH2, 2012] Oktatási Hivatal, z Oktatási Hivatal által nyilvántartott kerettantervek,  
[http://www.oktatas.hu/pub\\_bin/dload/kozoktatas/kerettanterv/nyilvantartott\\_kerettantervek\\_OH.pdf](http://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/kerettanterv/nyilvantartott_kerettantervek_OH.pdf)
- [OH3, 2012]  
[http://www.oktatas.hu/pub\\_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/feladatok2012tavasz/kozep/k\\_fldrma\\_12maj\\_fl.pdf](http://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/feladatok2012tavasz/kozep/k_fldrma_12maj_fl.pdf) (II. vizsgarész 4. oldal, 4. feladat)

- [OH4] [http://www.oktatas.hu/koznevelas/erettsegi/feladatsorok\\_vizsgatargyankent/](http://www.oktatas.hu/koznevelas/erettsegi/feladatsorok_vizsgatargyankent/)
- [PÉC, 2002] Péczeli György, Éghajlattan, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2002), pp. 38-46., ISBN 9631939383
- [PÉC2, 2002] Péczeli György, Éghajlattan, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2002), p.33., ISBN 9631939383
- [PER, 2007] R. Perumal, Comparative performance of solar cabinet, vacuum assisted solar and open sun drying methods, Department of Bioresource Engineering, McGill University, Montreal, Canada (2007), A thesis submitted to McGill University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science
- [PÓD, 2010] Póda L. és Urbán J., Fizika 10., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2010), ISBN 9789631962642
- [RAD, 1993] Radnóti Katalin, Fizikai fogalmak használata a földrajz tanítása során, A Fizika Tanítása, MOZAIK Oktatási Stúdió, Szeged (1993), I. Évf. 4. sz., pp. 3-7.
- [RAD, 2008] Radnóti Katalin, Használjuk-e a centripetális erő fogalmát?, A Fizika Tanítása, MOZAIK Oktatási Stúdió, Szeged (2008), XVIII. Évfolyam 4. sz. pp. 8-13.
- [RAI, 1998] Rainer Götz, A fizikatanítás aktuális kérdései Németországban, Fizikai Szemle (1998), XLVIII. Évf., 8.sz.
- [REI, 1999] Reiman István, Geometria és határterületei, Szalay Könyvkiadó és Kereskedőház, Kisújszállás (1999), pp. 167-179., ISBN 9632370120
- [SAC, 2006] Sacilik et al., Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato, Journal of Food Engineering 73 (2006) 231–238
- [SER, 2000] Seres István et al., Szoláris szárító természetes konvekciójának vizsgálata, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás (2000) Nr. 24, 1.kötet p.169.
- [SIM, 1978] Simonyi Károly, A fizika kultúrtörténete, Gondolat Kiadó, Budapest (1978), p. 304., ISBN 9632806557
- [SIP, 2001] Siposné K. É. et al., Kémia 9., Általános és szerves kémia, Mozaik Kiadó, Szeged (2013), ISBN 9789636973162
- [SZA, 2009] Szabó Árpád, A fizikatanítás kialakulásáról, fejlődéséről és jelenlegi helyzetéről, Fizikai Szemle (2009), LIX.. Évf., 6.sz., p.217.
- [SZE, 2011] Szeidemann Á., Teaching facilities of solar energy in secondary schools, Physics Competitions (2011), Vol. 13, Nr. 1. , pp. 9-14.
- [SZE2, 2011] Szeidemann Á. és Beck R., A ciklonok szemléletes tanítása középiskolában, Tasnádi P. (szerk.), Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan, ELTE TTK, (2011), ISBN 9789632842240, p. 632.
- [SZE, 2013] Szeidemann Ákos, Fizika és földrajz határán – Tanítható-e a Coriolis-erő?, Fizikai Szemle (2013), LXIII. Évf., 10. sz. p. 352.
- [TAK, 2001] Takács Gábor, Természettudományos tévképzetek és a fizika tanítása, A fizika tanítása, MOZAIK Oktatási Stúdió, Szeged (2001) IX. évf., 4. sz., p.14.
- [TAS, 1984] Tasnádi Péter et al., A mozgások leírása gyorsuló koordinátarendszerben, Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1984), pp. 17-26. ISBN 9631059065
- [TAS, 2011] főszerk. Tasnádi Péter, Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan, ELTE TTK, Budapest (2011), ISBN 9789632842240



**[TÉL, 2003]** Tél Tamás, Környezeti áramlások, Kézirat, ELTE Elméleti Fizikai Tanszék, Budapest (2003)

**[TYU, 2009]** Tyukodi Botond, Párolgás pohárból, Babes-Bolyai Tudományegyetem Fizika Kar, Kolozsvár (2009), Tudományos Diákköri Dolgozat

## MELLÉKLETEK

### 1. számú melléklet

## Megbízás

Tisztelt Kutatócsoport!

