

TÓTH ZOLTÁN

Korszerű kémia tantárgypedagógia – híd a pedagógiai kutatás és a kémiaoktatás között




SZAKTÁRNET

DEBRECENI EGYETEM
TANÁRKÉPZÉSI KÖZPONT

TÓTH ZOLTÁN

Korszerű kémia tantárgy-pedagógia

Híd a pedagógiai kutatás és a kémiaoktatás között



Debreceni Egyetemi Kiadó
Debrecen University Press
2015

Szaktárnet-könyvek 5.

Sorozatszerkesztő:

Maticsák Sándor

Készült

a SZAKTÁRNET (TÁMOP-4.1.2.B.2-13/1-2013-0009)
pályázat keretében

Lektorálta:

Dobóné Tarai Éva

Technikai szerkesztő:

Buzgó Anita

Borítóterv:

Nagy Tünde

ISBN 978 963 473 872 5

© Tóth Zoltán

© Debreceni Egyetemi Kiadó – Debrecen University Press,
beleértve az egyetemi hálózaton belüli elektronikus terjesztés jogát is.

Kiadta a Debreceni Egyetemi Kiadó, az 1795-ben alapított
Magyar Könyvkiadók és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja.
www.dupress.hu

Felelős kiadó: Karácsony Gyöngyi
Készült a Kapitális Nyomdában, 2015-ben.

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	5
1. Egy kutatási eredményekre támaszkodó kémiaoktatás elméleti alapjai	
1.1. Tanuláselméleti alapok	7
1.1.1. A tanulás mint információfeldolgozás	7
1.1.2. A konstruktivista tanuláselmélet.....	9
1.1.3. A kognitív terhelési elmélet	11
1.2. A tanulók kémiai gondolkodásának jellemzői	13
1.2.1. A primitív axiomák (p-primek) a tanulók gondolkodásában.....	13
1.2.2. Implicit feltételezések (Talanquer modellje).....	18
1.3. Miért nehéz a kémia?.....	23
1.3.1. A kémiai fogalmak természete	23
1.3.2. Fogalmi fejlődés és fogalmi váltás a kémia tanulása során.....	36
1.3.3. Nyelvi nehézségek	44
1.3.4. Megértési zavarok a kémia tanulásában.....	46
1.3.5. A tudomány logikája.....	55
2. A kémiaoktatás eszközei, eljárásai és módszerei a kutatási eredmények tükrében	
2.1. A tanterv.....	57
2.2. A tananyag feldolgozása	58
2.3. A tankönyv	67
2.4. A tanítási módszer	69
2.4.1. A kémia tanításának hagyományos módszerei.....	70
2.4.2. A konstruktivista pedagógia	72
2.5. Tanulásszervezési eljárások	75
2.5.1. Frontális módszerek	75
2.5.2. A kooperatív tanítás-tanulás	76
2.5.3. A projektmódszer.....	78

2.6. A szemléltetés.....	79
2.6.1. A kémiai kísérlet.....	79
2.6.2. Modellek használata.....	86
2.6.3. Információs és kommunikációs technológiák	90
2.7. A problémamegoldás	91
2.7.1. A természettudományos problémamegoldó gondolkodás	93
2.7.2. Problémamegoldás és kémiai kísérlet.....	99
2.7.3. Kémiai számítások.....	100
2.8. Ellenőrzés és értékelés	112
3. A kémiaoktatás kutatásának módszertani alapjai	
3.1. Kutatásmódszertani alapok	117
3.1.1. A kémia szakmódszertan mint tudomány	117
3.1.2. A kémiaoktatás kutatásának folyamata.....	121
3.1.3. A kutatási eredmények publikálása	129
3.2. Tudásszerkezet-vizsgálatok	135
3.2.1. A szóasszociációs teszt	135
3.2.2. A tudástérelmélet	160
Szakirodalom.....	173

Bevezetés

Köztudott – és számos attitűdmérés igazolja (pl. Csapó, 2000) –, hogy világszerte a kémia egyike a legkevésbé szeretett, legnehezebbnek tartott tantárgyaknak. A kémia tudományában járatos, ám a kémia közoktatását legfeljebb csak gyermekei, unokái révén ismerő szakemberek gyakran egyszerűsítik le ezt a kérdést arra, hogy mindez azért következett be, mert a kémiatanárok nem kísérleteznek a kémiaórákon. Sajnos, a probléma sokkal összetettebb...

A kémiaoktatás eredményességének javítása, valamint a tanulók kémiával kapcsolatos attitűdjeinek pozitív irányú megváltoztatása szükségessé teszi a kémiaoktatás módszertani megújítását is. A módszertani megújítás nem csak a kémiatanárok módszertani kultúrájának fejlesztését jelenti, hanem a tantervkészítők és a tankönyvírók szemléletváltását is.

A kémiaoktatás – mint általában az oktatás – tele van olyan szólamokkal és kinyilatkozásokkal, amelyek alig többek a személyes véleményeknél, meggyőződéseknel, és erre alapozva készülnek tantervek, tananyagok, és többnyire ezek tükröződnek a tanítás gyakorlatában is. Ahhoz, hogy erről a pontról elmozduljunk, és valóban előbbre vigyük a kémiaoktatást, ismernünk és – megfelelő kritikai értékelés után – alkalmaznunk kell a kémiaoktatás kutatásának eredményeit. Ennek megvalósítása azonban számos nehézségbe ütközik. Az egyik, hogy a kémiaoktatás kérdéseivel – és általában a természettudományok oktatásának kérdéseivel – foglalkozó, elsősorban nemzetközi folyóiratok – és a bennük megjelenő tanulmányok – száma igen nagy, és jelentős részük ingyenesen nem, vagy csak nagy nehézségek árán érhető el.

Másrészt, bár – elvileg – minden kémiatanártól elvárható, hogy kövesse szakmájának – a kémiatanári szakmának – a legújabb eredményeit, ez az elvárás jelenleg még illuzórikus. A szakirodalom napra kész követése jogos elvárás viszont azokkal szemben, akik a kémiatanárokat képzik és továbbképzik. Itt elsősorban a szakmódszertanosokra hárul ez a feladat, de Magyarországon – minden utóbbi időben felcsillanó jó kezdeményezés (lásd: az MTA szakmódszertani pályázata) ellenére – a szakmódszertanok és a szakmódszertanosok helyzete meglehetősen tisztázatlan (Tóth, Pusztai, Chrappán és Kovács, 2011). Ugyanakkor hazai és külföldi tapasztala-

latok is azt mutatják, hogy azok a tanárok képesek a szakirodalom követésére és a kutatási eredmények gyakorlatba való átültetésére, akik maguk is részt vesznek ilyen kutatásokban (doktori képzésben, kutatótanári minősítésben, pedagógiai fejlesztésekben stb.) (Tóth, 2012).

További probléma forrása, hogy még a szakirodalomban megjelenő tanulmányok is rendkívül sokfélék felhasználhatóságukat, megbízhatóságukat tekintve (Reid, 2012). Kétséggkívül fontosak a *leíró kutatások* is, de hasznosságuk a továbblépés szempontjából meglehetősen korlátozott. A *szellemi termék jellegű kutatás* a tanítás új irányát mutatja be, és evidenciákat – de csak azokat! – sorakoztat fel hatékonyságának bizonyítására. Az ilyen kutatás hasznossága is igen korlátozott. Az *innovatív kutatások* olyan új eljárásokat ismertetnek, amelyek a régiak hibáit küszöbölik ki. Az innovatív kutatás igyekszik bizonyítani az új eljárás hatékonyságát. A kutatás legmagasabb szintjét képviselik az *alapvető kutatások*, melyeknek az elsődleges célja annak feltárása, hogy bizonyos dolgok miért működnek, és más dolgok miért nem. Az alapvető kutatások a dolgok működése mögött rejlő elveket keresik. A „miért?” ismeretében előfeltevéseket tehetünk, és azokat kísérletileg is ellenőrizhetjük.

