

A GRAFIKUS ÁBRÁZOLÁS SZEREPE A FIZIKAOKTATÁSBAN – EGY FELMÉRÉS TÜKRÉBEN

Nagy Mária, Radnóti Katalin
ELTE TTK Fizikai Intézet

Írásunkban egy nagyobb vizsgálat két olyan feladatának eredményeit ismertetjük, amelyeket fontosnak tartunk a fizikai szemlélet alakításában és a matematikai eszközök alkalmazásában a jelenségek tanulmányozásához. Egyben példát mutatunk arra is, miként lehet a tanulói teljesítményeket értékelni, elemezni és ebből következtetéseket levonni, amelyek segíthetik a további tanári munkát.

A vizsgálatba bevont két feladatot megoldotta 134 fő fizika szakra jelentkező diák, valamint 31 fő nem fizika alapszakos hallgató is, akiknek főszakjukhoz alapozásként szükséges a fizika.

Célkitűzés

Vizsgálatunkban arra voltunk kíváncsiak, hogy a közoktatásból kikerülő tanulók mennyire képesek a matematikában és a fizikában tanult összekapcsolására és alkalmazására. Egyik feladatunkban azt vizsgáltuk, hogy a diákok képesek-e egy megadott grafikonból a szükséges adatokat kiolvasni, további grafikonokat elkészíteni az adott mozgással kapcsolatban. A másik feladatban egy ténylegesen elvégzett mérés adatainak kezelését elemeztük.

Az elemzés során célunk volt a diákok adott témával kapcsolatos jellegzetes tévképzeit, félreértelmezéseit, hibáit összegyűjteni és azokat értelmezni, majd ezek alapján javaslatokat megfogalmazni a tanári munkához.

Mintavétel

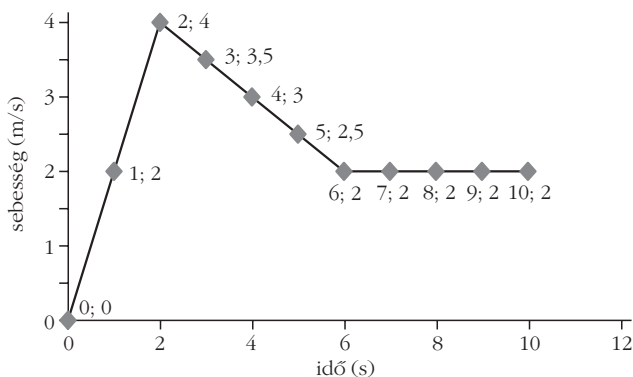
A vizsgálatba bevontunk olyan diákokat, akik alaptudományként a fizikát kívánják tanulni, és jóval kevesebb olyan hallgatót is, akiknek az alaptudomány alkalmazása lesz a feladata majdani munkája során. Ők földtudományt és környezettudományt fognak tanulni. Sok éves oktatói tapasztalatom alapján feltételezem, a jellegzetes hiányosságok, tévképzetek körükben azonosak.

Mozgás vizsgálata

Az első feladatban a diákoknak egy konkrét mozgáshoz tartozó, megadott grafikonot kellett elemezniük. A feladat szövege a következő volt.

Készítse el a sebesség-idő grafikon (1. ábra) alapján a test gyorsulás-idő és út-idő grafikonját! Jelölje a mozgás egyes szakaszait!¹

¹ A feladatot Szalóki Dezsőtől, az ELTE Radnóti Miklós Gyakorló Általános Iskola és Gyakorló Gimnázium tanárától vettük át.



1. ábra. Mozgó test sebesség-idő grafikonja.

A feladat célja az volt, hogy képet kapjunk, vajon mennyire vannak tisztában a diákok a mozgások leírásához kapcsolódó grafikonokkal és azok fizikai jelentésével.

A feladat összesen 4 pontot ért. A javítás során figyelemmel voltunk a három mozgásszakasz megfelelő jelölésére is az időtengelyen. Pontozás: 2 – 2 pont grafikononként. Részpontszámokat is adtunk, amennyiben voltak jó elemek.