Örömmel tájékoztatom Önöket, hogy a mai nappal érvénybe lép megbízásuk, és egyben jelen irat szerződésként is szolgál együttműködésünkhöz.

Az alábbiak figyelmes átolvasása után, kérem, kezdjék meg a munkát!

*Megbízó* vállalja, hogy - amennyiben *megbízott* precízen elvégzi feladatát - a projekt során megismerteti a kutatás fantasztikus élményével. Sikeres együttműködés esetén *megbízó* vállalja továbbá azt is, hogy a jövőben hasonló feladatokkal keresi meg *megbízottat*.

Jelen megbízás június 10-15. között érvényes.

*Megbízott* vállalja, hogy a projekt során készített felvételeket, illetve a megfelelően dokumentált kutatási eredményeket *megbízó* részére átadja és azokat további feldolgozásra bocsátja.

#### A kutatás célkitűzései:

- 🌐 Vizsgálják meg a napsugárzás különböző felületekről való visszaverődését! (spektrum, megvilágítás)
- 🌐 Vizsgálják a napsugárzás energiájának elnyelődését párolgás vizsgálatával!

#### A megvalósítandó program:

- 🌐 Különböző felületek (sárga, vörös, fekete, ezüstsínű) esetén vizsgálják kézi spektroszkóppal a színeképet, hasonlítsák össze a kapott eredményeket, és jegyezzék fel azokat a kutatási naplóba! Amennyiben lehetséges, adjanak magyarázatot a tapasztalatokra!
- 🌐 Az előző felületekkel vonjanak be (lehetőleg azonos módon) négy azonos méretű főzőpoharat, és töltsenek mindegyikbe azonos mennyiségű (és azonos hőmérsékletű) vizet. Helyezzék a mintákat a napsugárzás útjába, és mérjék a hőmérsékletüket az idő függvényében. A kapott eredményeket szintén jegyezzék föl! Magyarázzák a látottakat! A szükséges adatok begyűjtésével (mérés, függvénytáblázat) jellemezzék a folyamat energiaviszonyait (mire fordítódott a Nap energiája)! (Mit kell ehhez mérni, van-e elegendő adat, stb.?)

#### Felhasználható eszközök:

- 🌐 azonos méretű főzőpoharak (és víz)
- 🌐 színes kartonpapírok, alufólia
- 🌐 színszűrők (színes üvegek)
- 🌐 hőmérők
- 🌐 digitális mérleg (hosszabbítóval)
- 🌐 környezeti hatás mérő műszer (megvilágítás méréséhez – másik csoporttól kell beszerezni)

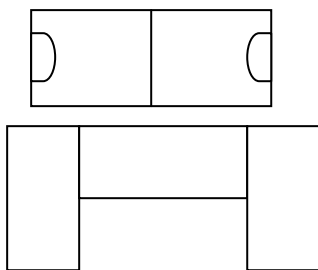

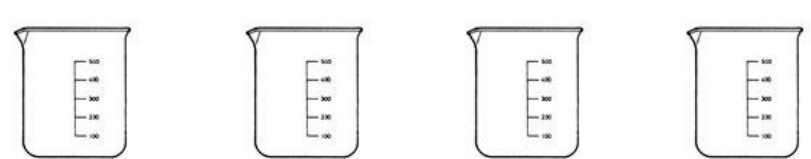
Ha vannak a kutatócsoportban a gyakorlati munkában kevésbé aktív tagok, vagy esetleg túlságosan gyorsan halad a kutatás, kérhetnek a kutatási időszakban további feladatot, melynek elvégzése a szakmai beszámoló elfogadását nagyban segíti majd.