Ebben a szakkönyvben arra vállalkoztunk, hogy felvázoljuk egy kutatásalapú kémiaoktatás lényegét, és felhívjuk a figyelmet néhány, a kémiaoktatás megújítása szempontjából fontosnak tartott innovatív és alapvető kutatásra.¹

¹ Ezen szakkönyv megjelenésével egy időben jelent meg egy gyakorlati és elméleti ismereteket egyaránt tartalmazó kémia tantárgypedagógiai jegyzet az ELTE gondozásában: Szalay Luca (szerk.) (2015): A kémiatanítás módszertana. ELTE, Budapest. http://tomc.elte.hu/sites/default/files/kiadvany/kemiatanitas_modszertana_jegyzet.pdf

1. Egy kutatási eredményekre támaszkodó kémiaoktatás elméleti alapjai

A kutatási eredményekre támaszkodó kémiaoktatás elméleti alapjainak tárgyalása során először azt kell görcső alá vennünk, hogy miért is nehéz a kémia, mi az oka a fogalmi megértési zavaroknak. Ehhez az elméleti keretet a kognitív pszichológia (Eysenck és Keane, 1997), illetve három tanulásemélet: az információfeldolgozási modell, a konstruktivista pedagógia és a kognitív terhelési elmélet jelenti.

1.1. Tanuláseméleti alapok

1.1.1. A tanulás, mint információfeldolgozás

Az információfeldolgozási modell (1. ábra) szerint a környezetből érkező rengeteg információnak csak töredéke jut el az ún. érzékelési szűrőn keresztül a munkamemóriába (vagy más néven rövid távú memóriába). A munkamemóriában az információ csak rövid ideig (néhányszor tíz másodpercig) tartózkodik. Ez alatt vagy létrejön a feldolgozás és átkerül a hosszú távú memóriába, vagy felejtés következik be. A munkamemória kapacitása véges és kicsi (általában 7 ± 2 információegység). (Ennek később, az ún. kognitív terhelési elméletben döntő szerepe lesz.)

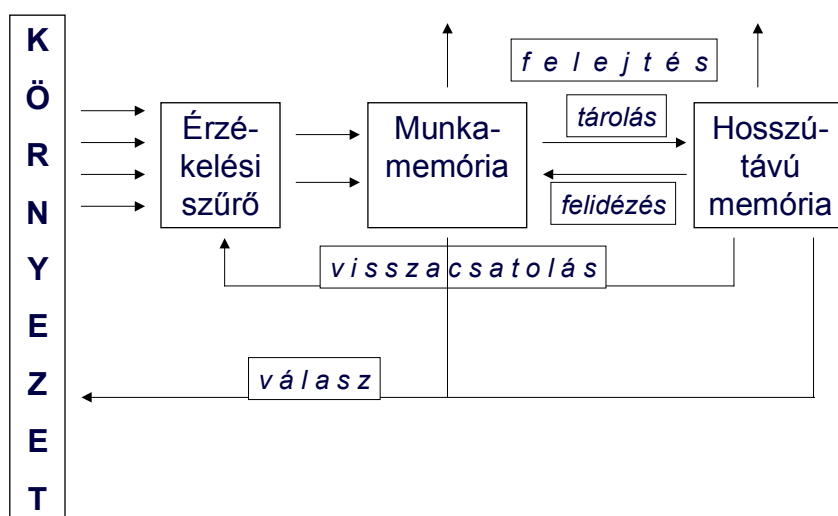
A munkamemóriában feldolgozott új információ hosszú távú memóriában való rögzítése alapvetően négyféle módon (értelmes tanulás, tévképzet kialakulása, lineáris sorban való rögzítés, magolás) történhet. Amennyiben az új információ illeszkedik a már meglévő ismeretekhez, úgy *értelmes tanulás* jön létre. Értelmes tanulással rögzíthető ismeret például a közel azonos molekulatömegű szerves vegyületek relatív forráspontja, amennyiben a tanuló tisztában van a másodrendű kémiai kötések kialakulásának szerkezeti feltételeivel, relatív erősségével és kapcsolatával az anyagok forráspontjával.

Előfordulhat azonban, hogy az új ismeret illeszkedése a már meglévő ismerethez csak *látszólagos*, ekkor jön létre a fogalmi megértés zavara, így alakulhat ki a tévképzet. Például a középiskolás tanulók jelentős hányada gondolja azt, hogy a béta-sugárzást alkotó elektronok az atom elektronburkából származnak és nem az atom magjából. Az új ismeret (az

atomból kilépő egyik sugárzás elektronokból áll) és a már meglévő ismeret (az atom atommagból és elektronburokból áll, ez utóbbi tartalmazza az elektronokat) látszólag jól illeszkedik egymáshoz, a tanuló azt hiszi, hogy a meglévő ismeretei alapján helyesen értelmezi a béta-sugárzás eredetét.

Az ismeretek *lineáris sorban való rögzülése* nagyon gyakori a természettudományokban. Így rögzítünk sorozatokat, levezetéseket. Kémiában a leggyakoribb előfordulása ennek a telített, nyílt láncú szénhidrogéneknek a homológ sorban elfoglalt helye és molekulájuk szénatomszáma közötti kapcsolat megállapítása. Kezdetben a tanulók ujjukat használva számolják ki, hogy pl. hány szénatomos a hexán.

A *magolás* – noha van némi pejoratív felhangja – létező, gyakran szükségyszerű tanulási forma. Gondoljunk például kémiai képletek, adatok tanulására. Ilyen esetekben segíthetünk a tanulóknak megfelelő memorizálási technikákkal, vagy ösztönözhetjük őket arra, hogy ilyeneket találjanak ki. Példaként említhetjük azt a kérdést, hogy hány hidrogénkötéssel kapcsolódik egymáshoz a DNS-ben az adenin és a timin, valamint a guanin és a citozin. Ezt csak akkor tudnák a tanulók értelmes tanulással rögzíteni, ha ismernék a DNS-molekulában található négy nukleotidbázis molekulájának pontos szerkezeti képletét. Mivel ennek ismerete nem elvárás, ezért memorizálási technikával segíthetjük a rögzítést (lásd pl. Ludányi, Ludányi, Szabó és Tóth, 2015: 107). A baj akkor van, ha olyan ismereteket is, amelyeket értelmes tanulással lehetne rögzíteni, memorizálási technikával rögzítik a tanulók – olykor tanáruk biztatására. Szép példa erre az alapvető fizikai és kémiai mennyiségek közötti összefüggések (sűrűség-tömeg-térfogat, moláris tömeg-tömeg-anyagmennyiség stb.) tanítása-tanulása. Tudásszerkezet-vizsgálatokkal igazoltuk, hogy a memorizálási technikával (az ún. háromszögtechnikával) tanult összefüggések nehezen transzferálható ismereteket eredményeznek szemben az értelmes tanulással (esetünkben pl. dimenzióanalízissel) rögzített ismeretekkel (Tóth, 2005, 2006, 2007, 2012: 44).



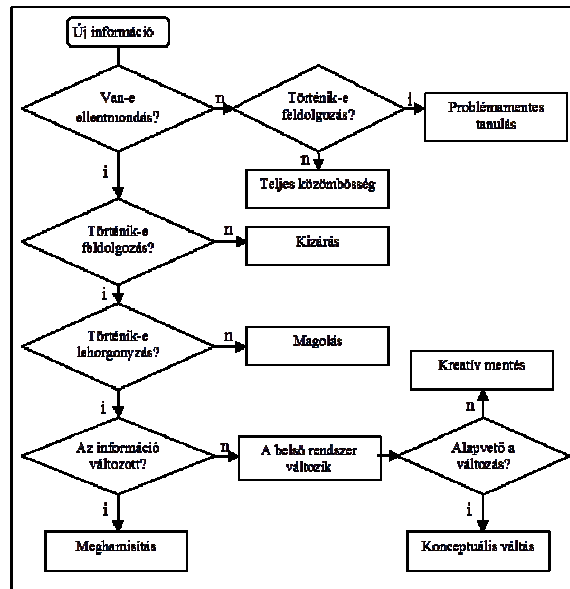
1. ábra:

