

DEMONSTRÁCIÓS MECHANIKAI MÉRÉSEK DIGITÁLIS TECHNOLÓGIÁVAL

Pál Mihály
Bocskai István Gimnázium, Szerencs

Néhány évvel ezelőtt *Szokmány Tibor* és *Papp Katalin* cikke keltette fel figyelmemet, amelyben a digitális fényképezőgép tanórai alkalmazását mutatták be. Kipróbáltam és továbbgondoltam a lehetőségeket annak érdekében, hogy demonstrációs órai mérést végezhessünk, de mindenképp egy tanóra alatt. Ennek eredményeit szeretném itt megosztani.

A mérés eszközei

Sok próbálgatás után a következő eszközöket használtam demonstrációs mechanikai mérésre: digitális fényképezőgép, számítógép, projektor. Az eszközválasztásban három szempont játszott fő szerepet:

- gyors elvégezhetőség
- látványos legyen
- be tudjam vonni a mérésbe a diákokat

Gyors elvégezhetőség

A mérés nem veheti el a tanóra nagy részét, mert ezt a tananyag mennyisége nem engedi meg. A gyakorló tanárok tudják: nem bízhatjuk csak a diákság szorgalmára (és érdeklődésére), hogy a bevezetett fogalma-

kat, összefüggéseket otthon maguktól megértsék és alkalmazzák, ezért a tanórai idő kincs. Több publikáció is található már az interneten, amelyben digitális fényképezőgép segítségével elemeznék mozgásokat. Úgy látom, ezek közös gyökere a Dede-Isza-féle, a középiskola 2. évfolyamára írt fizikakönyv. Ebben a szerzők a mozgásokat stroboszkópos felvételeken keresztül elemzik. Az akkori fényképezési technológiát jól kihasználták, de a módszer hátránya, hogy nem lehet a kísérlet után rögtön vizsgálni a felvételeket. A már említett dolgozatokban reprodukálni igyekeznek a stroboszkópos felvételeket, mégpedig oly módon, hogy képszerkesztő programok segítségével egy kép-pé szerkesztik a digitálisan felvett videó képkockáit. Ez a szerzők szerint is több órát vehet igénybe, nem lehet a felvételt ugyanazon az órán kiértékelni. Ezért próbálkoztam az alább bemutatandó módszerrel.

Látvány

A látványosságon nem a cirkuszas show-t értem, hanem a korosztály számára megszokott és elvárt vizuális technológia alkalmazását. Tapasztalataim szerint nem lehet sikert elérni a taneszközpiacon elterjedt apró, az iskolapadból alig látható műanyag műtűrök-

kel. Ezek demonstrációra alkalmatlanok. E helyett a felvételek képkockáit projektorral kivetítve, azt mindenki számára jól láthatóvá tehetjük. A diákoknak az is tetszik, hogy magukat látják kísérletezés közben, mintha valamelyik tudományos tv-csatornát néznék.

A tanulók bevonása a mérésbe

A tanulók mindennapjaiban szerepel a digitális fényképezőgép, a memóriakártya, a számítógép. Ezek mind olyan tárgyak, amelyek használata tőlük már nem igényel külön figyelmet, sőt jogosan elvárják, hogy mi is ezeket alkalmazzuk. Lehet milliméterpapíron is ábrázolni, és lehet Excel program segítségével is, a diák az utóbbit választja, mert azt jobban ismeri. A cikkben szereplő jelenségeket digitális fényképezőgéppel rögzítjük, a memóriakártyát áttesszük a számítógépbe, médialejátszó programmal lejátszuk, megállítjuk, elindítjuk, léptetjük. Mind olyan tevékenységek, amelyek boldogan jelentkeznek a tanulóknak, és ezek mellett még a kísérletet is ők végzik. A tanárnak csak előkészítő és irányító szerep jut. A mérések kiértékelését – az órán látottak alapján – otthon önállóan is elvégezhetik, csak a fájlt kell közzé tenni.

Az egyenes vonalú mozgások vizsgálatához egy szalagfüggönysínt, rajta egy csapágygolyót, ütközések elemzéséhez a mechanikai készlet sínjét és kiskocsijait alkalmazom. A síneket helymeghatározás céljából beosztással láttam el, oldalára papír mérőszalagot ragasztottam.