Az elvárt megoldás

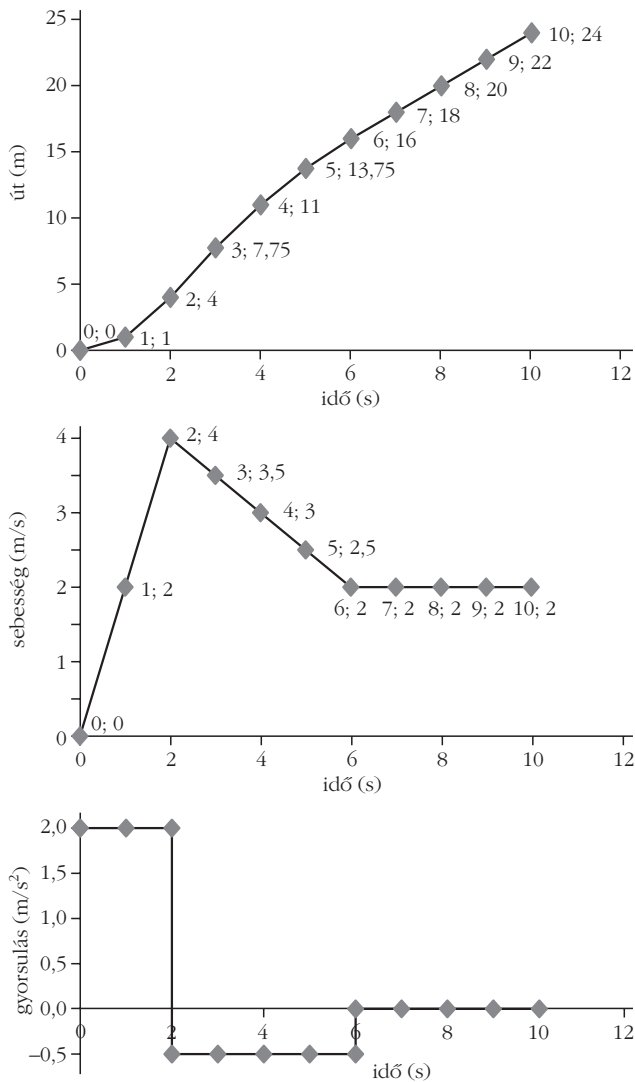
A 2. ábrán szereplő felső és alsó grafikont vártuk el a diákoktól (didaktikai okból a feladatban szereplőt megisméltük).

Az *útfüggvény* az indulás szakaszában egy az origóból induló „normál” parabola, majd a mozgás második szakaszát szintén növekedés jellemzi, de egyre lassuló ütemű, kisebb lesz a függvény adott pontokbeli meredeksége, „fordított” parabola adódik a negatív gyorsulás miatt. Végül a harmadik, lineáris szakasz következik, ahol egyenletes az út növekedése. Ezek folytonosan mennek át egymásba, a görbének nincs sem szakadása sem pedig törése. Ez a *sebességfüggvény integrálfüggvénye*.

A tanulói válaszok elemzése

Hipotézisünk és eddigi tapasztalataink alapján azt vártuk, hogy az út-idő függvény megalkotása lesz a nehezebb a diákok számára. Különösen a középső útszakasz megrajzolása, amikor az autó enyhén fékezik. Akkor is megy előre, de egyre kisebb utakat tesz meg egységnyi idő alatt. Valószínűsítettük, hogy a diákok a függvényátmenetknél töréspontot rajzolnak majd, holott a függvénynek folytonosnak kell lenni.

A 0, 1 és 2 pontot elért tanulók oszlopdigrammján látható, hogy a diákok több mint 40%-a nem tudott rendes grafikont rajzolni még a fizika alapszakra jelentkezők közül sem (3. ábra). Ez rendkívül szomorú eredmény.



2. ábra. A mozgó testet különböző szempontból – gyorsulás-idő és út-idő (e kettőt vártuk el a tanulóktól), valamint középen az eredendően megadott sebesség-idő – jellemző grafikonok.

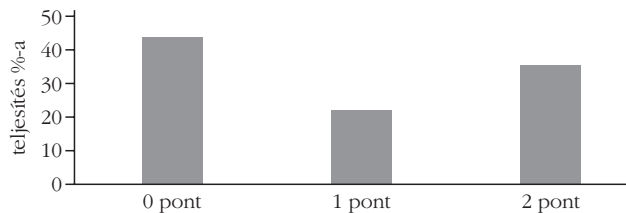
Az ezen a feladatrészen 0 pontot elért diákok a dolgozatot 40%-osra teljesítették, akik 2 pontot kaptak 71,5%-osra, tehát jóval magasabb arányban tudták a többi kérdést, feladatot is megoldani. Az összes diák dolgozatán elért átlaga 54%. Elmondható, hogy a fizika egészét, annak szemléletét sokkal jobban értik azok a diákok, akik ezt a természettudományos szemléletet igénylő problémát meg tudták oldani.

A föld- és környezettan diákok sokkal gyengébben teljesítettek (4. ábra). 31 fő közül csupán 6 akadt, aki rendesen fel tudta rajzolni a függvényt.

Ez a feladatrész nehezebb volt, mint az elemzésünkben ez után következő gyorsulás-idő grafikon felrajzolása, hiszen ehhez ki kellett számítani azt, hogy a mozgás három szakaszában mekkora utakat is tesz meg a jármű.

Jellegzetes tévképzetek

– A „fordított parabola” rész elrontása egyrészt úgy, hogy azt is „rendes” parabolaként ábrázolták a diákok, így a függvény „fodros” lett.



3. ábra. Fizika alapszakra jelentkező diákok út-idő grafikon készítésére kapott pontjainak eloszlása.

– Folytonos átmenet helyett töréspontok jelentek meg a függvényen.