*A tanulás információfeldolgozási modellje
(Johnstone, 2000 nyomán)*

1.1.2. A konstruktivista tanuláselmélet

A konstruktivista tanuláselmélet (2. ábra) szerint a tanulás kimenetele és fajtája szempontjából döntő annak a kérdésnek a vizsgálata, hogy az új ismeret és a már meglévő ismeretek (kognitív értelmező rendszer) között van-e ellentmondás. Ennek a kérdésnek a részletes vizsgálata alapján lehet levezetni a tanulás hétféle kimenetelét (közömbösség, problémamentes tanulás, kizárás, magolás, meghamisítás, kreatív mentés, konceptuális vagy fogalmi váltás) (Nahalka, 1998a, 1998b, 1998c, 2002; 2004a). Vegyük példaként a tanulóknak az anyag szerkezetére vonatkozó ismereteit. Felmérések bizonyítják, hogy a tanulók még iskolai tanulmányaik vége felé is döntően a folytonos anyag modelljéből próbálják értelmezni az anyagok tulajdonságait és változásait (pl. Nahalka, 2002; Tóth, 2003, 2004a, 2004b, 2004c, 2009). Mi történik, ha egy ilyen folytonos anyagképpel rendelkező tanuló szembe találja magát azzal az új információval, hogy az anyag apró részecskékből (atomokból, ionokból, molekulákból) épül fel? Hogyan rögzítheti ezt az eddigi anyagképeének ellentmondó új információt? Előfordulhat, hogy nem fogadja el, azaz nem tanulja meg és nem hajlandó ezt az új ismeretet használni. Ezt nevezzük *kizárásnak*. Az

érzékkelhető ellentmondás ellenére is megtörténhet a rögzítés (feldolgozás) például azért, mert meg kell tanulni és az iskolában „vissza kell adni” ezt az új ismeretet. Ezt nevezzük *magolás*nak. További lehetőség, hogy a tanuló megpróbálja ezt a két dolgot egymással összekapcsolni („lehorgonyzás”). Ez csak úgy lehetséges, ha valamelyik ismeret megváltozik. Amennyiben az információ változik meg, létrejön egy tévképzet, és ezt a tanulást a modell *meghamisítás*nak nevezi. Ilyen lehet például az, hogy a tanuló elfogadja ugyan, hogy az anyag apró részecskékből áll (pl. cseppekből, szemcsékből), de ezeket ugyanolyan tulajdonságokkal (színnel, sűrűséggel, keménységgel) ruházza fel, mint magát az anyagot. A fogalmi fejlődés magasabb fokát jelenti a *kreatív mentés*, ami akkor jön létre, ha a belső értelmező rendszerben történik változás, bár ez nem alapvető változás. Például a tanuló elfogadja, hogy az anyag kémiai részecskékből (atomokból, molekulákból, ionokból) épül fel, és ezeknek a részecskéknak a tulajdonságai nem egyeznek meg az anyagi rendszer tulajdonságaival, de feltételezi, hogy a részecskék között valamilyen folytonos anyag (pl. levegő) található. A *konceptuális (vagy fogalmi) váltás* egy olyan minőségi változás, melynek során a folytonos anyagképet felváltja a részecskeszemlélet.



2. ábra:

A konstruktivista tanulásmódel blokdiagramja
(Nahalka, 1998b és 2002 nyomán).

1.1.3. A kognitív terhelési elmélet

A pszichológiában széles körben elfogadott az a megközelítés, hogy az embereknek a világról összegyűjtött tudása ún. sémákban tárolódik (Neisser, 1984; Eysenck és Keane, 1997). Ezek a sémák a gondolkodás vagy cselekvés olyan szervezett mintázatai, amelyek tapasztalatainkat azonnal előhívható és a felhasználás szempontjainak megfelelő formában tárolják. A tanulás ebben a fogalomrendszerben nem más, mint a meglévő sémákból újabb, átfogóbb sémák létrehozása. Egy adott témakör szakértőit az különbözteti meg a kezdőktől, hogy a témakörrel kapcsolatos sémakészletük sokkal gazdagabb és sokkal integráltabb is. A tanulás egyik legfontosabb kognitív színtere a munkamemória (1. ábra), amelyben az információ feldolgozása, vagyis az új, integrált sémák létrehozása történik. Ennek a folyamatnak a hatékonysága attól függ, hogy a feldolgozandó sémák száma hogyan viszonyul a munkamemória meglehetősen kicsi és korlátozott kapacitásához.

A kognitív terhelési elmélet (Sweller, 1994; Sweller, Van Merriënboer és Paas, 1998; Cooper, 1998): kiindulópontja az a tény, hogy az emberek munkamemóriájának kapacitása erősen korlátozott: 7 ± 2 információegység (az információegység lehet: adat, művelet, és ezek összefüggő rendszere: tömb, séma) – és ebben a tekintetben nincs nagy különbség az egyes emberek között. (Megjegyezzük, hogy az ún. hosszú távú memória kapacitása – jelen tudásunk szerint – végtelen.) Mivel azonban a kicsi és az óriási sémák is ugyanúgy egy információegységnek számítanak – ugyanannyi helyet foglalnak el a munkamemóriában –, ezért azoknak az embereknek a szellemi teljesítménye lesz jobb, akiknek nagyobb, jobban integrált sémáik vannak. A kognitív terhelési elmélet szerint valójában 2-3 információs sémát tudunk egyidejűleg feldolgozni, mert a feldolgozó mechanizmusok maguk is sémák, melyek szintén foglalják a helyet a munkamemóriában. Az elmélet alapvető célkitűzése, hogy meghatározza azokat a tanulási körülményeket, amelyek minimalizálják a munkamemória terhelését, és ez által hatékonyabbá teszik a tanulást.

Sémáinkat mindaddig megőrizzük, amíg a tapasztalat rá nem ébreszt bennünket használhatóságuk korlátaira. Ez azonban nem jelenti a sémák kidobását, csupán azok módosítását és bővítését, ami egy bizonyos szint fölött már fogalmi váltást eredményezhet. Az oktatás gyakran esik abba a hibába, hogy a régi sémákat figyelmen kívül hagyja, vagy le akarja cserélni az újra, ahelyett, hogy bővítené és hozzá kapcsolná az új ismerete-

ket. Különösen gyakori ez akkor, ha a régi séma hétköznapi tapasztalatokon alapszik, míg az új a tudomány nyelvén van megfogalmazva. Ilyen esetekben a régi és az új séma egymás mellett létezik, és kritikus – általában nem tipikus iskolai – helyzetben a régi győzedelmeskedik, mivel az mélyebben gyökerezik, mint az új séma. Az ilyen, fejlődésben megrekedt hétköznapi sémák állnak a tévképzetek többsége mögött. Ilyen például az anyag szerkezetéről való gondolkodásban a folytonos anyagkép, vagy az anyag tulajdonságainak az anyagot felépítő részecskékre történő levetítése (Taber, 2001; Kind, 2004; Tóth, 2004b).

A kognitív terhelési elmélet több módszert kínál, amelyek bizonyítottan növelik a tanulás hatékonyságát, ugyanis kisebb belső memóriaterheléssel, több lépésben juttatják el a diákokat a probléma megoldásához szükséges sémák kialakításához. Ezek a következők (Cooper, 1998):

Nyílt végű feladatok. Először nem azt kérdezzük, hogy merre kell elindulni a helyes megoldás érdekében, hanem csak azt vesszük sorra, milyen irányokba lehetne egyáltalán elindulni. Az így kapott alternatívákat sorra véve áttekinthető, melyik hova vezet, és így – több lépésben – eljuthatunk a probléma megoldásáig.

Kiegészítések. Egy kész megoldási séma hiányzó részleteinek kitalálása szintén elősegíti a megoldáshoz szükséges séma kialakulását.

Kidolgozott példák. Kész megoldási sémák részletes tanulmányozása, megbeszélése, értelmeztetése szintén hatékony módszere a sémakialakításnak.

Variabilitás. Több hasonló, de egyes részleteiben eltérő feladat elemzése segíti az elmét abban, hogy a hasonlóságok felismerésével, különösebb magyarázat nélkül is megragadja a feladatokban rejlő közös lényegét.

A gondolati és cselekvési sémák építésénél feltétlenül tekintettel kell lennünk a következő tényezők hatására:

Figyelemmegosztás. Ha a bemutatott tananyag vagy feladat több részből áll, amelyek egymástól elkülönülve jelennek meg (pl. ábra és alatta szöveg), akkor a diákok vagy az egyik, vagy a másik részt látják egyszerre, ami megnehezíti azt, hogy egy sémába tömörítsék az információkat. Sokkal hatékonyabbak tehát az olyan ábrák, amelyekben a magyarázó szöveg magában az ábrában található megfelelő szövegdobozban vagy szövegbuborékban.