A digitális fényképezőgépek úgy készítenek videót, hogy másodpercenként meghatározott számú képet – úgynevezett frame-et – rögzítenek. Minden fényképezőgép leírásában megtalálható ez a képszám, amely függ a képfelbontástól is. Nekem egy alsó kategóriás kompakt gépem van, ezen 640×480 felbontás esetén 30 fps (azaz másodpercenként 30 frame-et készít) beállítás található. Tapasztalataim szerint ez elegendő. Ellenőriztem, hogy a frame-ek tényleg egyenletes időközönként készülnek-e. Ehhez felvétel készítem egy éppen futó digitális stopperrel, és olyan médialejátszóval játszottam le, amely képes frame-enként léptetni. Bármely időpillanatban indítottam el a kockázást, 30 kocka alatt mindig 1 másodperc telt el, 3 kocka alatt pedig 0,1 másodperc. Ez azt jelenti, hogy a digitális fényképezőgép valóban 30 fps sebességgel és egyenletes időközönként készíti a frame-eket. (Ha mégsem teljesen egyenletesek az időközök, az sem fog problémát okozni.) A videófájl lejátszásának lényege a kockázás. Rengeteg ilyen lejátszó program létezik, én a VLC médialejátszó ingyenes verzióját használom. Tudom, hogy 1 kocka $1/30$ másodperc, így külön időmérésre nincs szükség.

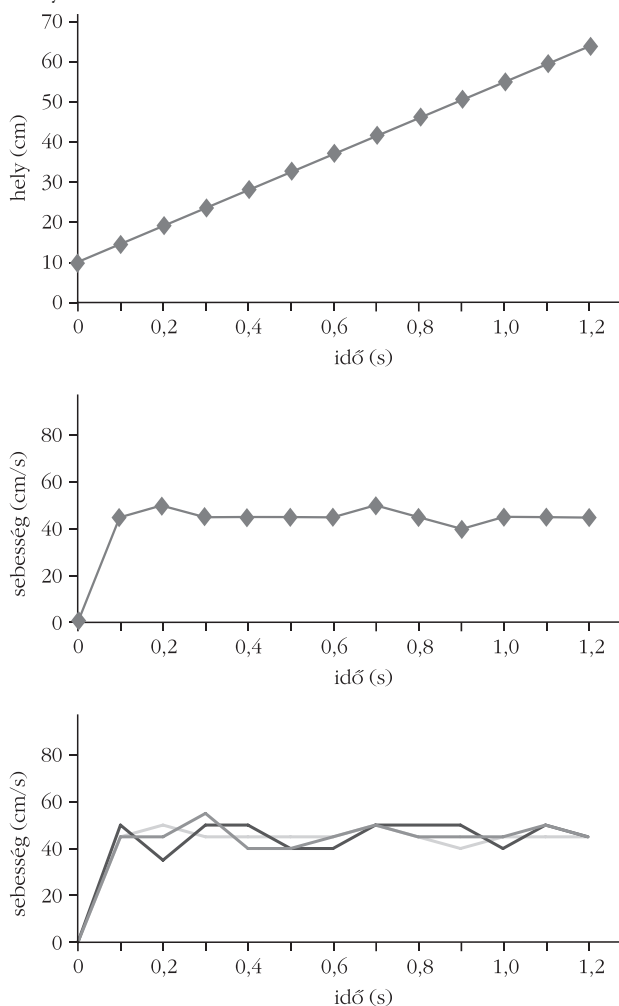
Egyenes vonalú egyenletes mozgás

A csapágygolyót végig gurítjuk a vízszintesen elhelyezett sínen, a mozgást felvesszük, majd projektoron keresztül léptetve lejátszuk (5 perc!). A mozgás se-

bessége határozza meg, hogy hány képkockánként olvassuk le a golyó helyzetét. Én praktikusán három többszöröseihez ragaszkodom, tudván, hogy 3 képkocka 0,1 másodperc. A golyó helyének leolvasása 1-2 cm-es szórást okoz az osztályban. Ez kedvező alkalom arra, hogy beszéljünk a mérés szubjektív tényezőjéről és a hibáról is. Bátorítom a tanulókat, fogadják el a saját maguk által leolvasott értéket és ne a tanár adatát várják, hiszen előbb megbeszéltük a leolvasás pontatlanságát. Erre ne sajnáljuk az időt, mert itt egy lényeges fogalmat alapozunk meg: a mérést. Táblázatban rögzítjük az idő-hely adatpárokat:

idő (s)	hely (cm)	elmozdulás (cm)	sebesség (cm/s)
0	9,5	–	–
0,1	14	4,5	45
0,2	19	5	50
0,3	23,5	4,5	45
0,4	28	4,5	45
0,5	32,5	4,5	45
0,6	37	4,5	45

1. ábra. Egyenes vonalú egyenletes mozgás „filmezéséből” származott út-idő, sebesség-idő grafikonja, valamint több leolvasás eredményének összehasonlítása.