– Sokan három különböző meredekségű lineáris függvényként ábrázolták az egyes útszakaszokat.

– Többen berajzolták a sebesség-idő grafikonba a gyorsulás-idő és az út-idő függvényeket is, hasonlóan ahhoz, amikor matematikaórán egy koordináta-rendszerben több függvényt ábrázoltak. Az ilyen rajzok szerint az út-idő függvény 3 lineáris szakaszból áll töréssel, a gyorsulás-idő függvény pedig 2 lineáris szakasz – $a_1(t)$ és $a_2(t)$ – törésponttal, amely az a_3 , és nem tűnt fel a diákok egy részének, hogy a három – ugyanazon mozgást jellemző – függvény mondanivalója más. A mozgást három különböző szempont szerint vizsgáltuk.

– Néhányan egyszerűen egy darab lineáris szakaszként ábrázolták az út-idő függvényt, amely a probléma leegyszerűsítése. Ez a jellegzetes tévképzet ismert a szakirodalomból egészen más jellegű problémák esetében is.

– Többen sok pontot ábrázoltak, majd azokat abszolút nem tudatos módon összekötötték, aminek eredményeként nem figyelhető meg semmiféle görbealak az ábrán.

– Mások helyes számítás eredményeképp jól ábrázolták a három mozgásszakasz végét jelző út-idő pontokat, de azok nincsenek összekötve (tehát nem beszélhetünk grafikonról). Ezek a diákok nem tudták mit kezdeni a pontokkal, amiket számpárok formájában megkaptak, majd ábrázolnak Descartes-koordináta-rendszerben.

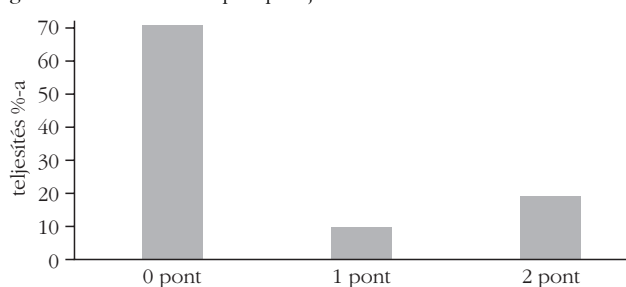
– Néhányan egy darab vízszintes (meredekség nélküli) szakaszként ábrázolták a teljes út-idő grafikon, mintha végig állna a test.

– Akadtak olyanok, akik egy „rendes” vagy „fordított” parabolát rajzoltak a két gyorsuló szakaszból.

– Sok esetben hiányoztak a tengelyfeliratok.

– Többen jól felrajzolták a görbealakat, de rosszul számították az útértékeket.

4. ábra. Föld- és környezettan alapszakra jelentkező diákok út-idő grafikon készítésére kapott pontjainak eloszlása.



– Néhányan az első két szakaszra jó görbealakot rajzoltak, majd a harmadik szakasz olyan, mint az első, a teljes függvénygörbe annak közepére szimmetrikus.

– Több diák esetében függőleges irányban visszakanyarodások láthatók a grafikonban (azaz ekkor csökken a megtett út, ami nem lehetséges, mert nem elmozdulás-idő grafikonról beszélünk).

– Néhol vízszintes irányban vannak visszakanyarodások a grafikonban (visszafordul az idő!).

– Többen olyan függvényalakot rajzoltak, amelyben csúcsosodások jelennek meg.

– Több diák válaszában figyelhető meg inflexió pont a görbén (az első derivált nulla – azaz áll a test, és a második derivált is zérus, tehát gyorsulása sincs).

– Egyesek szakadással útfüggvényt rajzoltak (ami azt jelentené, hogy arrébb „teleportált” a test).

– Egyes válaszokban négy vagy öt szakasz különíthető el a három helyett.

– Volt olyan diák is, aki szinte függőleges szakaszt rajzolt nagyon nagy meredekséggel (ami nagyon nagy sebességet jelentene).

– Néhányan függőleges vagy vízszintes aszimptotájú függvényt rajzoltak.

Összefoglalóan azt lehet mondani, sok diák esetében nem érezhető, hogy tudatában lennének annak, hogy az út-idő függvény érintőjének meredeksége kapcsolatban áll a sebesség nagyságával.