Redundáns információk. A kezdőknek szükségük lehet arra, hogy a tananyagban részletes, redundáns információk legyenek. (Például egy olyan ábra mellett, amely önmagában is tartalmazza a mondanivalót, a kísérő szöveg tovább mélyítheti a megértést.) Ugyanakkor azok esetében, akik már mélyebb tudással rendelkeznek (szakértők), az ilyen kísérő szöveg (redundancia) nem biztos, hogy segít, inkább zavaró lehet.

Modalitási hatás. Kísérletek bizonyítják, hogy az egyidejűleg feldolgozható sémák száma növelhető, ha hang- és képi információkat is adunk a tanulóknak. Ez azt jelenti, hogy például egy ábrához adott szóbeli magyarázat kisebb kognitív terheléssel jár, mintha a magyarázat is írásbeli lenne.

Számos kutatás igazolja, hogy a munkamemória kapacitásának meghatározó szerepe van a tanulás – és így a kémiatanulás – sikerességében, illetve sikertelenségében (pl. Johnstone, 2010; Reid, 2008, 2012). A gyerekek munkamemória-kapacitása nagyon kicsi, de az életkorral nő, egészen kb. 16 éves korig. Ekkor eléri a felnőttekre jellemző értéket (7 ± 2), és tovább nem növekszik. Ugyanakkor, azt is kimutatták, hogy az azonos életkorú gyerekek munkamemória-kapacitása olyan mértékben különbözhet, hogy akár kétszerese is lehet az egyiké a másikénak (Gathercole és Alloway, 2007).

1.2. A tanulók kémiai gondolkodásának jellemzői

A kémiaoktatás kutatásának elismert szaktekintélyei (pl. Norman Reid, Alex H. Johnstone, Vicente Talanquer, Keith Taber, Hans-Dieter Barke, Hans-Jürgen Schmidt, Geogios Tsapalis és mások) szerint annak, hogy a rengeteg kutatási eredmény ellenére sem változott lényegesen a kémia oktatásának hatékonysága és a tanulók kémiához való viszonyulása az elmúlt évtizedekben, az az egyik oka, hogy nem helyeztünk elég hangsúlyt és nem szereztünk elég ismeretet arra vonatkozóan, hogy hogyan is gondolkodnak a tanulók, amikor kémiát tanulnak, kémiai problémákat oldanak meg. A következőkben röviden áttekintjük az ezzel a témakörrel kapcsolatos kutatások legfontosabb eredményeit.

1.2.1. A primitív axiómák (p-primek) a tanulók gondolkodásában

A p-primek (fenomenológiai primitívek) olyan tapasztalatokon nyugvó naiv axiómák, melyek igazságtartalmát gondolkodás nélkül elfogadjuk

(Tóth, 2013). A fogalmat diSessa vezette be a tanulók fizikai fogalmakkal kapcsolatos megértési problémáinak és hibás feladatmegoldásainak értelmezésére (diSessa, 1983, 1988, 1993). A p-prim nem egy tanult fogalom, hanem a mindennapi tapasztalatból levont következtetés, amely egy-egy jelenséget ír le. Amikor egy természettudományos problémát kell megoldanunk, akkor gyakran nyúlunk ezekhez a rövidített gondolkodási sémákhoz – nem ritkán sikerrel. A p-primék egyik nagy haszna, hogy gyors döntést, válaszadást tesznek lehetővé. Ugyanakkor, mivel gondolkodás nélkül elfogadjuk őket, ezért számos esetben helytelen döntésre jutunk, ha nem elemezzük a megoldandó probléma finom szerkezetét. A p-primék fogalmi megértési zavarokban játszott szerepét elsősorban a fizikában tanulmányozták (pl. diSessa, 1983, 1988, 1993; Masson és Legendre, 2008; Hammer, 1996). Mind a kémiában (Taber, 2008; Tóth, 2013), mind a biológiában (Southerland, Abrams, Cummins és Anzelmo, 2001) a fogalmi megértésben betöltött szerepük gyakorlatilag még feltáratlan.

A több az jobb (hatékonyabb). Sok mindennel úgy vagyunk, hogy ha több van belőle az jobb, mintha kevesebb lenne. Gondoljunk például a pénzre, a tudásra, a munkaerőre, a technikai felszereltségre stb. Vegyünk egy (inkább) fizikai, mintsem kémiai példát: „Mikor lesz melegebb a víz, ha 5 percig forraljuk, vagy ha 15 percig forraljuk?” A tipikus hibás válasz: Ha 15 percig forraljuk a vizet, akkor melegebb lesz, mintha csak 5 percig forralnánk. A helyes válasz viszont az, hogy a hosszabb forralás nem változtatja meg a víz hőmérsékletét. Az valóban igaz, hogy ha tovább melegítjük a vizet, akkor valószínűleg a hőmérséklete magasabb lesz, mintha csak rövid ideig melegítjük. De forrás során a folyadék (és így a víz) hőmérséklete nem változik. Tehát fölösleges energiapazarlás a vizet forrás után is tovább forralni. És most nézzünk egy kifejezetten kémiai problémát: „Melyik erősebb bázis: a piridin vagy a pirimidin?” (Tóth, 2013). A tipikus hibás válasz: A pirimidin, mert abban két nitrogénatom is van. A helyes válasz viszont: A piridin. Ugyanis a báziserősség attól függ, hogy a nitrogénatomon található nemkötő elektronpár mennyire lazán kötött. A pirimidinmolekulában a két nitrogénatom miatt a nemkötő elektronpárok erősebben kötöttek, mint a piridinmolekulában. Ezért a piridin az erősebb bázis.

Egy 429 vegyipari szakmacsoportos 9-13. évfolyamos tanuló körében végzett empirikus vizsgálatunkban (Bárány és Tóth, 2015) a válaszadók 70%-a a pirimidint jelölte meg, és csak 29%-a tudta, hogy a piridin az

erősebb bázis. Indoklásként 63%-uk a következőt írta: „A pirimidin az erősebb bázis, mert két hidrogénion megkötésére képes”.

A több az nagyobb. Ha több almánk, könyvünk, ruhánk van, az nagyobb kupac alma, könyv és ruha. Ez mindennapi tapasztalat. „Hogyan változik az atomok mérete a rendszámmal a periódusokban az s- és a p-mezőben?” (Tóth, 2013). A tipikus hibás válasz: Mivel a rendszámmal nő az atommagban található protonok száma, valamint az elektronburokban lévő elektronok száma, ezért az atomok mérete a rendszámmal nő. Ezzel szemben a helyes válasz: Az atomok mérete csökken. Valóban nő az atommagban lévő protonok és az elektronburokban található elektronok száma. Azonos periódus esetén azonban ezek az elektronok ugyanazon az elektronhéjon találhatóak. A rendszám növekedésével tehát egyre több pozitív töltésű és negatív töltésű részecske közötti vonzás érvényesül, ami az atom méretének csökkenését vonja maga után.

A már említett, vegyipari szakközépiskolások között végzett felmérésben (Bárány és Tóth, 2015) a válaszadók 74%-a szerint nő az atomméret a rendszámmal, 20%-a szerint csökken az atomméret (ez a helyes válasz), 4%-a szerint nem változik, és 2%-a szerint hol csökken, hol nő. A tanulók 56%-a adott ilyen, vagy ezzel tartalmilag megegyező indoklást: „A rendszám növekedésével egyre több lesz az atomot felépítő részecskék (protonok, neutronok, elektronok) száma, ezért nő az atomméret a rendszámmal”.

A keményebb stabilisabb. Számos tapasztalatunk van arról, hogy egy tárgy keménysége és stabilitása gyakran együtt járó fogalmak. Ráadásul a hétköznapi értelemben vett stabilitás inkább az állandóságra, a változásokkal szembeni ellenállásra vonatkozik, és nem annyira a termodinamikai stabilitásra. Kérdés: „A szén két kristályos módosulata közül, a gyémánt és a grafit közül, melyik a stabilisabb?” A tipikus hibás válasz: A gyémánt, mivel az a legkeményebb ásványi anyag. A helyes válasz: A grafit belső energiája kisebb a gyémánténál, ezért – szokásos körülmények között – a grafit a szén stabilis módosulata (Tóth, 2013).

