



Turányi Tamás–Tóth Zoltán

■ ELTE Kémiai Intézet

■ DE Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék, Kémia Szakmódszertani Csoport

Egyetemi hallgatók tévképzetei fizikai kémiából

Az utóbbi két évben több cikk (Radnóti, 2010a, 2010b, 2010c; Tóth, 2010; Tóth és Radnóti, 2009) jelent meg arról, hogy az egyetemi tanulmányaikat elkezdő hallgatók kémiai alapismeretei hiányosak. Ezekben a cikkekben azonban csak érintőlegesen szerepelt, hogy a legtöbb hallgatónak nemcsak a tárgyi tudása kevés, de téves elképzeléseik is vannak a természettudományok több területén. Kíváncsiak voltunk arra, hogy milyen tévképzeteik vannak fizikai kémiából azoknak a hallgatóknak, akik már hallgattak egyetemen több féléven keresztül előadásokat ebben a témában. Első- és másodéves, kémia, környezettan és biológia szakos, valamint gyógyszerészhallgatók fizikai-kémiai ismeretekkel kapcsolatos tévképzeteit vizsgáltuk, különös tekintettel a termodinamikai és reakciókinetikai alapfogalmakra, és azok alkalmazására. Feladatlapos felmérésünkkel a következő kérdésekre kerestünk választ:

1. Képesek-e az egyetemi szintű fizikai-kémiai tanulmányok korigálni azokat a tipikus tévképzeteiket, amelyek már a középiskolás tanulónál egyértelműen kimutathatók?
2. Van-e szignifikáns különbség a kémiai előképzettségük és az egyetemi szintű kémiai tanulmányaik tekintetében igen különböző hallgatói csoportok (szakok) fizikai-kémiai tévképzetei között?

Mik azok a tévképzetek?

Tévképzeteknek nevezzük a tudomány jelenlegi állásával össze nem egyeztethető elképzeléseket, fogalmakat és értelmező kereteket. A tévképzetek gyakran hasonlítanak a tudománytörténetben felbukkant, mára már korszerűtlen elméletekre (pl. a flogisztonelméletre, vagy az arisztotelészi folytonos anyagképre). Ugyanakkor egyes

E cikk mottója az lehetne: „Mutasd meg a tévképzeteidet, s megmondom ki vagy!” Hiszen az emberi tudás természetéből és véges voltából következik, hogy mindannyiunknak vannak tévképzeteink – csak persze nem mindegy, hogy milyenek... A modern tanulásméletek már nem egy változatlan, statikus ismerethalmazként kezelik a tudást, hanem egy olyan rendszerként, amelynek mind az elemszáma, mind az azok között lévő kapcsolatok dinamikusan változnak az időben. Szerencsés esetben tanulmányaink során ez a szigorúan individuális folyamat a saját tudásszerkezetünket egyre közelíti az emberiség által az adott területen eddig főlhalmozott kollektív tudáshoz. Ennek az egyéni fejlődésnek azonban mindig vannak zsákutcái, amikbe hol saját magunktól, hol mások helytelen iránymutatása alapján tévedünk be. (Nagyon szerencsétlen, és remélhetőleg kivételesen ritka eset az, amikor éppen a tanáraink saját téves elképzeléseit, magyarázatait vesszük át.) A tévképzetek azonban alapos kutatómunkával feltárhatók, sőt nagyszámú mintán vizsgálva tipizálhatók, és kialakulásuk eredete, időbeli változásuk folyamata is nyomon követhető. Nyilvánvaló, hogy mindennek megismerése a tanított tárgyak területére vonatkozóan elsődleges fontosságú a tanárok és az oktatók munkája szempontjából. Hiszen a mi feladatunk az, hogy ezeknek a zsákutcáknak az elkerülését, és ha kell, az onnan kivezető utat megkönnyítsük a diákjaink számára. Emiatt volt minden jelenlétűnek nagyon izgalmas Tóth Zoltán 2010. december 2-án, az ELTE Kémiai Intézetében e tárgyban tartott előadása. Azok számára, akik akkor nem lehettek jelen, kitűnő összefoglalót nyújt erről a munkáról az alábbi cikk.

Szalay Luca

tanulásméletek a tévképzetek kialakulását mint a tanulás egyik formáját értelmezik. A konstruktivista tanulásmélet szerint a tanulás során akkor alakulhatnak ki tévképzetek, ha az új információ (a megtanulandó fogalom) nem illeszkedik a már meglévő kognitív értelmező rendszerhez, ennek ellenére az egymáshoz illesztés és a rögzítés megtörténik oly módon, hogy az új információ torzul (Nahalka, 1997, 2002). Például az eredetileg folytonos anyagképpel rendelkező tanuló az oktatás előrehaladásával kezdi elfogadni, hogy az anyag atomokból, molekulákból és ionokból épül fel, de ezeket a részecskéket ugyanolyan tulajdonságokkal (színnel, sűrűséggel, keménységgel) ruházza fel, mint amilyen tulajdonságai az anyagnak vannak.

Egy újabb elmélet szerint a kémiát (természettudományokat) tanuló emberek fo-

galmi nehézségeinek egyik oka, hogy hétköznapi módon gondolkodnak tudományos dolgokról is (Talanquer, 2006). Az emberek gondolkodására a naiv realizmus a jellemző, tehát vakon bíznak az észlelésben annak ellenére, hogy számos példa bizonyítja a mindennapi megismerés hiányosságait (pontatlan megfigyelés, túlátlánosítás, szelektív észlelés stb.). Ennek az elméletnek a két legfontosabb kategóriája a tapasztalati feltételezések és a reflexgondolkodás. Tapasztalati feltételezéseknek hívjuk a hétköznapi módon („józan ésszel”) gondolkodó ember értelmező rendszerében a körülötte lévő világ megtapasztalásából származó hiedelmeket. Legfontosabb elemei: a folytonosság, az anyagi-ság, a lényegiség, az ok-okozatiság és a teleológia. A reflexgondolkodások olyan rövidített gondolkodási sémák, amelyeket



gyakran alkalmazunk a gyors döntéshozatalban. Elemei: az asszociáció, a redukció, a leragadás és a lineáris sorrendiség.