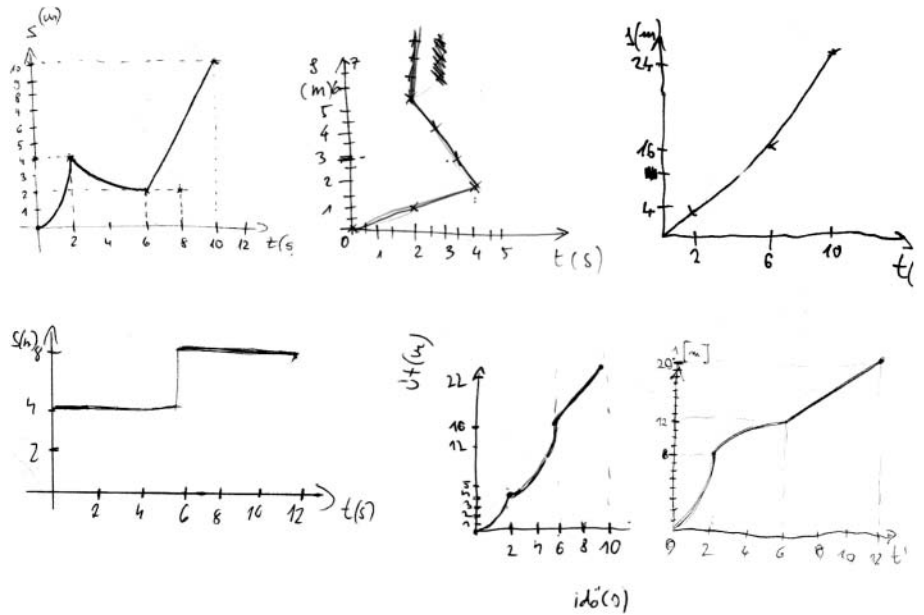
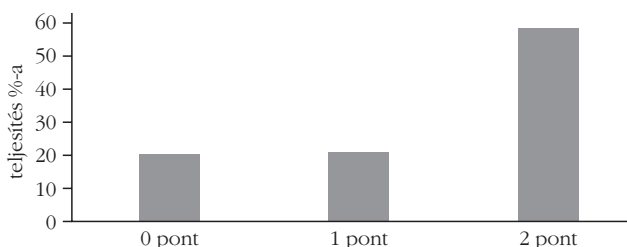
Sok diák nem tudja, hogy egyáltalán hogyan is nézhet ki egy $s(t)$ grafikon valós mozgásfolyamatok esetében. A feladatnak ezt a részét többen kihagyták.

Jellegzetes út-idő grafikonok láthatók az 5. ábrán.

A *gyorsulásfüggvény* is 3 részből áll. 2 m/s^2 a gyorsulás a mozgás első szakaszában, majd lassulás $-0,5 \text{ m/s}^2$, végül 0, mivel állandó lesz a sebesség. Ez az időfüggő *sebességfüggvény derivált-függvénye*.

Hipotézisünk szerint a lassuló szakasznál vártunk problémát, mert ott negatív a gyorsulás, hiszen a sebesség csökken.

6. ábra. Fizika alapszakra jelentkező diákok gyorsulás-idő grafikon készítésére kapott pontjainak eloszlása.



5. ábra. Montázs a válaszként adott út-idő grafikonokból.

A 0, 1 és 2 pontot elért tanulók oszlopdiagramján látható, hogy a diákok majdnem 60%-a rendszeren fel tudta rajzolni a grafikon (6. ábra). Tehát ez jóval könnyebb kérdésnek bizonyult. A megfelelő sebességértékeket le kellett olvasni a sebesség-idő grafikonból, a gyorsulás definíciója alapján triviálisan kiszámítani a megfelelő értékeket, és azokat ábrázolni.

A föld- és környezetтанos diákok esetében sokkal gyengébb volt a teljesítmény (7. ábra).

Jellegzetes tévképzetek

– Várakozásunknak megfelelően a negatív gyorsulást sokan elrontották úgy, hogy jó a számított érték, de azt az 1. síknegyedbe tették a 4. síknegyed helyett.

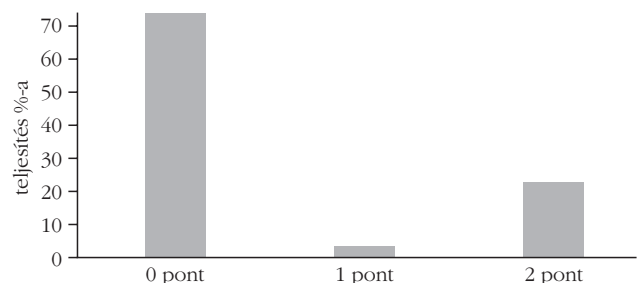
– Többen a negatív gyorsulást úgy rontották el, hogy már a számításnál kapott értékből is hiányzik a negatív előjel.