A vegyipari szakközépiskolások 80%-a a gyémántot, 18%-a a grafitot (helyes válasz) jelölte meg. 1%-uk szerint mindkét módosulat egyformán stabilis (Bárány és Tóth, 2015). Az indoklások között 19%-ban megjelenik „a keményebb az stabilisabb” p-prim: „a gyémánt a stabilisabb, mert a legkeményebb anyag a Földön”, és a tanult ismeretek helytelen alkalmazása.

zása is 36%-ban: „a gyémánt a stabilisabb, mert atomrácsos szerkezetű, erősebb a kötés az atomok között, erősebb a rácsa”.

A nedves nehezebb. Szintén hétköznapi tapasztalataink alakítják ki ezt a naiv axiomát. A nedves homok, a nedves ruha, a nedves fa valóban nehezebb, mint a száraz homok, ruha vagy fa. „Melyik a nehezebb? Az azonos térfogatú, hőmérsékletű és nyomású száraz levegő vagy nedves levegő?” A tipikus hibás válasz: Mivel a nedves levegőben víz is van, ezért az a nehezebb. Ezzel szemben a helyes válasz a következő: Mivel a két gáz állapota megegyezik, ezért – Avogadro törvénye értelmében – bennük a molekulák száma is megegyezik. A vízmolekulák tömege viszont kisebb, mint az oxigénmolekulák vagy a nitrogénmolekulák tömege, tehát a száraz levegő a nehezebb – pontosabban, a száraz levegőnek nagyobb a sűrűsége (Tóth, 2004c, 2013; Turányi és Tóth, 2011, 2013).

A vegyipari szakközépiskolás tanulók 75%-a a nedves levegőt jelölte meg, 12%-uk szerint egyformán nehéz mind a kettő, és ugyancsak 12% jelölte meg a helyes választ: a száraz levegő a nehezebb (Bárány és Tóth, 2015). Az indoklások mögött itt is felfedezhető egy p-prim („a nedves az nehezebb”) 32%-ban: „a nedves levegő nehezebb, mert a víztartalom nehezíti”, valamint a gázok szerkezetének meg nem értéséről tanúskodó tévképzet is 36%-ban: „a nedves levegő a nehezebb, mert abban több molekula, például víz is van”.

A szilárd nehezebb. Az előző p-primhez hasonló az is, hogy a szilárd anyagok nehezebbek – nagyobb a sűrűségük – mint a folyadékok vagy a gázok. Arra a kérdésre, hogy „Melyik a nagyobb sűrűségű, a fémnátrium vagy a víz?” a vizsgált vegyipari szakközépiskolások 59%-a szerint a nátrium sűrűsége nagyobb, mint a vízé. 40%-uk tudta a helyes választ, hogy a víz sűrűsége nagyobb a nátriuménál. Az indoklásokban megjelent „a szilárd az nehezebb” p-prim 23%-ban: „a fémnátrium sűrűsége nagyobb, mert az szilárd/fém”, de a tanult ismeretek helytelen alkalmazása is 12%-ban „a fémnátrium nagyobb sűrűségű, mert moláris tömege nagyobb, mint a vízé” (Bárány és Tóth, 2015).

A természetes egészséges. Számos tapasztalat és különösen reklám alakítja ki bennünk ezt a naiv axiomát. Mintha az életerő-elmélet modern változatával állnánk szemben. Az élő szervezet által előállított anyagokban van valami plusz, ami a mesterséges anyagokból hiányzik. Kérdés: „Melyik az egészségesebb: a paprikából kivont C-vitamin, vagy a gyógy-

szergyárban szintetikus előállított C-vitamin?” (Tóth, 2013). A tipikus hibás válasz: A paprikából kivont C-vitamin, mivel az természetes eredetű. A helyes válasz: Amennyiben mindkét forrásból származó C-vitamin kellően tiszta, akkor élettani hatásukban semmiféle különbség nincs. Ha a kérdést úgy tesszük fel, hogy „melyik az egészségesebb: C-vitamin-szükségletünket zöldségek és gyümölcsök fogyasztásával fedezni, vagy C-vitamin-tabletták szedésével pótolni?” – akkor már árnyaltabb a kép. A zöldségekkel és gyümölcsökkel ugyanis nem csak C-vitamint viszünk be a szervezetünkbe, hanem egyéb, létfontosságú anyagokat (ásványi anyagokat, antioxidánsokat). Persze, ebben az esetben is van egy kockázati tényező, mégpedig az, hogy vagy a növénytermesztés során nem szakszerűen használt növényvédő-szerek, műtrágyák és bomlástermékeik is jelen lehetnek a fogyasztott zöldségben, gyümölcsben, vagy éppen a növényvédelem elmaradása miatt elszaporodott gombák toxinanyagai okozhatnak későbbi egészségkárosodást. A szintetikus előállított C-vitamint tartalmazó tabletták pedig – kis mennyiségben – tartalmazhatnak olyan, a gyártás során képződött köztitermékeket, amelyek tartós fogyasztás esetén egészségkárosító hatásúak lehetnek.

A vizsgált szakközépiskolai tanulók 84%-a szerint a paprikából kivont C-vitamin az egészségesebb. 12% vallotta, hogy nincs különbség a kétféle módon nyert C-vitamin élettani hatása között. 4% pedig a szintetikus C-vitamint tartotta egészségesebbnek (Bárány és Tóth, 2015). Az indoklások 46%-a a következő volt: „A paprikából kivont C-vitamin egészségesebb, mert az természetes eredetű”.

Az egyensúly egyenlőség. A hétköznapi gyakorlatban gyakran egyenlőségjelet teszünk az egyensúly és az egyenlőség közé. Például a mérleg akkor van egyensúlyban, ha a serpenyőiben egyenlő tömegű anyag van. Kérdés: „Hogyan változik egy egyensúlyra vezető folyamatban a kiindulási anyagok és a termékek koncentrációja?” A tipikus hibás válasz: A kiindulási anyagok koncentrációja csökken, a termékeké nő, és egyensúlyban a koncentrációk megegyeznek (Tóth, 2013; Turányi és Tóth, 2011, 2013). A helyes válasz: A dinamikus egyensúly jellemzője, hogy az oda- és visszaalakulás sebessége egyezik meg, de az anyagok koncentrációja nem (vagy legalábbis nem feltétlenül). Az egyensúly szemléltetésére ezért nem jó példa a mérleges analógia. Sokkal jobb például az, hogy a metró alagútja és a felszín között akkor van egyensúly, ha időegység alatt ugyanannyi utas megy a felszínre, mint amennyi lemegy az alagútba. De

ez nem jelenti azt, hogy a felszínen és az alagútban ugyanannyi ember lenne. Vagy egy másik hasonlat: a zsonglőr produkciója közben időegység alatt ugyanannyi labdát dob a levegőbe, mint amennyit elkap. De a levegőben lévő és a kezében lévő labdák száma nem szükségképpen egyezik meg.

A már említett felmérésben (Bárány és Tóth, 2015) négy grafikon közül kellett a tanulóknak választani. A tanulók 60%-a azt a grafikont jelölte meg, amely szerint egyensúlyban a kiindulási anyag koncentrációja megegyezik a termékével és mindössze 20%-a választotta a helyes ábrát. Az indoklások 23%-a a következő volt: „egyensúlyi állapotban a kiindulási anyagok és a termékek koncentrációja megegyezik”.