Sikeres együttműködést, izgalmas percekét és jó munkát kívánok,

Sugár Gusztáv  
a Sol'a RT osztályvezetője

2. számú melléklet

## Kutatási napló

<b>A csoport neve:</b>											
<b>A csoport tagjai:</b>											
<b>A kutatómunka időpontja:</b>											
<b>A kutatás helye:</b>											
<b>Jelöljék az Északi irányt nyíllal!</b>											
<b>Időjárási viszonyok (a megfelelő bekarikázandó):</b>											
											
<b>Kijelölt kutatás: A napsugárzás visszaverődése és elnyelődése</b>											
<b>Kutatási eredmények</b>											
<b>1.</b>											
											
<b>2.</b>											
<div style="background-color: #e0e0e0; border: 1px solid #ccc; min-height: 300px;"> <!-- Grid area for notes --> </div>	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="height: 30px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 30px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 30px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 30px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 30px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 30px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 30px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 30px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 30px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 30px;"> </td></tr> </table>										

### 3. számú melléklet

A napenergiás kutatócsoport megbízója szeretne információkat gyűjteni szakembereinek felkészültségéről. Kérem, hogy ismereteit maximálisan fölhasználva adjon számot jelenlegi tudásáról, és oldja meg az alábbi tesztet! Lehetőleg rögtön (ne gondolkodjon sokat) jelölje meg az Ön szerinti helyes választ! Összesen 2 perc áll rendelkezésére. Jó munkát kívánok!

Napos Lajos

a Sol'a RT projektvezetője

- I. A napsugárzás intenzitását leggyakrabban az egy másodperc alatt a sugárzásra merőleges egységnyi felületre jutó energiával jellemzik. Melyik lehet az ennek megfelelő mértékegység?  
a.  $\text{kJ/m}^2$  b.  $\text{W/s}$  c.  $\text{J/s}$  d.  $\text{kW/m}^2$
- II. A napsugarak derékszögben érkeznek a Föld felszínére  
a. minden nap délben b. a nyári napfordulókor délben c. az Egyenlítőn minden délbend.  
az Egyenlítőn a napfordulókor délben
- III. A szakköri kutatócsoport által készített kollektorban akár  
a.  $50^\circ\text{C}$  b.  $60^\circ\text{C}$  c.  $70^\circ\text{C}$  d.  $80^\circ\text{C}$  is lehet
- IV. A megvilágítás mértékegysége a lux. Ha a mesterségesen megvilágított tanteremben kb. 500 lux mérhető, akkor egy napsütéses napon a szabadban (közvetlen természetes megvilágítás)  
a. 1000 lux b. 10000 lux c. 40000 lux d. több mint 40000 lux mérhető
- V. Télén azért van hidegebb a szabadban, mert  
a. messzebb van a Nap b. kisebb szögben érik a Földet a Nap sugarai c. rövidebbek a nappalok
- VI. A Napból kb. 8 óra alatt a Föld felszínére érkező energia  
a. nem számottevő b. fedezné a magyar lakosság egy éves energiafogyasztását  
c. fedezné az EU polgárainak egy havi energiaigényét d. fedezné a világ egy éves energiaigényét

### 4. számú melléklet

Amennyiben a színes (nem illékony komponens) kockák (14 db) százalékos aránya az összes kockák aktuális számához ( $N_{\text{összes}}$ ) képest túllépi a 25, 35, 45, 55, 65, illetve 75%-ot, akkor a „felszíni” kockák pótlásánál (amelyikkel hatost dobunk) színes kockát is kell használnunk, hogy a „felszínre” jellemző összetételi változó kövesse a teljes halmazra jellemző értéket.

Ez képletszerűen is megfogalmazható.

Ha

\_\_\_\_\_

amiből átrendezéssel adódik a használandó képlet:

\_\_\_\_\_

Ennek megfelelően a hatos dobással kikerülő kockák pótlásánál színes kockát is használnunk kell, azt követően, hogy az összes dobókockák száma 56, 40, 32, 26, 22, illetve 19 darabra csökken.