A tévképzetek jelentős hányada az oktatás során alakul ki, részben a tanári tévképzetek változtatlan átadása révén, részben a tanítás módszertani hiányosságai miatt. Különösen igaz ez a kémiára, mivel a kémia legtöbb fogalma ún. tudományos fogalom, tehát olyan fogalom, amellyel kapcsolatban az embereknek nincsenek közvetlen tapasztalataik, általában az iskolában találkoznak velük először. Ilyenek a kémia alapfogalmai (fizikai és kémiai változás, atom, molekula és ion, elem, vegyület és keverék, valamint az anyagmennyiség). Számos probléma forrása, hogy a kémia az anyagokat és jelenségeket egyszerre három szinten (makroszinten, részecskeszinten és szimbólumszinten) értelmezi. A kémiai fogalmak egy részének eredeti jelentésére utaló elnevezése megmaradt, miközben a jelentése lényegesen megváltozott (pl. oxidáció, az elemek periódusos rendszere stb.). A kémiai fogalmak többsége nem jól definiált, értelmezése, jelentése számos esetben kontextusfüggő (pl. proton, koncentráció stb.). A kémia elméleti modelljeire pedig a szimultán (egymás mellett élő, egymást kiegészítő) modellek a jellemzőek (pl. sav-bázis elméletek, redoxireakciók értelmezése stb.). Mindezek a problémák szinte szükségszerűen vezetnek tévképzetek kialakulásához (Tóth, 2000, 2002). Mára már gyakorlatilag a kémia minden területén feltárták a tévképzeteket, és számos összefoglaló tanulmány, könyv tárgyalja ezeket (pl. Garnett és mtsai, 1995; Taber, 2001; Kind, 2004; Horton, 2007; Barke és mtsai, 2009; Tóth, 2009).

A felmérés és értékelés módszerei

Az egyetemi hallgatók fizikai-kémiai tévképzeteinek vizsgálatára egy feladatlapot állítottunk össze (lásd külön szövegdobozban), amely elsősorban a reakciókinetika és a termodinamika területéről tartalmazott összesen 10 feladatot. Különösen nagy hangsúlyt fektettünk a kinetikai és termodinamikai fogalmak keveredésére utaló tévképzetek feltárására.

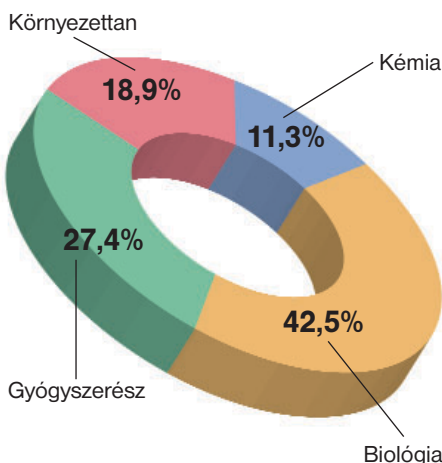
Valamennyi feladat esetén a hibátlan választ 2 ponttal, a hibás választ 0 ponttal értékeltük. Néhány esetben a részben jó válaszáért 1 pontot adtunk. Bár a felmérésre az egyetemi szintű fizikai-kémiai tanulmányok keretében került sor, megjegyezzük, hogy ezeknek a feladatoknak a megoldása elvileg a középiskolás kémia tananyag ismeretében is lehetséges.

A FELADATLAP

1. Azonos hőmérsékletű, nyomású és térfogatú száraz vagy vízgőzzel telített levegőben van-e több molekula? Melyik a nehezebb és miért? Tekintsük ezeket a légnemű anyagokat ideális gázoknak!
2. Hogyan befolyásolja az exoterm reakciók sebességét a hőmérséklet növelése?
3. Jelölje meg a helyes választ és indokolja is meg! Hogyan változik meg az $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ reakció sebessége, ha a hidrogéngáz koncentrációját kétszeresére növeljük?
 - a) a reakció sebessége nem változik meg;
 - b) a reakció sebessége is kétszeresére változik;
 - c) a reakció sebessége háromszorosára változik;
 - d) a reakció sebessége nyolcszorosára változik;
 - e) a rendelkezésünkre álló adatok alapján a kérdés nem válaszolható meg.
4. Szemléltesse egy koncentráció (c) – idő (t) diagramon, hogy miként változik a kiindulási anyag (A) és a termék (B) koncentrációja a következő egyensúlyra vezető átalakulás során: $A \rightleftharpoons B$! Kezdetben ($t = 0$) csak A anyag van, termék (B) nincs. A diagram vízszintes tengelyén a reakcióidőt (t), függőleges tengelyén a koncentrációt (c) tüntesse fel!
5. A durranógáz olyan H_2-O_2 elegy, amelynek elége után csak víz marad vissza. Hány mol hidrogénmolekulát tartalmaz 3 mol durranógáz?
6. Írja fel annak a folyamatnak a reakcióegyenletét, amelynek energiaváltozása megegyezik a metanol (CH_3OH) képződési entalpiájával szobahőmérsékleten és 1 bar nyomáson!
7. Milyen képződési entalpiákat kell ismernünk, hogy ki tudjuk számítani a magnéziumfém és a 0,1 M sósavdat között végbemenő reakció standard moláris reakcióentalpiáját?
8. A szén-monoxid égésének termokémiai egyenlete a következő:
 $2CO(g) + O_2(g) = 2CO_2(g) \quad \Delta_r H = -566 \text{ kJ/mol}$
 Mennyi hő szabadul fel 0,500 mol szén-monoxid égésekor?
9. Ha egy kémiai reakció sebessége háromszorosára nő a hőmérsékletet 25 °C-ról 5 °C-kal megemelve, hányszorosára nő ugyanennek a reakciónak a sebessége, ha a hőmérsékletet 25 °C-ról 15 °C-kal növeljük meg?
10. Minden állítást minősítsen, hogy igaz-e vagy hamis. Indokolja is meg röviden a választ!
 - a) A szén égése nem önként végbemenő folyamat, hiszen ahhoz, hogy a szén égni kezdjen, meg kell gyújtani.
 - b) A cukor oldhatósága vízben keveréssel növelhető.
 - c) Két egyensúlyra vezető folyamat közül az a gyorsabb, amelyiknek az egyensúlyi állandója nagyobb.
 - d) Megfelelő katalizátor használatával elérhető, hogy egy kémiai átalakulás nagyobb mértékben menjen végbe, mint katalizátor nélkül.

A feladatlapot 2009 áprilisa és 2009 novembere között az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) környezettan (K),

1. ábra. A hallgatók megoszlása szakonként



biológia (B) és kémia (V) alapszakos hallgatói, valamint a Semmelweis Egyetem (SOTE) gyógyszerészhallgatói (Gy) írták meg, összesen 424-en. A minta összetételét az 1. ábra mutatja. A mintában a lányok száma (288) kétszerese a fiúk számának (136), de ez az arány szakonként nagyon különböző volt, ahogy ezt az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat. A feladatlapot megoldó hallgatók megoszlása nemek szerint

Shak	Fiúk	Lányok
Kémia	62%	38%
Környezettan	36%	64%
Gyógyszerészs	25%	75%
Biológia	27%	73%
Összes hallgató	32%	68%



A feladatlap megírása nem volt kötelező, de sikeres megírása minden esetben járvította az év végi jegyet. A kidolgozásnál nem volt időkorlát, mindenki annyi idő után adta be, amennyi után akarta.