A káros (az ártalmas) az csúnya. Gyerekmesékben, romantikus történetekben a gonosz általában csúnya. A csúnya élőlényektől az emberek többsége fél, azokat félelmetesnek tartja. „Mi lehet az ún. méregtelenítő lábfürdőkben képződő csúnya, barna színű csapadék?” (Tóth, 2013). Tipikus hibás válasz: A szervezetünkből kiáramló méreganyag. A helyes válasz: A lábfürdőben külső egyenáramú áramforrás és vas anód esetén képződő vas(III)-hidroxid csapadék. Ezt a trükköt – nyugodtan nevezhetjük csalásnak is – alkalmazzák a víztisztító-berendezésekkel házaló ügynökök is. Az általunk használt ivóvízbe elektródokat – köztük vasból készült anódot – helyeznek, majd egyenáram hatására megindul az elektrolyzis, amelynek során az anódon a vas oxidálódik, a katódon pedig hidroxidionok képződnek. Ezek eredményeként alakul ki a barna színű vas(III)-hidroxid csapadék. Ez tehát nem a víz szennyezettségére utal!

1.2.2. Implicit feltételezések (Talanquer modellje)

Amint arra Talanquer (2006) kiváló tanulmányában rámutat, a kémiát tanuló emberek fogalmi nehézségei általában a hétköznapi módon való, a józanész táplálta gondolkodásból erednek (lásd magyarul: Tóth, 2008). Az emberek gondolkodására egyfajta naiv realizmus jellemző, amely vakon bíz az észlelésben. A társadalomtudománnyal foglalkozó kutatók számára közismert, hogy a hétköznapi megismerés számos buktatót tartalmaz (Babbie, 2003). Ilyenek a pontatlan megfigyelés, a túláltalánosítás, a szelektív észlelés és az illogikus okoskodás (pl. „a kivétel erősíti a szabályt”).

Tapasztalati feltételezések

A józanésszel (hétköznapi módon) gondolkodó ember értelmező rendszerében számtalan, a körülöttünk lévő világ megtapasztalásából származó hiedelem található. Összefoglaló néven ezeket hívjuk *tapasztalati feltételezéseknek*. A tapasztalati feltételezéseknek öt eleme van: a folytonosság, az anyagiség, a lényegiség, az ok-okozatiság és a teleológia.

A *folytonosság* annak feltételezése, hogy az anyag fokozatosan egyre kisebb részekre bontható, és ezek a részek ugyanolyan tulajdonságúak, mint maga az anyag. A folytonosság, mint tapasztalati feltételezés áll az olyan tévképzetek mögött, mint például „A rézatomok vörösek, a szénatomok feketék, a kénatomok sárgák.”, vagy „A szilárd anyagok molekulái nehezebbek, a gázoké könnyebbek, mint a folyadékoké.”, vagy „A savak részecskéi szűrősak, a bázisok viszont puha, sima részecskékből állnak.”, illetve „Hőtágulás során megnő a részecskék mérete”. Sajnos, a kémia oktatása során gyakran használt szerkezeti modellek (pálcikamodel, kalotta-modell) és számítógépes animációk megerősítik ezeket a tévképzeteket, hiszen azokban az atomokat szimbolizáló golyók jellemző színűek, például a szén fekete, a kén sárga. A folytonosság képzete nagyon rezisztens az oktatással szemben. A tanulók másként használják a részecskemodellt a jelenségek leírására, értelmezésére, mint ahogy azt a tudósok teszik. Ahelyett, hogy a részecskék (atomok, molekulák, ionok) egyedi tulajdonságaiból és a közöttük ható kölcsönhatásokból kiindulva értelmeznék az anyag tulajdonságait, az anyagi rendszer makroszkópos jellemzőit vetítik le az alkotó részecskékre.

Az *anyagiség* azt jelenti, hogy hajlamosak vagyunk az elvont fogalmaknak és folyamatoknak is anyagi természetű jellemzőket tulajdonítani. Ebből adódnak a következő tévképzetek: „A hó a folyadékokhoz hasonlóan viselkedik, pl. áramlik.”, „A kémiai kötések mechanikailag létező anyagi kapcsolatok.”, „Az égéshő benne van az éghető anyagban.”, vagy „Az energiaváltozás – pl. a párolgáshő – az anyag tulajdonsága, nem a folyamat velejárója.”

A *lényegiség* szerint az anyagok rendelkeznek tőlük elidegeníthetetlen tulajdonságokkal, melyek akkor is megmaradnak, ha az anyag megváltozik. A józanésszel gondolkodó diák ezért gyakran azt hiszi, hogy az elemek megtartják alapvető tulajdonságaikat vegyületeikben is. Például „A rozsdá nem más, mint a vas egyik típusa.”, „Az ezüst-nitrát nem reagál

sósavval, mert az ezüst sem lép reakcióba a sósavval.” „Az alkálifémek oxidációs száma +1.”, vagy „A salétromsav minden körülmények között csak savként viselkedhet.”

Az *ok-okozatiság* annak hite, hogy bármilyen változás valamilyen külső beavatkozás eredménye, így például a kémiai reakciókat aktív ágensek okozzák passzív ágenseken. Az ehhez kapcsolható legfontosabb tévképzetek: „Ha egy sav megtámad egy fémét, akkor a fém megváltozik, de a sav változatlan marad.” „A katalizátor nem vesz részt a reakcióban, pusztán jelenlétével gyorsítja meg azt.”, vagy „Az egymással reakcióba lépő anyagok nem egyenértékűek, például égés során az éghető anyag fontosabb, mint az oxigén.”. Azt a helytelen nézetet, hogy egy kémiai reakcióban az egymással reagáló anyagok nem egyenértékűek (vannak köztük fontosabbak és kevésbé fontosak) a szerves kémiában gyakran használatos reakcióegyenlet-írás is megerősíti. A szerves kémikusok ugyanis csak a számukra fontos szerves vegyületek szerkezeti képletét szerepeltetik a reakcióegyenletben, az „egyéb” reagenseket (pl. HCl, AlCl₃ stb.) csak a folyamatot szimbolizáló nyílra írják rá, általában a vizsgált szerves vegyület képletéhez képest kisebb betűmérettel.

A *teleológia* – mint a tapasztalati feltételezések ötödik kategóriája – szerint, ha egy változásban nem tudjuk megadni a változást okozó reagenst, akkor feltételezzük, hogy a folyamatok valamilyen cél megvalósítása vagy szükségletek kielégítése miatt mennek végbe. Az ebből fakadó tévképzetek például: „Az atomok vegyüléskor nemesgáz-szerkezetre törekszenek.”, „A rendszer mindig kitér a külső hatás elől.”, vagy „Az anyagok azért lépnek reakcióba, hogy az energiájukat minimálisra csökkentsék.” A nemesgáz-szerkezetre „törekvés” elve jó magyarázó keret lehet a második periódusbeli elemek reakciójának értelmezésére. Túlzott hangsúlyozása vezet például ahhoz, hogy még az egyetemi tanulmányaik végén járó kémiatanár-szakos hallgatók többsége szerint is a gázállapotú nátriumion stabilisabb, mint a gázállapotú nátriumatom, „mivel a nátriumionnak nemesgáz-szerkezete van”. Pedig tudják/tanulták, hogy a gázállapotú nátriumatomból energiabefektetéssel (ionizációs energia) lehet létrehozni a gázállapotú nátriumiont. Egy rendszer pedig csak akkor „tér ki” a külső hatás elől, ha dinamikus egyensúlyban van, és ez a külső hatás a koncentráció, a hőmérséklet vagy a nyomás megváltozása.

Egy közelmúltban végzett kismintás (összesen 314 7-11. osztályos tanulóra kiterjesztett) vizsgálatunk szerint a tapasztalati feltételezésekhez köthető tévképzetek előfordulási gyakoriságát illetően nincs lényeges különbség az egyes évfolyamok között, és a vizsgált tanulókra leginkább jellemző kategóriák a folytonosság és a teleológia (Tóth és Csatári, 2008). Azt az állítást például, hogy „A szén fekete, a réz vörös, a kén sárga színű, mivel a szénatomok feketék, a rézatomok vörösek, a kénatomok pedig sárgák” a tanulók több mint fele (52%-a) igaznak minősítette.

Reflexgondolkodások

Ugyancsak a hétköznapi tapasztalatok alakítják ki azokat a gondolkodási sémáinkat, amelyekkel a körülöttünk lévő világ jelenségeit értelmezzük. A *reflexgondolkodások* vagy más néven a józanész heurisztikái olyan rövidített gondolkodási sémák, amelyeket gyakran alkalmazunk információk közötti keresgélésben és kiválasztásban, valamint a gyors döntéshozatalban. A reflexgondolkodás legfontosabb elemei az asszociáció, a redukció, a leragadás és a lineáris sorrendiség.