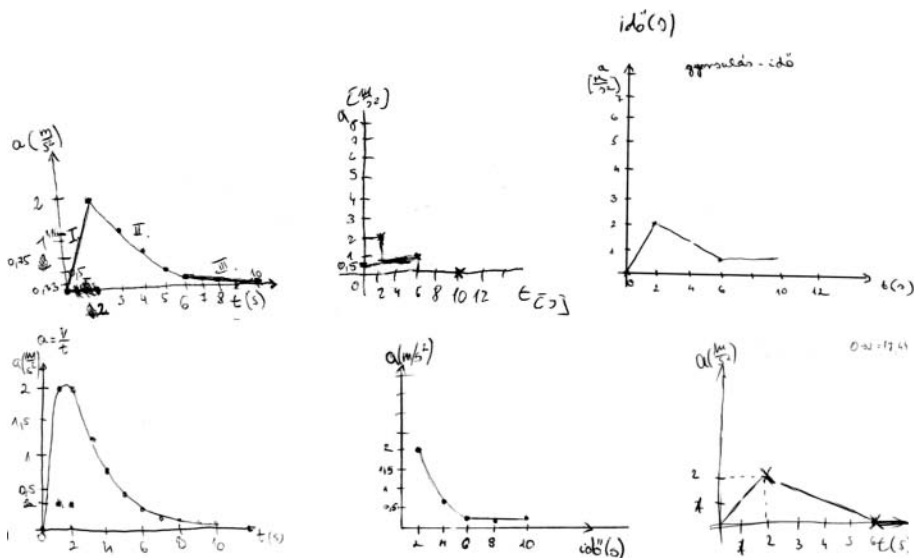
– Esetenként jó a függvényalak, de hibás a szám szerű eredmény (elszámolás).

– Mások pozitív gyorsulásnál egy pozitív meredekségű, negatív gyorsulásnál negatív meredekségű lineáris szakaszt rajzoltak a pozitív, illetve negatív konstans függvényszakaszok helyett.

– Sokan rajzoltak meredekséggel rendelkező $a(t)$ függvényt (amikor a $v(t)$ grafikonból látható, hogy csak állandó gyorsulás és egyenletes mozgás van).

7. ábra. Föld- és környezettan alapszakra jelentkező diákok gyorsulás-idő grafikon készítésére kapott pontjainak eloszlása.





8. ábra. Néhány válaszként adott gyorsulás-idő grafikon.

– Többen a szakaszokat ferde vonallal kötötték össze (ezeken a részekeken meredeksége van az $a(t)$ függvénynek, ami nem lehet).

– A következő függvényalakok fordultak elő még a tanulói válaszokban: parabolaszakasz, fél parabola, hiperbola (függőleges és vízszintes aszimptota), négyzetgyökfüggvény, egyéb aszimptotával rendelkező függvény, konstans értékről exponenciális gyorsulás-csökkenés az időben, lépcsőzetes grafikon, hegyek-völgyek ábrázolása, csúcsosodást tartalmazó görbe, vízszintes irányba visszakanyarodó görbe (ekkor az időnek visszafelé kellene telnie...).

A diákok egy részénél valószínűleg azért jelennek meg a fentiekben felsorolt hibák, mert bizonyos függvényalakokat tanultak csak meg, és azok teljesen véletlenszerűen rögződtek a fejükben, nem kapcsolódva a tényleges jelentésükhöz. Többen felcserélték a tengelyeket, idő-gyorsulás ábrázolása a gyorsulás-idő helyett. És végül voltak olyan diákok, akik teljesen egyforma $s(t)$ és $a(t)$ függvényt rajzoltak, mondván valamelyik csak jó lesz.

A gyorsulás időfüggésének különleges elképzelései láthatók a 8. ábrán.

Következtetések, javaslatok

A grafikonok elkészítéséhez sokat segítene, ha a tanulók ismernék a differenciál- és az integrálszámítás alapjait! A mozgások leírása a 7., illetve a 9. évfolyamon grafikus formában is tananyag. Hasznos lenne erre a 11., illetve a 12. évfolyamon visszatérni a matematikai tanulmányok során.

Sokat segíthet, ha a feladatban szereplő grafikonhoz hasonló példákat úgy beszélnek meg a diákokkal, hogy egyszerre vizsgálják magát a test által végzett tényleges mozgást és a mozgást különböző szempontból jellemző grafikonokat.

Mikor, melyik időpillanatban hol van a test? Ott mekkora a pillanatnyi sebessége és a pillanatnyi gyorsulása? A három grafikonot célszerű szigorúan egymás

alá rajzolni, jelölve az időtengelyen a mozgás egyes szakaszait. Legfelül az út-idő grafikon, középen a sebesség-idő grafikon és legalul a gyorsulás-idő grafikon. Ezek így egymás derivált-függvényei, és lehetőség van arra, hogy a diákok több időpontban megnézzék a görbék érintőjét, és az érintő meredekségének nagyságát vizsgálják. Azaz „szemléletes deriválást” végezhetnek.

A sebességfüggvényből a gyorsulásfüggvény szintén deriválással kapható meg. A meredekség mind a három időszakaszban állandó érték, konstans függvény, csak kü-

lönböző értékűek. A középső szakasz esetében, amely a legkritikusabb, a meredekség negatív, a vízszintes függvényszakasz a 4. síknegyedbe kerül, hiszen csökken a sebesség.

A természettudományok tanulása során mindig kiemelt szerepet kaptak a kísérletek. A digitális környezet lehetővé teszi, hogy megfigyeléseinket, kísérleteinket rögzítsük, könnyen felidézhetővé tegyük, esetleg másokkal megosszuk.