A hallgatók kémiai előtanulmányai

Amint a **2. táblázat** adataiból is látszik, a kémia szakos hallgatók kémiai (köztük fizikai kémiai) előtanulmányai lényegesen meghaladták a többi szakosokét, még a gyógyszerészhallgatókét is. A környezettan szakos hallgatók a felmérés megírásáig heti 1,5 órás fizikai kémiai és heti 1 órás fizikai kémia labor-előkészítő előadást hallgattak.

Eredmények

A feladatlap értékelése

A feladatlapot két szempontból értékeltük. Elvégeztük az itemanalízist, mely során megvizsgáltuk, hogy az egyes feladatok eredményessége mennyire korrelál a teljes feladatlap eredményességével, másrészt meghatároztuk a feladatlap megbízhatóságára jellemző reliabilitási együtthatót.

Az egyes feladatok eredményességének korrelációja a teljes feladatlap eredményével a **3. táblázat**ban látható. A korrelációs együtthatók – amelyek valamennyi esetben 0,01 szignifikanciaszinten szignifikánsak – közepesen erős és erős korrelációra utalnak, kivéve a 2. feladatot, amely esetében a korreláció gyenge.

A feladatsor reliabilitását a Cronbach-alfával jellemeztük, amelyet a következőképpen definiálnak:

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum s_i^2}{s_t^2} \right),$$

ahol n az itemek (feladatok) száma, s_i az egyes itemek szórása, s_t a teljes teszt szórása. A kapott érték 0,7576, ami elfogadható.

A felmérés során elért teljesítmények

Az összes hallgatónak a felmérésben nyújtott teljesítményét a **2. ábrán** látható hisztogram szemlélteti. Az átlagteljesítmény rendkívül kicsi: $4,00 \pm 3,64$ pont, azaz mindössze 20%-os.

Az egyes szakok teljesítményének összehasonlításából (**3. ábra**) kiderül, hogy a kémia szakos hallgatók teljesítménye a legjobb (43,0%), ezt követik a gyógyszerész (24,5%), a biológia (17,2%), majd a környezettan szakos hallgatók (5,3%). A szakoknak ez a sorrendje megfelel a fizikai kémiai előtanulmányok alapján várt sorrendnek, ugyanakkor meglepő, hogy az ered-

Tantárgy	1. félévi heti óraszám	2. félévi heti óraszám	3. félévi heti óraszám
KÉMIA			
Általános kémia	4 + 2 + 3		
Szervetlen kémia	2 + 0 + 0	3 + 0 + 6	
Fizikai kémia		3 + 1 + 0	2 + 1 + 4
Szerves kémia		4 + 0 + 0	3 + 0 + 4
Analitikai kémia		4 + 0 + 0	4 + 0 + 4
Kolloid- és felületi kémia			2 + 0 + 0
GYÓGYSZERÉSZ			
Általános és szervetlen kémia	4 + 1 + 5	3 + 0 + 0	
Analitikai kémia		2 + 0 + 5	2 + 0 + 5
Fizikai kémia			3 + 1 + 0
KÖRNYEZETTAN			
<i>Bevezetés a kémiába (általános kémia és fizikai kémia)</i>		3 + 0 + 0	
Szerves kémia			3 + 0 + 0
Analitikai kémia			2 + 0 + 2
Fizikai kémia laborelőkészítő			1 + 0 + 0
BIOLÓGIA*			
Általános kémia	4 + 0 + 2		
Szerves kémia		3 + 0 + 0	
Fizikai kémia		3 + 0 + 0	

* A biológia szakosok a 2. félévben, a többiek a 3. félévben írták a felmérést.

2. táblázat. A különböző szakos hallgatók kémiai tanulmányai a felmérés megírását megelőzően (a három óraszám: előadás + számolási gyakorlat + laborgyakorlat)

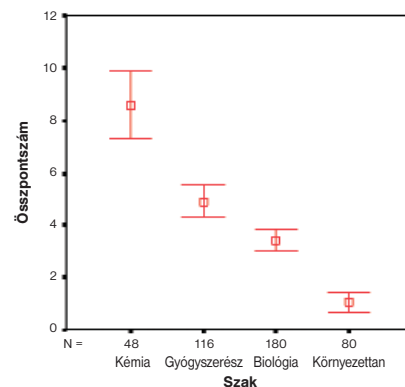
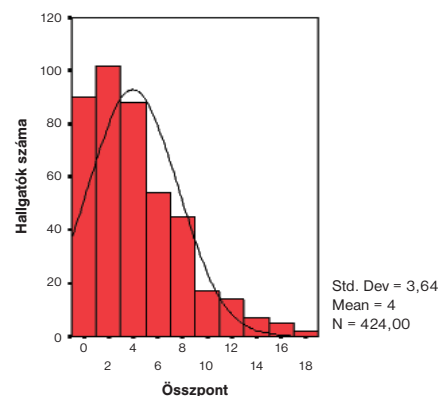
Feladat száma	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Korrelációs eh.	0,712	0,253	0,453	0,671	0,648	0,642	0,567	0,600	0,426	0,655

3. táblázat. Az egyes feladatok korrelációja a felmérés egészével

mények olyan élesen elkülönülnek ($p = 0,05$), hogy még a szórások sem fednek át.

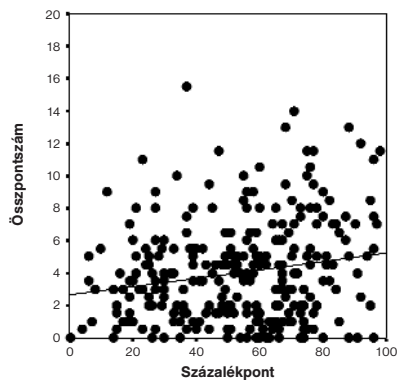
A gyógyszerész és a biológia szakos hallgatók a felméréssel párhuzamosan zárthelyi dolgozatot is írtak a teljes tanult termodinamika és reakciókinetika anyagból. A **4. ábrán** látható, hogy a két dolgozat

2. ábra. A teljes mintára vonatkozó hisztogram (a folytonos görbe az átlag és a szórás alapján számolt normális eloszlást szemlélteti)



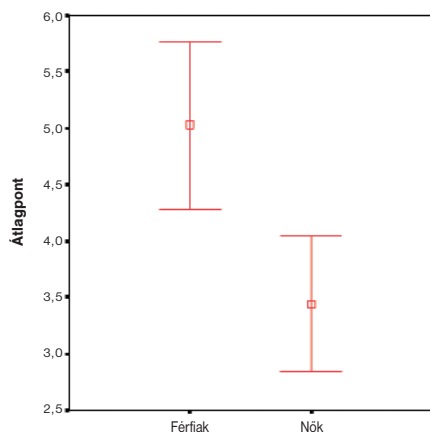
3. ábra. Az egyes szakok teljesítményének összehasonlítása

eredménye között nagyon gyenge a korreláció ($r = 0,184$, $p = 0,01$). A felmérésben elért eredményt tehát nem lehet pusztán azzal értelmezni, hogy milyen a hallgatók tudása fizikai kémiából. A tévképzetkutatások már régóta rámutattak arra, hogy a tanulók tévképzetei ellenállnak az oktatásnak, és a tanári előadáson alapuló hagyományos oktatási formák kevésbé tudják megváltoztatni azokat.