Ezt először mindig kézzel rajzolt táblázatban teszem meg, mert ekkor folyamatában látható a struktúra kialakítása. Kiszámítjuk az egyes időközökhöz tartozó elmozdulásokat, majd ebből a sebességeket is. Rögtön szembetűnik, hogy az elmozdulások és a sebességek közel azonosak. A megtett út pedig egyenletesen növekszik.

Ezt grafikonokkal megerősítjük. Sajnos órán nincs mindenki előtt számítógép, így ők kézzel ábrázolnak, de én táblázatkezelővel is rögzítem az eredményeket.

Az út-idő grafikon elég meggyőző (1. ábra, felül), a sebesség-idő grafikon (1. ábra, középen) bizonytalanságra adhat okot. Erre megkérek két diákot, hogy az én általam leolvasott adatoktól függetlenül írjuk be a táblázatba az ő adataikat is. Ehhez célszerű előre elkészíteni egy üres Excel-táblát, képletekkel, üres grafikonnal, így a hely adatainak megadásával rögtön kirajzolódik az ő mérési eredményük is (1. ábra, alul).

A fent említett 1-2 cm-es leolvasási eltérés más alakú, de ugyanolyan jellegű görbét eredményez. Nem nehéz a tanulókat rávezetni arra, hogy a sebességek átlagával jól jellemezhetjük a mozgást, és a „rendelenségek” a mérés természetes velejárói.

Érdekes több felvételt is készíteni különböző sebességekkel mozgó golyóról. A második mérést már elég csak Excel-táblázattal elemezni. Ennek struktúrája teljesen azonos az első táblázatával, és a grafikonok pillanatok alatt elkészülnek. A többi két-három felvétel fájlját elérhetővé tehetjük az osztály számára (például Facebook). Ebből mindenkinek fel kell dolgoznia egyet, akár kézzel, akár táblázatkezelővel. Sok digitális feldolgozás szokott születni, amelyet kinyomtatva a füzetbe ragasztanak. Most hivatkozhatnánk az informatikával való interdiszciplináris kapcsolatokra, de a tanulóknak nem azt jelenti, csupán egy mindennapi eszközhasználatot.

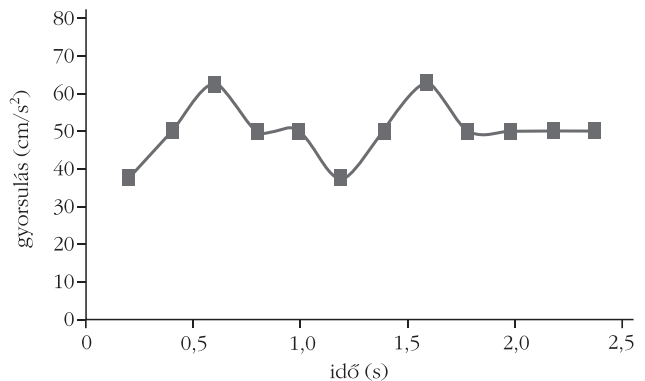
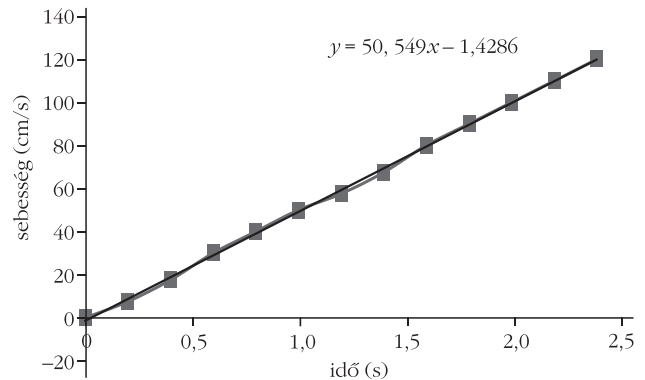
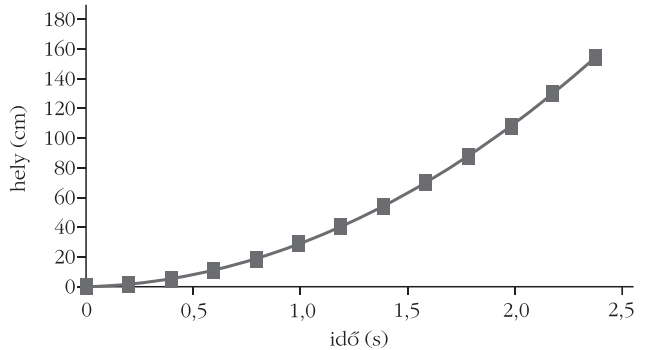
A mellékelt táblázatokban és grafikonokban nem szerepel a mennyiségek hagyományos jelölése, csak a mértékegység. Ez direkt készül így. Szeretném elkerülni – legalább az első órákon – hogy pusztán képletalkotás legyen a mérés eredménye. Az egyenletes mozgás képletét úgyis hozzák magukkal az általános iskolából, de úgy tapasztaltam, hogy nem kapcsolódik rögtön össze a kísérleti eredménnyel. Feladatmegoldás során már bennük merül fel a természetes igény a mennyiségek jelölésére, az összefüggések matematikai megfogalmazására. Ekkor „esik le”, hogy ezt már tanulták, csak nem ismerték fel. Ez (ha nem is katartikus) jó érzéssel tölti el a tanulókat: helyükre kerültek a dolgok.