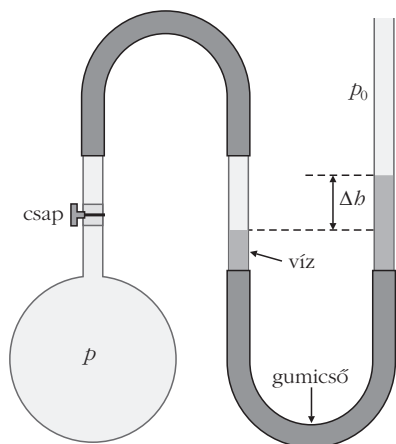
Grafikonok értelmezése és készítése egyaránt fontos eleme ennek a tanulási folyamatnak. Egyszerű eszközökkel, web-kamerával, digitális fényképezőgéppel például sebességmérést végeztethetünk. A digitális mérő és adatgyűjtő eszközök segítségével felvett grafikon a lejátszódó folyamatok olyan elemeire is ráirányítják a figyelmet, amelyekről a hagyományos tanulási környezetben csak elbeszélés alapján szerezhettek tudomást a tanulók. Továbbá fontos lenne, hogy a diákok ne csupán lineáris változásokat elemezzenek! Hiszen már a legegyszerűbb változó mozgás – állandó gyorsulás – esetében sem lineáris az út-idő függvény.

Az informatikai-technikai környezet fejlődésével nem pusztán arról van szó, hogy egy új eszköz, vagy tanulási lehetőség alakult ki, hanem merőben újfajta tanulás térhódításának kezdeti lépéseit éljük. Nem utolsó szempont, hogy a diákok jelentős része otthonosan mozog az informatikai környezetben, annak felhasználása a tanulási folyamat során komoly motívációs értékkel is bír!

Mérési feladat

A diákoknak a feladatban megadott mérési eredményeket kellett ábrázolniuk, majd a grafikon segítségével következtetést levonniuk. A feladat a következő volt:

Egy torony alján levegőt zártunk be egy U-alakúra hajlított gumicsővel (üvegcsővel kiegészítve) ellátott



9. ábra. A berendezés.

lombikba. Az U-csőbe vizet töltöttünk és megjelöltük a vízszintet, majd a berendezést magunkkal vittük a toronyban. Eközben figyeltük a vízszint változását. Kezdetben az U-cső két szárában azonos volt a vízszintek magassága (9. ábra).

Menet közben a torony 4 különböző szintjén leolvastuk a vízszintkülönbségeket és feljegyeztük az információs táblákról az ezekhez tartozó magasságokat is az alábbi táblázatba. Az 5. szintre érve, ahol 42 mm volt a vízszintkülönbség, az információs tábláról hiányzott a magasság megjelölése. Milyen magasságban lehettünk ekkor?

	I. szint	II. szint	III. szint	IV. szint	V. szint
H (m)	8,1	15,9	20,1	23,5	?
b (mm)	8,1	16,5	21	25	42

a) Készítsék el az úgynevezett kalibrációs grafikon, a vízszintkülönbség b (mm) – magasságkülönbség H (m) függvényt!

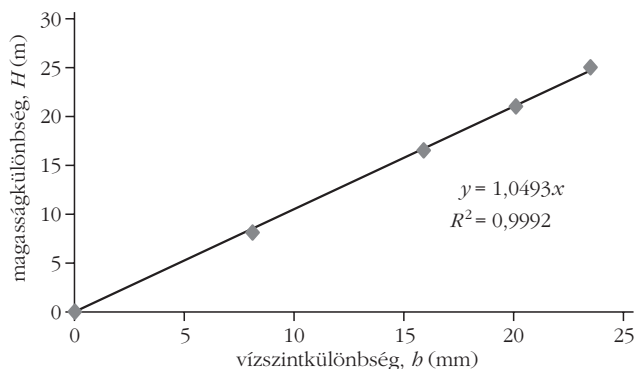
b) Feltételezve, hogy a légnyomás a kalibrációs grafikonon ábrázolt függvénynek megfelelő módon változik, becsülje meg az V. szint magasságát!

c) Milyen közelítő feltevést alkalmazott? Becsülje meg a magasságmérés hibáját!

A feladat célja az volt, hogy lássuk, a diákok mennyire képesek egy konkrét mérési szituációt elképzelni a leírás alapján (szövegértés), a mérési adatokat megfelelő módon ábrázolni, grafikon készíteni, majd abból megfelelő következtetéseket levonni. Esetünkben a hiányzó magasságértéket megbecsülni.

Képesek-e a diákok a hibalehetőségek számbavételére, mennyire jelenik meg válaszaikban az, hogy itt becslésről van szó? Képesek-e felmérni, hogy ebben az esetben valójában közelítésről van szó, egy exponenciális függést közelítünk lineárisal, valamint annak taglalására, hogy ezt miért tehetjük meg? Előzetesen arra gondoltunk, ez utóbbi kérdésre kapjuk a leggyengébb válaszokat.