4. ábra. A biológia szakos és a gyógyszerészhallgatók felmérésben elért összpontszáma a fizikai kémiai zárthelyi dolgozat százalékpontszámának függvényében

A közelmúltban az egyetemi tanulmányait kezdő hallgatók kémiai tudás-szintjének felmérése során – többek között az is – kiderült, hogy a fiúk szignifikánsan jobb eredményt értek el, mint a lányok. Mi is azt találtuk, hogy a fizikai kémiai tévképzeteket feltáró feladatlapon a fiúk teljesítménye szignifikánsan ($p = 0,001$) jobb volt, mint a lányokké (5. ábra). Mivel a

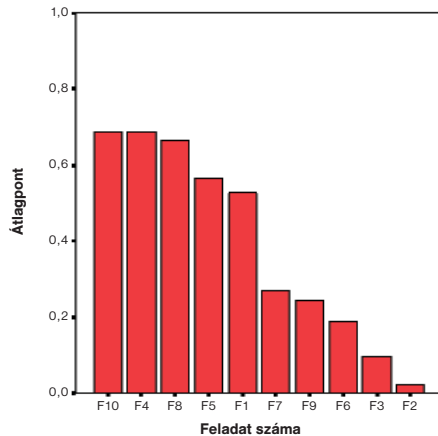


5. ábra. A fiúk és a lányok teljesítményének összehasonlítása

részminták nemi összetétele változó volt (1. táblázat), ugyanakkor az eredmények nagymértékben szaktól függőek (3. ábra), a fiúk és lányok teljesítményének összehasonlításakor vigyáztunk arra, hogy az elemzésbe bevont férfiak száma minden szak esetén megegyezzen a nők számával. Megjegyezzük, hogy a biológia szakosok és a gyógyszerészek esetén a fizikai kémiai zárthelyi dolgozat eredményében semmiféle különbség nem volt a fiúk és a lányok között (fiúk: 51,97; lányok: 50,62; $p = 0,702$).

Feladatonkénti eredmények

Az egyes feladatok megoldásának átlagos pontszámát (maximális pont: 2) a 6. ábra szemlélteti. Látható, hogy legkönnyebnek



6. ábra. Az egyes feladatok megoldásának eredményessége

a 10-es, a 4-es és a 8-as feladatok bizonyultak, bár ezek megoldási eredményessége is csak 35% körüli. A legnehezebb volt a 2-es és a 3-as feladat, melyek esetében az átlageredmény 5% alatti.

1. feladat

Azonos hőmérsékletű, nyomású, és térfogatú száraz vagy vízgőzzel telített levegőben van-e több molekula? Melyik a nehezebb és miért? Tekintsük ezeket a légnemű anyagokat ideális gázoknak!

A HELYES VÁLASZ:

– Az ideális gázok törvénye – és az Avogadro-törvény – szerint ugyanannyi molekula van bennük. (1 pont)

A levegő átlagos moláris tömege kb. 29 g/mol, a vízé 18 g/mol, tehát a nedves levegő a könnyebb. (1 pont)

GYAKORI ROSSZ VÁLASZOK:

A gázok szerkezetének meg nem értéséről tanúskodó válaszok. Pl. a száraz levegőben vannak N_2 - és O_2 -molekulák; ha a levegő nedves, akkor ezeken felül még vízmolekulákat is tartalmaz, tehát a nedves levegő több molekulát tartalmaz, és így nehezebb is.

4. táblázat. Az 1. feladat megoldásának eredményei

	KÉMIA	GYÓGYSZ.	BIOLÓGIA	KÖRNYEZ.
Hibátlan válasz	56%	13%	8%	4%
A nedves levegőben...				
– kevesebb molekula van	0%	1%	7%	8%
– ugyanannyi molekula van	79%	48%	34%	13%
– több molekula van	13%	20%	40%	30%
A nedves levegő...				
– könnyebb	56%	13%	11%	5%
– azonos súlyú	2%	4%	2%	1%
– nehezebb	25%	35%	59%	33%
Nem válaszolt	6%	27%	14%	49%

– Mindennapi analógia. A nedves ruha nehezebb, mint a száraz, tehát a nedves levegő is nehezebb, mint a száraz.

– A folytonos anyagképre utaló változások (a folyadékok nehezebbek, mint a gázok, ezért részecskéik is nehezebbek a gázrészecskéknél). Pl. bár a száraz és a nedves levegőben ugyanannyi molekula van, mégis a nedves a nehezebb, mert a vízmolekula tömege nagyobb, mint a nitrogénmolekula vagy az oxigénmolekula tömege. Volt hallgató, aki leírta, hogy a H_2O -molekula relatív molekulatömege 18, míg az N_2 - és O_2 -molekuláké 28, illetve 32, de ennek ellenére a vízmolekulát tartotta nehezebbnek.

Az eredményeket a 4. táblázatban foglaltuk össze. Az összes hallgatónak mindössze 14%-a adta meg a helyes választ. 22%-uk szerint a nedves levegőben több molekula van, és a nedves levegő ezért nehezebb is. 15%-uk ugyan tudta, hogy a nedves levegőben ugyanannyi molekula van, mint a szárazban, mégis a nedves levegőt tartotta nehezebbnek.

Ezek az eredmények – tendenciájukban – hasonlóak egy középiskolások körében végzett korábbi felmérés eredményeihez. A középiskolások indoklásaikban olykor leírták, hogy amikor a víz részecskéiről (tehát a H_2O -molekuláról) beszélnek, akkor valójában a kicsiny vízcseppekre gondolnak.

2. feladat

Hogyan befolyásolja az exoterm reakciók sebességét a hőmérséklet növelése?

A HELYES VÁLASZ:

– A reakció sebessége csökkenhet, változatlanul maradhat és növekedhet is a hőmérséklet növelésével. (2 pont)

(Nincs kapcsolat a reakcióentalpia előjele és aközött, hogy a reakció sebessége hogyan változik a hőmérséklet-növelés hatására. Ugyancsak nincs egyértelmű, köz-



	KÉMIA	GYÓGYSZ.	BIOLÓGIA	KÖRNYEZ.
Hibátlan válasz	2%	0%	4%	0%
A hőmérséklet növelése a reakciósebességet...				
– csökkenti	50%	60%	50%	15%
– nem változtatja meg	2%	2%	2%	1%
– növeli	40%	21%	36%	38%
Nem válaszolt	6%	18%	9%	46%

5. táblázat. A 2. feladat megoldásának eredményei

vetlen kapcsolat a reakciósebesség és a hőmérséklet között.)