Egyenes vonalú, egyenletesen változó mozgás

Ezek után jönnek az első meglepetések. A sín alig észrevehetően lejtős helyzetbe állítom úgy, hogy észre sem veszik és megismételjük a néhány órával ez előtti mérést. Mi lehet az eltérés oka? Gyorsan felismerik, hogy a sín nem áll vízszintesen, és tapasztalat szerint a lejtőn fel lehet gyorsulni. (Mélyebbre még nem megyünk.)

idő (s)	hely (cm)	elmozdulás (cm)	sebesség (cm/s)	sebesség változása (cm/s)
0	0	0	0	0
0,2	1,5	1,5	7,5	7,5
0,4	5	3,5	17,5	10
0,6	11	6	30	12,5
0,8	19	8	40	10
1	29	10	50	10

és így tovább.



2. ábra. Egyenletesen gyorsuló mozgás út-idő (föül), sebesség-idő (középen) grafikonja. A sebesség-idő grafikonra illesztett egyenes meredeksége jó egyezésben van az gyorsulás-idő grafikon (alul) átlagértékével.

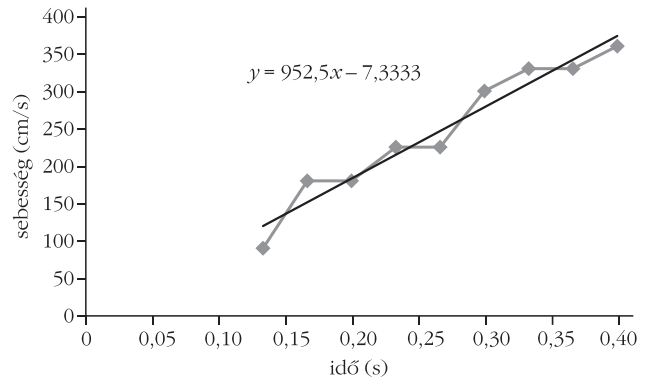
A táblázat szerint valami baj van: az időegység alatti elmozdulás egyre nő, felül kell vizsgálni eddigi eredményeinket. Most is elkészítjük a táblázatokat, grafikonokat (2. ábra), és a füzetükben meglévő eredményekkel összehasonlítjuk. Szembetűnik a sebesség változása, ezért a táblázatot kiegészítjük ezzel az oszloppal.



3. ábra. Szabadesés vizsgálata (a golyó pillanatnyi helye körrel kiemelve). Az azonos időközökben felvett képeket egymás mellé rakva szépen kirajzolódik a négyzetes üttörvény.

Ez az oszlop már nagyobb szórást mutat. Ha Excellel dolgozzuk fel az adatokat, akkor könnyen megmutathatjuk, a megtett utat akár csak 1-2 cm-rel megváltoztatjuk a táblázatban, milyen hatalmas eltérések keletkeznek a gyorsulásban.