A feladat helyes megoldása összesen 6 pontot ért. Részpontok: 2-2-2, az ábrázolás, a hiányzó érték leolvasása és a becslés, a hibalehetőségek számbavétele mindegyikére.



10. ábra. A tanulóktól elvárt kalibrációs grafikon.

Az elvárt megoldás

Az egyenes egyenletét azért tüntettük fel (10. ábra), hogy lássuk, szinte egy 45°-os egyenesről van szó, amennyiben a táblázatban megadott mértékegységekben ábrázolják az adatokat. Tehát a hiányzó magasság 41-42 m lehet.

A becslés során lineáris közelítést alkalmaztunk. A pontok csak közelítőleg vannak rajta az egyenesen, tehát már ezert is pontatlan a becslés, további hibalehetőségként jelenik meg a folyadékszint-különbségek leolvasása, esetlegesen a hőmérséklet megváltozása a magassággal stb.

A tanulói válaszok elemzése

Az elkészült grafikon alapján a hiányzó magasságértékre való következtetés nem bizonyult egyszerű feladatnak. A legnagyobb gondot a c) kérdés jelentette. Sokan, akik ténylegesen elkészítették a kalibrációs grafikon, nem vették észre, hogy az egészen jól közelíthető egyenessel. Egyszerűen nem jöttek rá, hogy a koordináta-rendszerben ábrázolt pontokat össze lehetne kötni, illetve sokan a tényleges pontokat kötötték össze és azokat nem közelítették egy egyenessel.

Voltak olyan diákok is, akik parabolával, sőt ellipszissel akartak közelíteni. Azt, hogy ez a barometrikus magasságformula közelítése, és hogy egy exponenciális függvényt közelítünk egyenessel, összesen egy diák írta le. Ezt a választ nem is vártuk, hiszen az nem középiskolai tananyag, sajnós.

Nagyon kevés diáknak jutott eszébe, hogy a folyadékszint-különbség mérése során előfordulhatnak leolvasási hibák.

Jellegetes tévképzetek

– Volt a függvény típusára adott válaszok közt exponenciális is, ami a valós jelenségre igaz, de a közelítésre nem. Ebben az esetben nem megfelelően ismert a közelítés fogalma. Az illető valószínűleg hallott a barometrikus magasságformuláról.

– Több esetben látszott, hogy feltételeztek valamilyen függést, és amennyiben az előzetes tudásuk ellentmondott a kapott pontok által alkotható görbének, a tapasztalattal nem törődve előzetes tudásukból következő választ adtak. Ez a tény ismert a konstruktivista

didaktikából, ezért annyira fontos az előzetes tudás feltérképezése minden új anyag-rész tanításának kezdetén.

– Előfordultak követhetetlen úton kapott nonszensz eredmények, mint például 3,92 m, vagy 15 m. Sokan az ábrázolás során kapott pontokat egyszerűen összekötötték ahelyett, hogy szemre illesztettek volna egyenest.

– A legtöbb diáknál elmondható: nem tudják, hogy „közelről minden görbe egyenes”, azaz kis szakaszon bármely görbe közelíthető annak érintőjével.

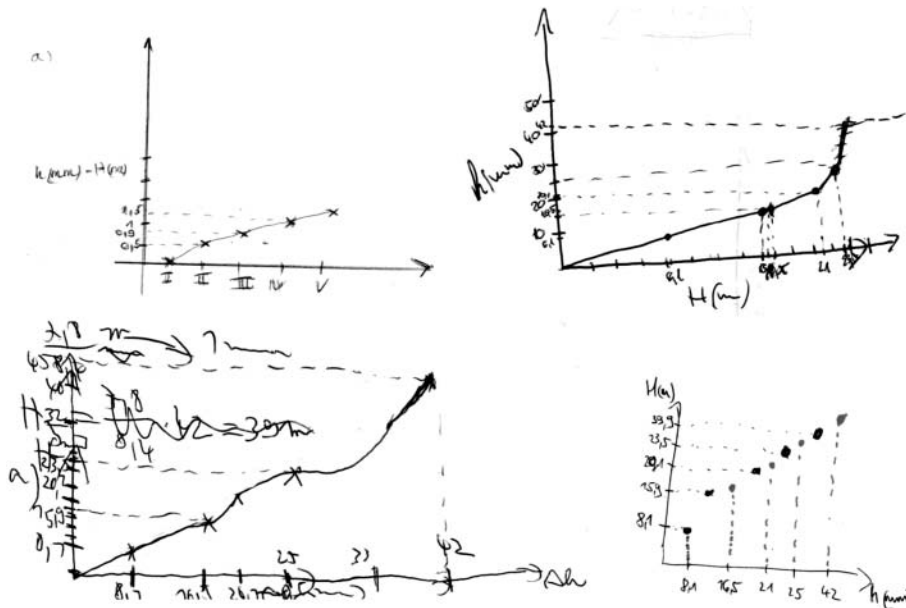
– Voltak, akik abszolút egy egyenesbe eső pontokat ábrázoltak, ami viszont nem teljesen igaz.