GYAKORI ROSSZ VÁLASZOK:

A reakciókinetikai és a termodinamikai fogalmak keveredéséből adódó válaszok, pl. a reakciósebesség csökken, ugyanis a legkisebb kényszer elve (Le Chatelier–Braunel) értelmében exoterm reakciók esetén a kiindulási anyagok kedvezményezettek, tehát a hőmérséklet növelése hatására a termékek keletkezési sebessége csökken.

A középiskolában tanult – és a mindennapi tapasztalat által megerősített – hibás válasz: Minden folyamat, így a kémiai reakció sebessége is nő a hőmérséklet növelésével. (Egyesek még hozzáteszik, hogy az exoterm reakció például az égés, és az égési reakciók sebességét mindig növeli a hőmérséklet.)

Megjegyezzük, hogy ez utóbbi választ azért sem tartjuk elfogadhatónak, mert a felmérésben részt vett egyetemi hallgatók figyelmét nyomatékosan felhívtuk fizikai kémiai tanulmányaik során arra a tényre, hogy még elemi reakciók esetén is előfordul, hogy nem nő a reakciósebesség a hőmérséklettel, a nem elemi reakciók körében pedig gyakori ez a jelenség (Turányi, 2010). Például a hőmérséklet növelésére a szénhidrogének alacsony hőmérsékletű oxidációjának reakciósebessége csökken egy hőmérséklet-tartományban. Hasonló viselkedést tapasztalunk sok enzimreakció esetén is 60 °C hőmérséklet felett. Elképzelhető, hogy ennek ismerete segítette azt a néhány biológushallgatót, akik erre a kérdésre hibátlan választ adtak.

A feladat megoldásának eredményességét – pontosabban: eredménytelenségét – az 5. táblázat mutatja.

Ez a feladat jelzi, hogy a középiskolában rögzült ismereteket mennyire nehéz megváltoztatni az egyetemi oktatás során. Ezért sokkal nagyobb figyelmet kell fordítani a fogalmak – jelen esetben a reakciósebesség hőmérsékletfüggésének – eddigieknél árnyaltabb tanítására. Bár néhány tankönyvben az szerepel, hogy a reakciók

sebessége általában nő a hőmérséklettel, vagy a legtöbb kémiai reakció sebessége nő a hőmérséklettel, úgy tűnik, ez a megfogalmazás nem elegendő, példákkal is szemléltetni kell a kivételeket. Ebből a szempontból jó példa lehet az enzimreakciók említése.

3. feladat

Jelölje meg a helyes választ és indokolja is meg! Hogyan változik meg az $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ reakció sebessége, ha a hidrogéngáz koncentrációját kétszeresére növeljük?

- a) a reakció sebessége nem változik meg;
- b) a reakció sebessége is kétszeresére változik;
- c) a reakció sebessége háromszorosára változik;
- d) a reakció sebessége nyolcszorosára változik;
- e) a rendelkezésünkre álló adatok alapján a kérdés nem válaszolható meg.

A HELYES VÁLASZ:

e), tehát a rendelkezésre álló adatok alapján a kérdés nem válaszolható meg. A kinetikai tömeghatás törvénye – azaz a sebességi egyenlet felírása a reakcióegyenlet alapján – csak elemi reakciók esetén tehető meg. A példában szereplő reakció nyilván nem lehet elemi reakció, mert négy molekula egyidejű ütközésének nagyon kicsiny a valószínűsége. (2 pont)

GYAKORI ROSSZ VÁLASZOK:

– A koncentrációfüggés egyenes arányosságként való értelmezése: a reakciósebes-

ség függ a reagáló anyagok koncentrációjától. Ha tehát a reagáló anyag koncentrációját kétszeresére növeljük, a reakciósebesség is kétszeresére nő. A válasz tehát b).

– Minden reakció sebességi egyenlete felírható a bruttó (sztöchiometriai) reakcióegyenlet alapján. Esetünkben: $v = k[N_2][H_2]^3$. Ezért ha minden más körülmény változatlan, akkor a reakciósebesség $2^3 = 8$ -szorosára nő. A válasz tehát d).

Megjegyezzük, hogy ez utóbbi válasz a magyar tanulókra jellemző tévképzetre utal, melynek gyökere, hogy a legtöbb középiskolás tankönyvben az egyensúlyi állandót kinetikai alapon vezetik be (Tóth, 1999). Ez akár a $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2 HI$ konkrét reakció, akár az $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ általános felírt reakció példáján történik, a tanulóknak az alakul ki, hogy a sebességi egyenletet minden esetben fel lehet írni a reakcióegyenlet alapján. Bár erre a tankönyvi hibára számos tanulmány felhívta már a figyelmet, a legtöbb tankönyvben továbbra is ez a kezelésmód szerepel.

4. feladat

Szemléltesse egy koncentráció (c) – idő (t) diagramon, hogy miként változik a kiindulási anyag (A) és a termék (B) koncentrációja a következő egyensúlyra vezető átalakulás során: $A \rightleftharpoons B$. Kezdetben ($t = 0$) csak A anyag van, termék (B) nincs. A diagram vízszintes tengelyén a reakcióidőt (t), függőleges tengelyén a koncentrációt (c) tüntesse fel!

A HELYES VÁLASZ:

Az ábrából ki kell derülnie, hogy a) [A] és [B] is vízszintes vonalhoz tart, b) [A] és [B] egyensúlyban sem egyenlő egymással, valamint c) $[A] + [B] = [A]_0$. (2 pont)

GYAKORI ROSSZ VÁLASZ:

Egyensúlyban [A] és [B] ugyanahhoz az értékhez tart, vagyis $[A]_e = [B]_e$. Többen el is magyarázták, hogy egyensúlyban az átalakulás és a visszaalakulás sebessége azonos (ez igaz), és ez csak akkor teljesülhet, ha a két koncentráció is azonos (ez nem

6. táblázat. A 3. feladat megoldásának eredményei

	KÉMIA	GYÓGYSZ.	BIOLÓGIA	KÖRNYEZ.
Hibátlan válasz (e + indoklás)	31%	4%	1%	0%
A válaszok megoszlása:				
a)	2%	19%	23%	5%
b)	6%	28%	37%	23%
c)	2%	4%	4%	1%
d)	33%	16%	20%	4%
e) indoklás nélkül:	15%	10%	9%	5%



	KÉMIA	GYÓGYSZ.	BIOLÓGIA	KÖRNYEZ.
Hibátlan válasz	38%	10%	6%	5%
Részben jó ($[A]_e = [B]_e$)	48%	66%	51%	19%
Teljesen rossz	13%	11%	28%	19%
Nem válaszolt	2%	13%	16%	58%

7. táblázat. A 4. feladat megoldásának eredményessége

igaz). (Ha – ezt leszámítva – az ábra pontos volt, akkor 1 pontot adtunk.)