5. számú melléklet

dobásszám	$\Sigma N$	$N_{\text{felületi színes}}$	$N_{\text{felületi fehér}}$	$\Sigma N_{\text{fehér}}$	teljes %	felületi %
0	70	2	8	56	20,00	20
1	68	2	8	54	20,59	20
2	67	2	8	53	20,90	20
3	65	2	8	51	21,54	20
4	63	2	8	49	22,22	20
5	60	2	8	46	23,33	20
6	59	2	8	45	23,73	20
7	57	2	8	43	24,56	20
8	54	3	7	40	25,93	30
9	52	3	7	38	26,92	30
10	49	3	7	35	28,57	30
11	48	3	7	34	29,17	30
12	48	3	7	34	29,17	30
13	47	3	7	33	29,79	30
14	46	3	7	32	30,43	30
15	44	3	7	30	31,82	30
16	43	3	7	29	32,56	30
17	42	3	7	28	33,33	30
18	41	3	7	27	34,15	30
19	41	3	7	27	34,15	30
20	40	3	7	26	35,00	30
21	40	3	7	26	35,00	30
22	38	4	6	24	36,84	40
23	38	4	6	24	36,84	40
24	37	4	6	23	37,84	40
25	35	4	6	21	40,00	40
26	35	4	6	21	40,00	40
27	32	4	6	18	43,75	40
28	31	5	5	17	45,16	50
29	30	5	5	16	46,67	50
30	30	5	5	16	46,67	50
31	29	5	5	15	48,28	50
32	28	5	5	14	50,00	50
33	27	5	5	13	51,85	50
34	26	5	5	12	53,85	50
35	24	6	4	10	58,33	60
36	24	6	4	10	58,33	60

37	24	6	4	10	58,33	60
38	23	6	4	9	60,87	60
39	23	6	4	9	60,87	60
40	23	6	4	9	60,87	60
41	22	6	4	8	63,64	60
42	22	6	4	8	63,64	60
43	22	6	4	8	63,64	60
44	22	6	4	8	63,64	60
45	22	6	4	8	63,64	60
46	21	7	3	7	66,67	70
47	20	7	3	6	70,00	70
48	20	7	3	6	70,00	70
49	20	7	3	6	70,00	70
50	20	7	3	6	70,00	70
51	19	7	3	5	73,68	70
52	19	7	3	5	73,68	70
53	19	7	3	5	73,68	70
54	19	7	3	5	73,68	70
55	18	8	2	4	77,78	80
56	17	8	2	3	82,35	80

## 6. számú melléklet

### Kérdőív a környezeti fizika tanulásáról

*Kedves Válaszadó!*

*Szeidemann Ákos vagyok a tatai Eötvös József Gimnázium kémia-fizika szakos tanára. Kérem, segítse a fizikatanítás megújítását célzó tevékenységemet azzal, hogy meggyőződésének megfelelően válaszol az alábbi kérdésekre! A választ bekarikázással jelölje! A kérdések között van feleletválasztós, és van amelyiknél a válaszadás egy ötfokú skála segítségével történik. Kérem, figyelje az utasításokat!*

*Köszönöm az együttműködését!*

*A vizsgálat eredményeit, illetve a hozzá kapcsolódó gondolataimat – kívánság szerint - elérhetővé teszem majd. A kiértékeléshez szükséges néhány adatot, kérem, adja meg az alábbiakban!*

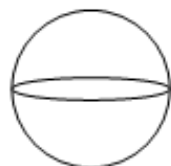
Életkor:

Fizikával szeretnék foglalkozni: igen – nem

Iskolájának városa:

Félévi osztályzatom fizikából:

- Úgy érzem, hogy a mindennapokban környezettudatosan élek.  
1 (nem jellemző rám)    2    3    4    5 (a megfogalmazás „telitalálat”)
- A környezeti fizika hétköznapi jelenségekkel foglalkozik – jobb lenne, ha ilyenekről tanulnánk.  
1 (az sem csigázna fel jobban)    2    3    4    5 (nagyon érdekelné ez a téma)
- A Coriolis-erő az északi féltekén jobbra eltérítő tehetetlenségi erő.  
A) igaz    B) nem igaz, balra    C) nem tudom
- A Napból a Föld felszínére Magyarországon átlagosan egy évben  
A) 1400 Wh/m<sup>2</sup>    B) 1400 kWh/m<sup>2</sup>    C) 1400 W/m<sup>2</sup> energia érkezik.
- Ha lenne iskolánkban környezeti fizika szakkör, szívesen járnék.  
1 (hidegen hagyyna)    2    3    4    5 (ott a helyem)
- Rajzolja le a passzát szélrendszert! (Néhány nyíllal jelölje a jellemző szélirányt!)