A gyorsulás grafikon (2. ábra, alul) helyett célszerűbb és didaktikusabb is a sebességgrafikont elemezni. A táblázatkezelő ebben is segítségünkre van, hiszen pillanatok alatt trendvonalat illeszt (2. ábra, középen) az adatokra feltüntetve a gyorsulás értékét is. (Ezt a módszert várják el az emeltszintű érettségi mérésénél is.) Lényegében az átlaggyorsulást olvassuk le a sebesség-idő grafikonról: $a = 0,5 \text{ m/s}^2$.



4. ábra. Szabadesés sebesség-idő grafikonja, az illesztett egyenes meredeksége $\approx 9,5 \text{ m/s}^2$ gravitációs gyorsulást ad.

A gravitációs gyorsulás mérése

A guruló golyó gyorsulását nem ismerjük, de a nehézségi gyorsulásnak jól elfogadott értéke van, ezért a g mérésénél precízebben kell eljárunk. A mérés elve a gyorsuló mozgásával azonos, de a gyors mozgás miatt törekedni kell a jó megvilágításra és háttérválasztásra. A digitális fényképezőgépek a „záridőt”, vagyis egy – egy képkocka exponálási idejét a fényerősség átlagának megfelelően, automatikusan állítják be, de vannak olyan fényképezőgépek is, amelyeknél manuálisan állíthatjuk a fényérzékenységet. Ezért mindenképpen fehér, erősen megvilágított háttér előtt, sötétszínű golyó esését célszerű felvenni (3. ábra). Erre a legjobb lehetőség egy napsütötte fehér fal, de tanteremben is lehet értékelhető felvételeket készíteni (ekkor számítani kell a golyó elmosódására). Egy nagy csapágygolyó jól megfelel a célnak, ugyanis a közegellenállás hatása a négyzetes törvénnyel számolva meg sem közelíti a helyleolvasás hibáját. Íme, egy tantermi mérés minden hibájával és erényével. (A legnagyobb erénye, hogy meg tudtuk mérni.)

Terjedelmi okokból nem tudok a mérési eljárásból adódó hibáról részletesen szót ejteni, de célszerű a

mérés első néhány pontját kihagyni az ábrázolásból (4. ábra), mert a hiba mértéke az idő előrehaladtával csökken.

További mérési lehetőségek

Nagyon sokféle mérést elvégezhetünk még, ezekből néhányat most csak felsorolni tudok:

- Rugóra akasztott test kitérés-idő, sebesség-idő grafikonjának felvétele.
- Vízszintes, függőleges, ferde hajítás vizsgálata (háttérnek például egy földrajztérkép hátulját használhatjuk, amire négyzethálót rajzolunk).
- Lendületmegmaradás törvényének felfedeztetése, vagy mérési igazolása (5. ábra). (Az az eset is szépen mérhető, amikor kezdetben mindkét kiskocsi mozog.)
- Megmutathatjuk, hogy addig tart a gyorsulás, ameddig nem nulla az erők eredője. (Ehhez a mechanikai készlet kiskocsijának sebességét figyeljük, amint egy csigán átvett kötél húzza.)
- Végezhetünk nem szigorúan tantervi méréseket is, például ki mekkora sebességgel tudja a focilabdát elrúgni, a súlygolyót eldobni.

5. ábra. Lendületmegmaradás vizsgálata.



A fogalmak méréssel és grafikonnal való bevezetésének hallatlan nagy előnye, hogy a diákoknak nem kell matematikai kifejezésekkel birkózniuk, csak a fizikai lényegre kell figyelniük. Az sem elhanyagolható előnye a grafikonoknak, hogy szemlélteti a mozgás lefolyását, így például könnyebben el tudják képzelni a gyorsuló mozgást a grafikon alapján, mint a négyzetes úttörvény képletén keresztül. Tapasztala-

taim szerint ezt jól kihasználhatjuk feladatmegoldásban is, „kikerülhetjük” a képletek kizárólagos alkalmazását, amellyel nagy lépést tehetünk a fizika megértése felé.

Irodalom

1. Szakmány Tibor, Papp Katalin: Digitális fényképezőgép alkalmazása a fizika tanításában. *Fizikai Szemle* 57/6 (2007) 205–208.