Megjegyezzük, hogy ez utóbbi válasz mögött egy jellemző tévképzet húzódik meg. Nemzetközi vizsgálatokból is ismert, hogy a tanulók egy része szerint egyensúlyban a kiindulási anyagok koncentrációja (vagy anyagmennyisége) megegyezik a termékek koncentrációjával (vagy anyagmennyiségével). Ezt a tévképzetet erősítheti az egyensúlyok tanítása során alkalmazott néhány hibás analógia, például arra való hivatkozás, hogy a mérleg két serpenyője mikor van kiegyensúlyozva. További ok lehet, hogy a tankönyvek többsége nem mutat koncentráció–idő görbéket, csak reakciósebesség–idő görbéket a kémiai egyensúlyok tárgyalásánál.

5. feladat

A durranógáz olyan H_2 – O_2 elegy, amelynek elége után csak víz marad vissza. Hány mol hidrogénmolekulát tartalmaz 3 mol durranógáz?

A HELYES VÁLASZ:

2 mol H_2 , ugyanis a durranógázban a H_2 és O_2 molaránya 2:1. (2 pont)

GYAKORI ROSSZ VÁLASZ:

A durranógázban a H_2 és O_2 molaránya 2:1, tehát 3 mol durranógázban $3 \cdot 2 = 6$ mol H_2 van.

8. táblázat. Az 5. feladat megoldásának eredményessége

	KÉMIA	GYÓGYSZ.	BIOLÓGIA	KÖRNYEZ.
Hibátlan válasz	60%	33%	27%	6%
Tipikusan rossz válasz (6 mol)	17%	21%	24%	10%
Egyéb rossz válasz	17%	24%	27%	16%
Nem válaszolt	6%	22%	21%	68%

9. táblázat. A 6. feladat megoldásának eredményessége

	KÉMIA	GYÓGYSZ.	BIOLÓGIA	KÖRNYEZ.
Hibátlan válasz	40%	12%	4%	0%
Hibás válasz	23%	23%	18%	4%
Nem válaszolt	38%	64%	78%	96%

Megjegyezzük, hogy a hallgatók tanulják az elegy 1 móljának fogalmát, illetve az $n = \sum n_i$ és az $n_i = x_i \cdot n$ egyenleteket, ahol n az elegy anyagmennyisége, n_i az i -edik anyagfajta anyagmennyisége és x_i az i -edik anyagfajta móltörtje. Ennek ellenére nem tudják értelmezni az elegy anyagmennyiségét konkrét esetben. (Nem kizárt, hogy néhány esetben a molarány és az anyagmennyiség közötti különbségtétel hiánya húzódik meg.)

6. feladat

Írja fel annak a folyamatnak a reakcióegyenletét, amelynek energiaváltozása megegyezik a metanol (CH_3OH) képződési entalpiájával szobahőmérsékleten és 1 bar nyomáson!

A HELYES VÁLASZ:

$C(\text{grafit}) + 2 H_2(g) + 0,5 O_2(g) = CH_3OH(f)$ (2 pont)

GYAKORI ROSSZ VÁLASZOK:

– Sokan a metanol égési egyenletét írták fel.

– Sok hallgató olyan, a fentitől eltérő reakcióegyenletet írt fel, amiben metanol keletkezik, pl. $CH_4(g) + 0,5 O_2(g) = CH_3OH(f)$.

Megjegyezzük, hogy a hallgatók ismerik az anyag képződési entalpiájának definícióját, mely szerint az megegyezik azzal a reakciónak az entalpiaváltozásával, amely-

ben adott anyag 1 mólja referencia állapotú elemeiből képződik. Ezt a definíciót azonban konkrét esetre sokan nem tudták értelmezni.

7. feladat

Milyen képződési entalpiákat kell ismerünk, hogy ki tudjuk számítani a magnéziumfém és a 0,1 M sósavoldat között végbemenő reakció standard moláris reakcióentalpiáját?

A HELYES VÁLASZ:

A $Mg^{2+}(aq)$ és a $H^+(aq)$ képződési entalpiáját (2 pont). Jó válasz az is, hogy a $Mg^{2+}(aq)$ -nak a $H^+(aq)$ -hoz viszonyított képződési entalpiáját kell ismerni.

Mivel a 0,1 molos sósavban nincsenek HCl-molekulák, hanem hidratált H^+ - és Cl^- ionok vannak benne, a reakció ionegyenlete a következő: $Mg(s) + 2 H^+(aq) = Mg^{2+}(aq) + H_2(g)$. $Mg(s)$ és $H_2(g)$ referenciaállapotú elemek, ezért képződési entalpiájuk nulla, tehát a $Mg^{2+}(aq)$ és a $H^+(aq)$ képződési entalpiáját kell ismerni. Gyakran alkalmazott számítási mód, hogy az akvatált hidrogénion képződési entalpiáját nullának tekintik, és ebben az esetben elegendő az akvatált magnéziumion relatív képződési entalpiájának ismerete.

GYAKORI ROSSZ VÁLASZ:

Mivel a reakció egyenlete a következő formában (is) felírható: $Mg + 2 HCl = MgCl_2 + H_2$, a gyakori rossz válasz szerint a HCl és az $MgCl_2$ képződési entalpiáját kell ismerni. Itt a hallgató nem vette figyelembe, hogy valójában HCl és $MgCl_2$ nincs jelen. Mivel ekkor a hallgató legalább azt felismerte, hogy az elemek képződési entalpiája nulla, ezt a választ 1 pontra értékeltük.

Megjegyezzük, hogy valójában az ionok képződési entalpiája függ attól is, hogy milyen ionok vannak az oldatban és milyen koncentrációban. Egyébként az ionok abszolút képződési entalpiája is meghatározható. Kétségtelenül zavaró – és számos tévképzet forrása –, hogy a reakcióegyenletek írásakor például a „HCl” képletet egyaránt használjuk a hidrogén-klorid-gáz és a sósav jelölésére, az „ $MgCl_2$ ” képletet pedig a szilárd magnézium-klorid és a magnézium-klorid oldatának jelölésére is.

A rossz válaszok egyik oka az lehet, hogy az ionegyenletek felírása a hallgatóknál főleg az analitikai kémiához kötődik. Lehetséges, hogy egy analitikai kémia órán íratott felmérésben a hallgatók a helyes ionegyenletet írták volna fel.