- Ha többet tudnék a napcella működéséről, könnyebben döntenék leendő otthonomban az alkalmazásáról.  
1 (eszembe sem jutott jövőbeli otthonom energiaellátása)    2    3    4  
5 (mindenképpen szeretném megismerni ezt a lehetőséget)
- A kád lefolyójában a víz Magyarországon mindig az óramutató járásával egyirányú forgásba jön.  
A) igaz    B) hamis    C) nem tudom
- Csak az emelt szintű csoportokba járó diákok tanuljanak környezeti fizikát, mert túl speciális téma.    1 (egyetértek)    2    3    4    5 (nem értek egyet)
- Szívesen vennék részt olyan fizika órán, amely a szabadban mutatja be a jelenségeket.  
1 (a fizika órának a tanteremben a helye)    2    3    4  
5 (néha fontos lenne, hogy a szabadban sajátítsunk el ismereteket)
- Örülnék, ha iskolánk energiaellátásában helyet kapnának a „szelíd” (pl. nap, szél) energiák.  
1 (nem az én dolgom)    2    3    4  
5 (segíteném egy ilyen projekt megvalósulását)

Hogy érzi, az Ön iskolájában milyen mértékben modern az oktatás a környezeti fizikai témák tekintetében? Maximum 4-5 mondattal válaszoljon!

.....

.....

.....

## 7. számú melléklet

### *Környezetfizika mindenkinek*

Már a televíziózás előtt voltak próbálkozások arra, hogy a tudományt művelői megismertessék a hétköznapi emberekkel, gondoljunk például Faraday karácsonyi kísérleteire. Hazánkban is nagy hangsúlyt fektetett a Magyar Televízió a természettudományok népszerűsítésére. Számos sorozat készült azzal a céllal, hogy minden réteg számára (iskolázottságra és korra való tekintet nélkül) elérhetővé tegye a tudományt. Nemzedékek nőttek fel Öveges József professzor, vagy akár Sas Elemér tanár úr nevével fémjelzett ismeretterjesztő adásokon. Ezek a klasszikusok ma már nem tölthetik be azt a társadalmi funkciót, amiért létrehozták őket, de fontos hogy megtaláljuk azokat az utakat, csatornákat, amelyeken az iskolán kívül is eljuttathatóak érdekes és hasznos ismeretek az átlagember számára. A mai kor emberét új módszerekkel kell „megkínálni” a rácsodálkozás örömeivel. Egy váratlan helyzet, egy meglepő helyszín alkalmas lehet arra, hogy az emberek képesek legyenek kiszakadni a tudományt és a környezetet sok esetben kiszorító világukból. Ez a gondolat adta az ötletet, hogy az iskola falai közül kilépve a tatabányai Gyémánt Fürdő területén diákjaimmal „Vízi Csodák” címmel interaktív fizikai kísérlet-bemutatót tartunk kicsiknek és nagyoknak. A helyszín és az időpont (az első alkalom 2014. márciusában, a Víz Világnapjához kapcsolódóan volt) is adta magát, hogy úgy válogassunk össze 16 kísérletet, amelyek mind-mind a vízhez mint anyaghoz legyenek köthetőek. A kísérletek összeállításakor természetesen törekedtem arra, hogy minél több kapcsolódjon a környezetfizika témáihoz. A két alkalommal (2-2 bemutatóval) megvalósuló programon nyolc diákom is segédkezett, akik fontos tapasztalatokat szerezhettek ebben a műfajban, hiszen második alkalommal önállóan mutattak be jelenségeket az érdeklődőknek. Összesen kb. 200 látogatónk volt, akik örömmel próbálták ki maguk is a kísérleteket.



Nincs hidrosztatikai nyomás  
súlytalanság közben (az emeltről indul



Előadó és hallgatósága  
a Gyémánt Fürdőben



a kilyukasztott palack)



Áramlások szemléltetése  
forgatott közegben

Köd készítése  
PET-palackban

A bemutatott kísérletek a következő gondolati sorrendben következtek:

#### *meteorológia*

1. köd (PET-palackba telített gőzhöz füstölő gyufát dobunk a gócképzéshez, majd a lezárt palackot összenyomjuk, utána hirtelen kiengedjük, ekkor jól látható lesz a köd)
2. ciklon (a forgókád közepére egy rögzített edénybe jeget teszünk, majd a megforgatott rendszerbe színes festéket fecskendezünk, láthatóvá válik az ún. Taylor-függöny)
3. tornádó (ehhez mágneses keverőt használtunk: a megforgatott mágnesbaba kialakítja a tornádó tölcserét, melyben egy hungarocell darabka „beragad”, illetve az áramlási viszonyokat festékekkel tehetjük láthatóvá)