Az első kategória az *asszociáció*, ami azt jelenti, hogy mindennapos asszociációk alapján megalkotott szabályokat alkalmazunk a folyamatok kimenetelének jóslására. Ilyenek például: „Sav és bázis reakciója semleges oldatot eredményez.”, „A természetes anyagok egészségre ártalmatlanok, a mesterséges anyagok egészségkárosítók.”, vagy „Az atomokat fénymikroszkóppal láthatóvá tehetjük.”

A *redukció* a fogalmak és jelenségek leegyszerűsítése annak érdekében, hogy minél kevesebb tényezőt kelljen figyelembe venni. A redukció eredménye például a következő néhány tévképzet: „Az atom méretét az elektronok száma határozza meg.”, „Az atomban a protonok száma megegyezik a neutronok számával.”, vagy „Az aromás szénhidrogének általános képlete: C_nH_n , mivel a benzol képlete C_6H_6 .”

A *leragadás* azt jelenti, hogy bizonyos elveket, stratégiákat és értelmezéseket automatikusan alkalmazunk anélkül, hogy a probléma természetének sajátosságaira tekintettel lennénk. A leragadás figyelhető meg a következő tévképzetekben: „Minden vegyület molekulákból áll.”, „A sósav mindig erős savként viselkedik.”, „Galvánelemet csak két különböző fémből és elektrolitból készíthetünk.” vagy „Bármely reakció sebességi egyenlete felírható a reakcióegyenlet alapján.”

A *lineáris sorrendiség* szerint bármely rendszer változásait események lineáris soraként értelmezhetjük. Az ebből fakadó tévképzetek: „Egy többlépéses reakcióban a megelőző lépésnek teljesen be kell fejeződnie ahhoz, hogy a következő lépés elkezdődjön.”, vagy „Az egyensúlyra vezető folyamatokban az átalakulás befejeződése után indul meg a termékek visszaalakulása.”

A reflexgondolkodás finom szerkezetét vizsgálta Maeyer és Talanquer (2010) az ún. sorba állításos feladatok esetén. (Három vagy több anyagot kell sorba állítani bizonyos tulajdonság alapján.) A vizsgálatban résztvevők leggyakrabban a következő heurisztikákat használták:

Ismertség. A vizsgált anyagok közül a legismertebb kerül a sor végére vagy elejére. Például a MgO, NaBr és NaCl közül a legismertebb NaCl-ot tették a tanulók az oldhatósági sor elejére. Vagy a H₂S, HBr és HCl savi erősségének összehasonlításakor az ismertebb HCl-t tartották a legerősebb savnak.

Reprezentativitás. Annak felismerése, hogy egy ismeretlen anyag képletében, felépítésében nagyon hasonlít egy ismert anyaghoz. Az előző példánál maradva az oldhatósági sor második tagja az ismert NaCl-hez nagyon hasonló képletű ismeretlen NaBr lesz, vagy a savi erősségi sorban az ismert HCl után a hozzá hasonló képletű ismeretlen HBr következik.

Egyszempontú döntés. Két anyag tulajdonságainak megítélésekor valamilyen önkényes szempont kiválasztása. Például az MgO azért oldódik jobban vízben, mint a BaO, mert a magnéziumatom kisebb, vagy a periódusos rendszerben közelebb van a vízmolekula alkotó atomjaihoz, az oxigénatomhoz és a hidrogénatomhoz.

Önkényes tendenciaalapú heurisztika. A relatív tulajdonság megállapításának alapja a két anyag felépítésében található eltérő atomok periódusos rendszerben elfoglalt helye. A klór felette van a brómnak, ezért a NaCl jobban oldódik vízben, mint a NaBr. A magnézium felette van a báriumnak, ezért a MgO jobban oldódik vízben, mint a BaO.

Talanquer (2009) újabb munkáiban a tanulók implicit feltételezéseit hasonlítja össze a kezdők és a szakértők esetében. Megállapítja, hogy általában jellemző, hogy a kezdők a felszíni hasonlóságokra figyelnek, míg a szakértők a szerkezeti hasonlóságra helyezik a hangsúlyt az anyagi rendszerek felépítésének értelmezésekor. Az anyag folytonosságára vonatkozó naiv szemlélet a kezdőkre gyakran jellemző „granulátum- és be-

ágyazásos” modelleken keresztül jut el a szakértők részecskeszemléletéig, amelyben már a vákuum elfogadása is szerepel.

Az anyagokat felépítő részecskék és azok tulajdonságai tekintetében a kezdőkre a tulajdonságok additivitásának sémája jellemző (Talanquer, 2008). Egy empirikus vizsgálatban a kezdők arra a kérdésre, hogy milyen színű lesz az az anyag, amely egy kék és egy sárga színű anyag reakciójában keletkezik, 90%-ban a zöld színt jelölték meg, amennyiben a képződött anyag részecskéje egyforma számban tartalmazta a két kiindulási anyag részecskéit. A keletkező szín azonban nem csak a kiindulási anyagok színétől függ – a tanulók szerint –, hanem attól is, hogy melyik színű anyagból épül be több részecske a termékbe, illetve, melyik színű anyag részecskéi a nagyobb méretűek. Hasonló eredményeket kaptak, ha az anyagok szagát, vagy ízét vizsgálták a felmérés során.

1.3. Miért nehéz a kémia?

A következőkben röviden összefoglaljuk azoknak a kutatásoknak a tapasztalatait, amelyek arra a kérdésre keresik a választ, hogy miért is nehéz a kémia.

1.3.1. A kémiai fogalmak természete

Jelentős hozzájárulása van a kémiai fogalmakkal kapcsolatos megértési problémákhoz a kémiai fogalmak néhány sajátos vonásának (Taber, 2001a, 2001b, 2001c, 2002; Tóth, 2000, 2002). Ilyen sajátos vonások, hogy a kémia alapfogalmi tudományos fogalmak; a kémia az anyagokat és jelenségeket egyszerre három szinten értelmezi; számos kémiai fogalomnak megváltozott a jelentése, de az elnevezése megmaradt; a kémiai fogalmak jelentős része nem jól definiált, jelentése kontextusfüggő; és a kémiában gyakran használunk többszörös elméleti modelleket.

A kémia alapfogalmi tudományos fogalmak

Mint ismeretes, a természettudományos fogalmakat két nagy csoportra oszthatjuk: spontán vagy természetes fogalmakra (pl. Föld, erő, élőlény, égés) és tudományos vagy szabályok által meghatározott fogalmakra (pl. geoszféra, entrópia, plazmolízis, oxidáció). A spontán vagy természetes fogalmakkal az ember a mindennapi életben találkozik először, ezzel szemben a tudományos vagy szabályok által létrehozott fogalmakat első-

sorban az iskolai oktatás során ismerjük meg. Az előbbieket ilyen módon szerves részét képezik életünknek, míg az átlagember az utóbbiak ismerete nélkül is elboldogulhat az életben (Taber, 2001a, 2001b).

Ellentétben a többi természettudománnyal, a kémia legtöbb alapvető fogalma (pl. kémiai és fizikai változás, atomok és molekulák, elemek és vegyületek, vegyjelek, képletek és reakcióegyenletek, a mól) a második csoportba tartozik, vagyis a tanulók ezeknek a fogalmaknak a többségét iskolai tanulmányai során ismeri meg (Taber, 2001a; 2001c).

Ennek a ténynek nagyon fontos következménye, hogy a fogalmi megértés nehézségeinek (a kémiai tévképzeteknek és alternatív kereteknek) az elsődleges forrása gyakran maga a kémia, annak elméleti rendszere és oktatási módszere (Taber, 2001c).

Természetesen vannak kivételek, a kémiában is találunk olyan – nem feltétlenül alapvető – fogalmakat, amelyekkel a tanulók az iskolai oktatást megelőzően is találkozhatnak. Ilyen fontos fogalom például az égés. A hétköznapi tapasztalatok alapján kialakult gyermeki értelmező rendszerben az égés mindig valaminek az eltűnéséhez, esetleg hamu képződéséhez vezet. Ezt a flogisztonelelethez nagyon hasonló értelmezést kell a kémiaórán megváltoztatni. Barke (Barke, Hazari és Yitbarek, 2009:47) számolt be arról, hogy a német tanulók többsége a magnézium égését úgy értelmezte, hogy az égés során a magnézium egy része eltűnik a levegőben, másik része pedig visszamarad mint hamu.