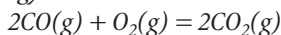


	KÉMIA	GYÓGYSZ.	BIOLÓGIA	KÖRNYEZ.
Hibátlan válasz	6%	2%	0%	0%
Gyakori rossz (részben jó) válasz	35%	47%	23%	1%
Teljesen rossz válasz	42%	16%	39%	3%
Nem válaszolt	17%	35%	52%	96%

10. táblázat. A 7. feladat megoldásának eredményessége

8. feladat

A szén-monoxid égésének termokémiai egyenlete a következő:



$$\Delta_r H = -566 \text{ kJ/mol}$$

Mennyi hő szabadul fel 0,500 mol szén-monoxid égésekor?

A HELYES VÁLASZ:

141,5 kJ (2 pont). A termokémiai egyenlet ugyanis – jelen esetben – 2 mol CO égésére vonatkozik.

GYAKORI ROSSZ VÁLASZ:

Feltételezik, hogy a reakcióentalpia a CO 1 moljára vonatkozik, mivel mértékegysége kJ/mol, így a válasz: 283 kJ.

Megjegyezzük, hogy a reakcióentalpia mértékegysége – elsősorban középiskolában – számos félreértés forrása. Mivel az anyagmennyiség értelmezése általában szűk körű (legtöbbször elemi egységként csak valóságos részecskéket adnak meg), a tanulók azt hiszik, hogy a mértékegységben lévő „/mol” valamelyik, a reakcióban szereplő anyag 1 molját jelenti. A probléma „elkenése”, de semmi esetre sem megoldása az, amit némely tankönyvekben látni, hogy a reakcióentalpia mértékegységének a kJ-t adják meg. Megítélésünk szerint az eddigieknél sokkal nagyobb figyelmet kell szentelni arra, hogy

11. táblázat. A 8. feladat megoldásának eredményessége

	KÉMIA	GYÓGYSZ.	BIOLÓGIA	KÖRNYEZ.
Hibátlan válasz	56%	50%	29%	5%
Rossz válasz	33%	33%	38%	13%
Nem válaszolt	10%	17%	32%	83%

12. táblázat. A 9. feladat megoldásának eredményessége

	KÉMIA	GYÓGYSZ.	BIOLÓGIA	KÖRNYEZ.
Jó válasz (24,3)	17%	0%	0%	0%
Jó becslés (27)	13%	12%	11%	6%
9-szeresére nő	10%	23%	36%	13%
Egyéb rossz válasz	23%	19%	23%	9%
Nem válaszolt	38%	45%	29%	73%

mi lehet elemi egység az anyagmennyiség meghatározásakor.

9. feladat

Ha egy kémiai reakció sebessége háromszorosára nő a hőmérsékletet 25°C-ról 5°C-kal megemelve, hányszorosára nő ugyanennek a reakciónak a sebessége, ha a hőmérsékletet 25°C-ról 15°C-kal növeljük meg?

A JÓ VÁLASZ:

A reakciósebesség 24,3-szeresére nő (2 pont). Kis hőmérséklet-tartományban a sebességi együttható hőmérsékletfüggése majdnem mindig leírható az Arrhenius-egyenlettel: $k = A \exp(-E/RT)$. Ha a hőmérséklet $T_1 = 298,15 \text{ K}$ -ről $T_2 = 303,15 \text{ K}$ -re növekszik, akkor k értéke háromszorosára nő, amiből E értéke kifejezhető:

$$3(A \exp(-E/RT_1)) = A \exp(-E/RT_2)$$

$$\ln 3 - E/RT_1 = -E/RT_2$$

$$E = \frac{\ln 3}{(1/RT_1 - 1/RT_2)}$$

Ha a hőmérséklet $T_1 = 298,15 \text{ K}$ -ről $T_3 = 313,15 \text{ K}$ -re növekszik, akkor k értéke x -szeresére növekszik:

$$x(A \exp(-E/RT_1)) = A \exp(-E/RT_3)$$

$$x = \frac{\exp(-E/RT_3)}{\exp(-E/RT_1)}$$

A fenti adatok behelyettesítésével $x = 24,3$ -at kapunk.

JÓ BECSLÉS:

A reakciósebesség 27-szeresére nő (2 pont). Ha 5 fok hőmérséklet-emelkedésre k értéke 3-szorosára növekszik, akkor újabb 5 (összesen 10 fok) hőmérséklet-emelkedésre k értéke $3^2 = 9$ -szeresére növekszik, és még 5 (összesen 15 fok) hőmérséklet-emelkedésre k értéke újra megháromszorozódik, összesen $3^3 = 27$ -szeresére növekszik. A jó válasza és a jó becslésre is megadtuk a 2 pontot.

GYAKORI ROSSZ VÁLASZ:

Ha k értéke 5 fok hőmérséklet-emelkedésre háromszorozódik, akkor $3 \cdot 5$ fok hőmérséklet-emelkedésre $3 \cdot 3 = 9$ -szer lesz nagyobb.

10. feladat

Minden állítást minősítsen, hogy igaz-e vagy hamis. Indokolja is meg röviden a választ!

- A szén égése nem önként végbemenő folyamat, hiszen ahhoz, hogy a szén égni kezdjen, meg kell gyújtani.
- A cukor oldhatósága vízben keveréssel növelhető.
- Két egyensúlyra vezető folyamat közül az a gyorsabb, amelyiknek az egyensúlyi állandója nagyobb.
- Megfelelő katalizátor használatával elérhető, hogy egy kémiai átalakulás nagyobb mértékben menjen végbe, mint katalizátor nélkül.

A HELYES VÁLASZOK:

- Hamis. A reakció szobahőmérsékleten is végbemegy, csak nagyon lassan.
- Hamis. Az oldódás sebessége növelhető, de mértéke – az oldhatóság – nem. (Feltételezve, hogy a hőmérséklet állandó marad, és csak a keverés előtti és utáni állapotokról van szó.)
- Hamis. Az egyensúlyi állandó nagyságának és az egyensúly beállása sebességének nincs köze egymáshoz.
- Hamis. A katalizátor csak a reakciósebességet növeli meg, de nem befolyásolja az egyensúlyi állapotot.

GYAKORI ROSSZ VÁLASZOK:

- Igaz, a szén tényleg csak meggyújtásra ég. (Ebben a válaszban keverednek a reakciókinetikai és a termodinamikai fogalmak.)
- Igaz, a cukor tényleg jobban oldódik, ha keverik az oldatot. (Itt a hétköznapi tapasztalat és nyelvhasználat (jobban oldódik – gyorsabban oldódik) okozhat gon-



	KÉMIA	GYÓGYSZ.	BIOLÓGIA	KÖRNYEZ.
a) Jó válasz	40%	22%	25%	6%
b) Jó válasz	71%	44%	39%	10%
c) Jó válasz	46%	22%	22%	5%
d) Jó válasz	75%	61%	57%	31%
Nem válaszolt	2%	10%	4%	39%

13. táblázat. A 10. feladat megoldásának eredményessége

dot. A viszonylag sok jó válasz oka valószínűleg az, hogy az oldódási egyensúly gyakori példa a fizikai kémiában a kémiai potenciál tárgyalásánál.)

c) Igaz, ha nagyobb az egyensúlyi állandó, akkor gyorsabb az egyensúly beállta is. (Nem vették figyelembe, hogy az egyensúlyi állandó reakciósebességi együtthatók hányadosa és ugyanazt az egyensúlyi állandót kapjuk meg, ha kicsi és ha nagy reakciósebességi együtthatók hányadosát vesszük.)

d) Igaz, a katalizátor az egyensúlyt is befolyásolja. (Nem tesznek különbséget a reakciósebesség változása és az egyensúlyi állapot változása között. A viszonylag jó eredmény részben annak köszönhető, hogy ez a témakör a középiskolás anyagban is kiemelten szerepel.)