#### *hidrosztatika*

1. úszás (vízben, illetve sós vízben vizsgálhatjuk egy tojás elmerülését és úszását)
2. Cartesius bűvár (a szintén klasszikus kísérlet 3 literes PET-palackban kémcsővel bemutatható)
3. kémiai jójó (főzőpohár aljára szódabikarbónát szórunk, melyre étolajat rétegezzük, majd megszínesített ecetsav-oldatot csöpögtetünk az edénybe, amely lesüllyed a sóig. Abból szén-dioxid fejlődik, amely felfelé haladva az ecetsav-cseppeket a felszínig szállítja, és ott a gáz a levegőbe távozik, így az ecetsav újra lesüllyed. A folyamat kezdődik előlről.)
4. Torricelli kísérlet málnaszörppel (a híres történelmi kísérletet málnaszörppel hígított vízzel tehetjük látványosabbá egy átlátszó műanyag csőben, melynek végét nagy magasságban tartjuk)
5. súlytalanság (alul kiluggatott PET-palackba vizet töltünk, melyet nagy magasságból leejtünk; a szabadesés közben kialakuló súlytalanság állapotában nincs hidrosztatikai nyomás, így a víz nem folyik tovább a lyukakból)

6. sűrűségkülönbség (olajjal megtöltött kis pohárra szájával lefelé szörpös vízzel töltött ugyanolyan másik poharat fordítunk egy vékony zsírpapírlap segítségével, amit lassan kissé kihúzzunk a két pohár közül; ekkor megindul a szörp és az olaj helycseréje)

#### *optika*

1. szappanos víz/Tyndall (lézerfényvel átvilágított kolloid rendszerben a terjedési irányra merőleges irányban is látszik a fénysugár a fényszóródás miatt)
2. teljes visszaverődés (vízbe helyezett kémcsőben lévő ceruzával látványosan mutatható be ez az optikai jelenség)