– A legtöbb diák nem ismerte fel, hogy az egyenes a közelítés.

– Sokan a mérési hibának csak pozitív bizonytalanságát adták meg a +/- helyett.

Sajátos kalibrációs elképzelések láthatók a 11. ábrán.

Akik maximális 6 pontot kaptak erre a kérdésre, azok 73,6%-osan teljesítették a dolgozatot, ami sokkal jobb, mint az átlag. A legtöbb jól teljesítő diák csillagász és fizikus szeretne lenni.



11. ábra. Jellemzőes rossz tanulói elképzelések a kalibrációs grafikonra.

A közoktatás során célszerű minél több tényleges mérési feladatot adni a tanulóknak, amelyet a feladathoz hasonlóan ki is értékelnek.

Amennyiben nincs mód a tényleges mérés elvégzésére, célszerű mások által elvégzett méréseket kiértékelni. Mérési adatok találhatóak az Interneten különböző témákból, de ilyen jellegű írásokat lehet találni például a *Fizikai Szemle* 2013/7–8. számában. Példánkhoz is egy, a *Fizikai Szemle* 2013/1. szám 26–31. oldalain olvasható cikk adta az ötletet.

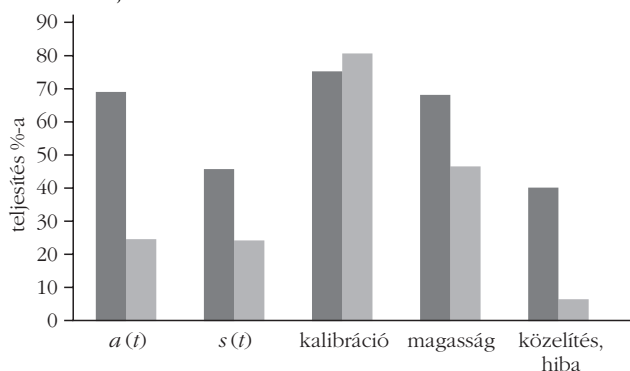
Írásunkban két olyan feladat tanulói megoldottságát elemeztük, amelyeket fontosnak gondolunk a fizikai szemlélet, a fizikai gondolkodásmód alakítása szempontjából. A probléma megoldásához mindkét esetben alkalmazni kellett a tanulók matematikai ismereteit is. Elemeztük a feladatmegoldások során előkerült jellegzetes tévképzeteket is, ezek a tanári munka fontos iránymutatói lehetnek a fogalmi rendszer alakítása során. Példát adtunk a szaktanári reflexió gyakorlatára, amelyet reményeink szerint eredményesen tudnak alkalmazni a kollégák a különböző minősítő eljárások dokumentumainak elkészítéséhez. Végül javaslatokat fogalmaztunk meg a tanári gyakorlat számára.

Összesített eredmények, következtetések, javaslatok

A két feladat esetében elért teljesítményeket a fizika alapszakos hallgatók esetében sötétebb szürkével, míg föld- és környezettan alapszakos hallgatókra a világosabb oszlopdiagrammal a 12. ábra mutatja.

Amint az ábrából látható, a diákok nem rendelkeznek a választott szak elsajátításához szükséges fizika-tudással és megfelelő szemlélettel. A fizikát alapszak-ként választók esetében is vannak hiányosságok.

12. ábra. Fizika alapszakos hallgatók (sötétebb oszlopok), valamint föld- és környezettan alapszakos hallgatók (világosabb oszlopok) összetett teljesítése a két feladatra.



Irodalom

- Csepeli György: Digitális generáció. http://www.csepeli.hu/pub/2003/csepeli_et_2003_45.pdf
- Gyarmati Éva: Ki van kulturális lemaradásban? Digitális Nemzedék Konferencia, ELTE tanulmánykötet 9–15, <http://issuu.com/elteppkointinf/docs/digitalisnemzedek/1>
- Gallai Ditta: Fizika a János-hegyen. Vetélkedő gimnazistáknak. *Fizikai Szemle* 53/1 (2013) 26–31.
- Nagy Mária, Radnóti Katalin: Problémamegoldás a Boltzmann-eloszlás témakörében. *Fizikai Szemle* 53/7–8 (2013) 252–257.
- Pál Mihály: Mechanikai mérések digitális technikával. *Fizikai Szemle* 62 (2012) 7–8.
- Riedel Miklós, Ágoston Istvánné, Fekete Pál Péter, Gulácsy Géza: Légnyomás magasságának mérése a CERN-i tanulmányúton. *Fizikai Szemle* 63/6 (2013) 210–213.
- Szokmány Tibor, Papp Katalin: A digitális fényképezőgép alkalmazása a fizika tanításban. *Fizikai Szemle* 57/6 (2007) 205–209.