Az eredmények értékelése

A feladatlap megoldásának eredménye e cikk szerzőit több szempontból is meglepte. Bár a tanítási és vizsgatapasztalatokból ismert volt, hogy a kémia alapszakos, gyógyszerész, biológia alapszakos és környezettan alapszakos hallgatók kémiatudása között (ebben a sorrendben) jelentős különbség van, nem vártuk azt, hogy szinte minden egyes feladatnál ennyire jelentősen különböző legyen a jó válaszok aránya az egyes évfolyamokban. Ez a különbség egyébként nemcsak a kémiai előtanulmányok mennyiségére vezethető vissza, hanem a kémia iránti érdeklődésük szintjét is jelzi. Az egyes szakok hallgatóinak motiváltságát az üresen hagyott („nem válaszolt”) feladatok aránya is jól mutatta.

Nem vártuk azt, hogy egyes, már a középiskolában megtanított ismereteket (pl. molekulák száma ideális gázban) ennyire sokan még az egyetemen sem tudnak jól alkalmazni. Gyakori tapasztalat volt, hogy helytelen módon termodinamikai ismeretek alapján próbáltak meg reakciókinetikai feladatokat megoldani és viszont. Ennek hátterében az állt, hogy egy adott konkrét kémiai problémáról nem tudták

eldőnteni, hogy az a két tématerület közül melyikhez tartozik. Több feladat eredményéből kiderült, hogy lexikális szinten jól ismert fogalmakat (pl. gázelegyek összetétele, vagy a képződési entalpia értelmezése) nem tudnak alkalmazni. Rossz válaszokat kapunk, ha a feladat nem a definíció szövegének leírása, hanem a definíció alkalmazása konkrét esetben. Ez megfordítva is igaz volt: akkor kaptunk tömege-



sen jó választ egy kérdésre, ha az közvetlenül lexikális ismeretre vonatkozott.

A legfőbb következtetés az volt a számunkra, hogy az oktatás során tudatosan fel kell kutatni a félreértelmezések lehetőségét és csökkenteni kell a tévképzetek kialakulását. Az eddigienél is jobban kell arra törekedni, hogy minden fogalom bevezetése után megmutassuk azok alkalmazását konkrét példákon. A felmérés tanulságait felhasználjuk a fizikai kémia oktatás javítására.

Összefoglalás

A tévképzetek kialakulásának legfőbb oka, hogy a hallgatók a tanult tudományos fogalmak helyett hétköznapi fogalmakban gondolkodnak. A tévképzetek kialakulásához és azok megerősödéséhez gyakran

hozzájárul a középiskolai oktatás is. ELTE kémia, biológia és környezettan alapszakos, valamint SOTE gyógyszerészhallgatók tévképzeteit vizsgáltuk termodinamikai és reakciókinetikai témákban. A négy évfolyam a feladatlapot rendre 43,0%, 17,2%, 5,3% és 24,5% átlagos eredménnyel írta meg. Az egyes évfolyamok hallgatóinak kémiai szemlélete között tehát jelentős különbséget találtunk és annál jobb eredményt értek el, minél több kémiát tanultak korábban. Kiderült ugyanakkor az is, hogy a nagyobb lexikális tudás nem jelenti azt, hogy egy hallgatónak kevesebb tévképzete van.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS. Köszönjük Keszei Ernő, Nagy Tibor, Zádor Judit és Zsély István Gyula megjegyzéseit a kézirat egy korábbi változatához. Megjegyzéseiket beépítettük a szövegbe.

IRODALOM

- Barke, H-D, Hazari, A. és Yitbarek, S., Misconceptions in chemistry. Addressing perceptions in chemical education. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009.
- Garnett, P., Garnett P és Hackling, M., Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. Studies in Science Education (1995) 25, 1, 69.
- Horton, C., Student preconceptions and misconceptions in chemistry (Student alternative conceptions in chemistry), 2007. www.daisley.net/hellevator/misconceptions/misconceptions.pdf (utoljára megtekintve: 2011. 02. 03.)
- Kind, V., Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas, 2004. www.chemsoc.org/learnnet/miscon.htm (utoljára megtekintve: 2011. 02. 03.)
- Nahalka I., Konstruktív pedagógia – egy új paradigma a láthatáron (III.). Iskolakultúra (1997) 7, 4, 3.
- Nahalka I., Hogyan alakul ki a tudás a gyerekekben? Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.
- Radnóti K., Elsőséves hallgatók kémiatudása. A Kémia Tanítása,(2010a) 18, 1, 13.
- Radnóti K., Felmérés az elsőséves hallgatók kémiatudásáról. Első rész. Magyar Kémikusok Lapja (2010b) 65, 5, 158.
- Radnóti K., Felmérés az elsőséves hallgatók kémiatudásáról. Második rész. Magyar Kémikusok Lapja (2010) 65, 6, 192.
- Taber, K., Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure. Volume I: theoretical background. Volume II: classroom resources. Royal Society of Chemistry, London, 2001.
- Talanquer, V., Commonsense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions. Journal of Chemical Education (2006) 83, 5, 811.
- Tóth Z., Egy kémiai tévképzet nyomában. Az egyensúlyi állandó bevezetésének lehetőségei és problémái. Iskolakultúra (1999) 9, 2, 108.
- Tóth Z., „Bermuda-háromszögek” a kémiában. Iskolakultúra (2000) 10, 10, 71.
- Tóth Z., A kémiai fogalmak természete. Iskolakultúra (2002) 12, 4, 92.
- Tóth Z., Kémiai tévképzetek. Természet Világa. (2009) 140, 1, 25.
- Tóth Z., Kémia, vegyész-mérnöki és biomérnöki alapképzésüket kezdő egyetemi hallgatók kémiai alapismereteinek vizsgálata. Középiskolai Kémiai Lapok (2010) 37, 1, 62.
- Tóth Z., Radnóti K., Elsőséves BSc-hallgatók sikeressége egy meghatározó reagenssel kapcsolatos számítási feladat megoldásában. Középiskolai Kémiai Lapok (2009) 36, 5, 375.
- Turányi T., Reakciómechanizmusok vizsgálata. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2010.