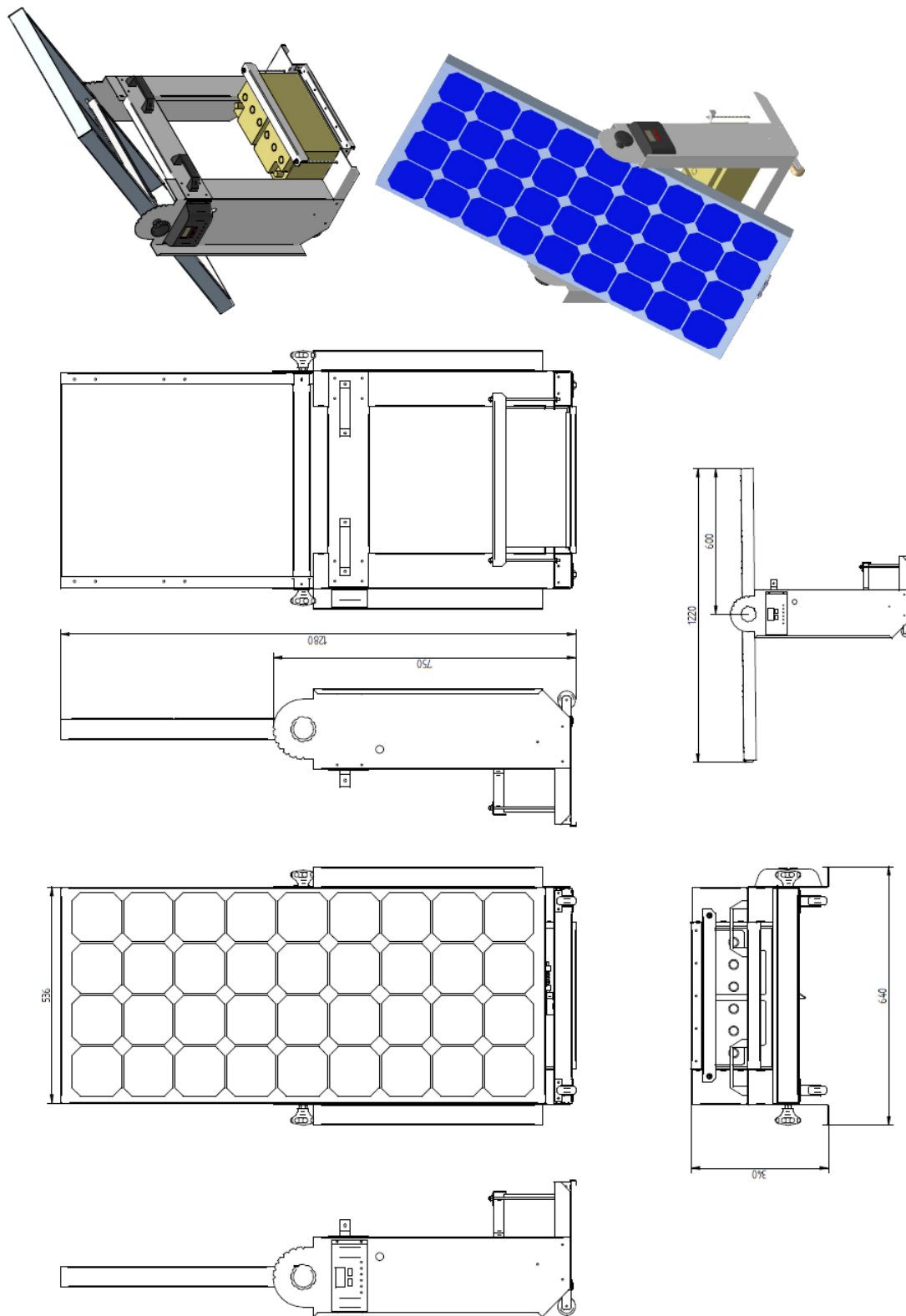
#### *hőtan*

1. „szerelemmérő” (két egymás fölött elhelyezkedő kis üvegtartályt összekötő vékony csőben az alsó tartály kézzel való melegítésének hatására a csőben fölkúszik az alsó tartályból a folyadék)
2. „szomjas kacsa” (az ismert kísérletben a párolgás hűtő hatása mutatható be, amely alapvetően hasonlít az előző kísérlethez, kiegészítve a forgatónyomaték fogalmával)
4. 20°C-on forró víz (a Fp. nyomásesökkenés hatására lecsökken, amely egy orvosi fecskendőben könnyedén bemutatható a dugattyú kihúzásával)
5. jég átvágása (Op. nyomásfüggésének bemutatása a klasszikus kísérletben)

#### *elektrosztatika*

1. vízsugár elhajlítása (megdörzsölt PVC-csővel közelítünk egy vékonyan csorgó vízsugárhoz, amely ennek hatására elgörbül)

8. számú melléklet



## **9. számú melléklet**

*Környezetfizikai Nap, Eötvös József Gimnázium és Kollégium, 2010. november 25.*

9<sup>00</sup>-9<sup>45</sup> **Pálfy Miklós** (a Solart-System Kft. ügyvezető igazgatója)

*A napenergia hasznosítása napelemekkel*

10<sup>00</sup>-10<sup>45</sup> **Horváth Ákos** (az ELTE TTK Atomfizikai Tanszékének docense)

*Perspektívák az alternatív energiák felhasználása terén*

11<sup>00</sup>-11<sup>45</sup> **Jánosi Imre** (az ELTE TTK Komplex Rendszerek Fizikája Tanszékének docense)

*Mi az igazság? Globális klímaváltozás a közelmúlt botrányainak*

*tükrében*

*E B É D*

**Mürkl Levente** Tata város környezeti referensének köszöntője

**Tehetségpontok bemutatkozása** egy-egy szakkör munkájának ismertetésével

12<sup>45</sup>-13<sup>00</sup> **Garay János Gimnázium** (Szekszárd) - **Döményné Ságodi Ibolya**

13<sup>00</sup>-13<sup>15</sup> **Berzsenyi Dániel Gimnázium** (Budapest) - **Baranyai Klára**

13<sup>15</sup>-13<sup>30</sup> **Eötvös József Gimnázium és Kollégium** (Tata) - **Szeidemann Ákos**

13<sup>45</sup>-15<sup>45</sup> **Műhelyfoglalkozás:** szakkörös diákok szakmai tapasztalatcseréje környezeti fizikai kísérletek és szimulációk bemutatásával, illetve megismerésével.

15<sup>45</sup> Zárszó