A kémia oktatása során nagyon sok problémát okozhat, hogy bizonyos kémiai fogalmaknak egymástól eltérő köznapi és tudományos jelentése van. Ilyen fogalmak pl. a csapadék, kristályvíz, sűrűség, olvadás, forrás, vas, levegő, nejlon, szóda, só, hidrogénezés, alkohol, rács (1. táblázat).

Fogalom	Hétköznapi jelentés	Kémiai jelentés
csapadék	eső, hó	oldatból kiváló szilárd anyag
kristályvíz	ásványvíz	szilárd anyag kristályrácsában lévő vízmolekula
sűrű	tömény, sűrűn folyó	nagy sűrűségű
vas	fém	kémiaileg tiszta vas
levegő	gáz, esetleg légüres tér (semmi)	főleg oxigént és nitrogént tartalmazó, nagyjából állandó összetételű gázelegy
víz	tiszta, szintelen, átlátszó folyadék	a kémiaileg tiszta víz mindhárom halmazállapotban

nejlon	átlátszó fólia vagy zacskó	poliamid típusú műanyag
forrás	buborékképződés folyadékban	a folyadék telített gőzét tartalmazó buborékok képződése a folyadék belsejében
szóda	szódavíz	Na_2CO_3
hidrogénezés	hajszőkítés hidrogén-peroxiddal	telítetlen vegyület reakciója hidrogénnel
só	konyhasó	ionos vegyület
alkohol	etil-alkohol	olyan szerves vegyületek csoportja, amelyben a hidroxilcsoport telített szénatomhoz kapcsolódik
rács	kétdimenziós, többnyire biztonsági célokat szolgáló, szabályosan ismétlődő egységekből felépülő szerkezet	kristályrács, ami háromdimenziós, szabályosan ismétlődő egységekből felépülő alakzat

1. táblázat:

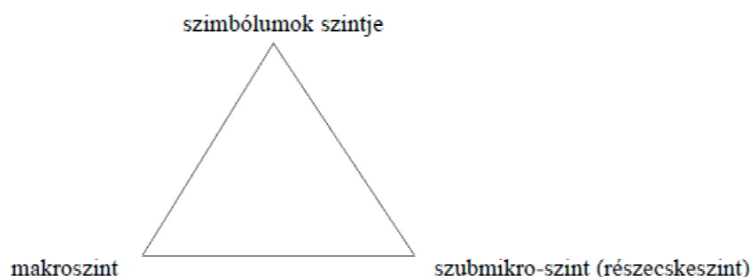
Néhány fogalom hétköznapi és kémiai jelentése (Tóth, 2000)

Ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy egyre több olyan kémiai fogalom jelenik meg a hétköznapi nyelvben a tömegkommunikáció, a reklámok és különböző tájékoztatók révén, amelyeket korábban csak a tudomány használt (pl. pH, molekula, ion, gél, antioxidáns, izotóp).

Az anyagok és jelenségek többszintű értelmezése, leírása

A kémiai fogalmak másik sajátossága azok többszintű (makro-, részecske- és szimbólumszintű) értelmezése (Johnstone, 1982, 1991; Hinton és Nakhleh, 1999; Gilbert és Treagust, 2009; Tóth, 1999, 2000, 2001). A kémiai háromszöggént ismert – mások (Tóth, 2000) szerint „bermuda-háromszögnek” is nevezhető – ábra (3. ábra) szemlélteti ezt a többszintű tárgyalásmódot. A makroszint az anyagok és jelenségek makroszkopikusan megfigyelhető leírását, a szubmikro-szint a részecskeszintű, a halmaz- és részecskeszerkezeten alapuló tárgyalást, a szimbólumok szintje pedig

az anyagok és folyamatok sajátos szimbólumrendszerrel (vegyjelekkel, képletekkel, reakcióegyenletekkel) történő jelölését jelenti (2. táblázat).



3. ábra:

Az anyagok és jelenségek háromszintű értelmezése mint „bermuda-háromszög” (készült Johnstone, 1991 alapján)

Anyag, fogalom, jelenség	Makroszintű értelmezés	Részecskeszintű értelmezés	Szimbólum-szintű értelmezés
Kémiai reakció	Új anyag képződése	új részecske képződése	reakcióegyenlet
Vegyület	színe, szaga, halmazállapota, oldhatósága, reakciókészsége stb.	a felépítő részecskék (molekulák vagy ionok vagy atomok) jellemzői, a részecskék közötti kötés jellege	kémiai képlet (sztöchiometriai vagy molekula-képlet, szerkezeti képlet)
Elem	színe, szaga, halmazállapota, oldhatósága, reakciókészsége stb.	a felépítő részecskék (molekulák vagy atomok) jellemzői, a részecskék közötti kötés jellege	vegyjel vagy molekula-képlet

2. táblázat:

Az anyagok és jelenségek háromszintű leírása (Tóth, 2000)

Az anyagok és jelenségek háromszintű leírása, értelmezése különösen nagy gondot okoz azokban az esetekben, amelyekben a makro- és a részecskeszintű értelmezés nem esik egybe. Ez a probléma nehezíti a kémia egyik alapfogalmának, a kémiai változás fogalmának tanítását, különösen a kémiai tanulmányok kezdetén. Noha – elsősorban az angol nyelvű – módszertani szakirodalomban (Brosnan, 1999; Tóth, 2000, 2001, 2002) már többször kifejtették, hogy pusztán a csoportosítás kedvéért nem szabad ezeket a fogalmakat bevezetni, a magyarországi tantervkészítők és a tankönyvszerzők továbbra is ragaszkodnak ahhoz, hogy a tanulók kémiai tanulmányaik kezdetén (7. osztályban) tudjanak különbséget tenni fizikai és kémiai változás között. Miért nem lehet ennek az elvárásnak megfelelni? Egyrészt azért, mert a fizikai és kémiai változás között csak az tud különbséget tenni, akinek alapos és széles körű ismeretei vannak az anyagok viselkedéséről, átalakulásairól. (Jellemző példa, hogy a 7. osztályos tanulók egy része arra az egyik munkafüzetben szereplő kérdésre, hogy a tojássütés fizikai vagy kémiai változás, azt válaszolta, hogy fizikai, mert sütés közben megváltozik a tojás halmazállapota, a halmazállapot-változások pedig fizikai folyamatok.) Másrészt azért, mert a kémiai változás makro- és szubmikro-szintű értelmezése nem esik egybe. Nagyon sok folyamat (pl. oldódás, cserebomlás, halmazállapot-változás) megítélése attól függ, hogy milyen szinten értelmezzük a változást. A kémiai változás makroszinten azt jelenti, hogy a folyamat során valamilyen új tulajdonságú anyag keletkezik. Ebből a szempontból kémiai változás a só oldódása, hiszen a keletkezett oldatnak számos olyan tulajdonsága van (pl. jól vezeti az elektromos áramot), amely nem jellemezte a kiindulási anyagok (a szilárd só és a víz) egyikét sem. Ugyancsak kémiai változásnak kell tekintenünk makroszinten a halmazállapot-változásokat, hiszen például a jég és a vízgőz bizonyos tulajdonságai igen nagy mértékben különböznek egymástól. A szubmikro-szintű (vagy részecskeszintű) értelmezés szerint a kémiai változásra az jellemző, hogy új kémiai részecske (molekula, ion) jön létre. Ebből a szempontból – ezen a szinten – sem az oldódás, sem a halmazállapotváltozás nem kémiai folyamat, viszont ugyancsak nem számít kémiai folyamatnak például az úgynevezett cserebomlás, így az ólom(II)-jodid képződése ólom(II)-nitrát- és kálium-jodid-oldatok összeöntésekor, minthogy a folyamatban nem képződik új kémiai részecske, mind a kiindulási anyagokat, mind a termékeket ólom(II)ionok, nitrátionok, jodidionok, káliumionok és vízmolekulák alkotják. A kémiai és fizikai

változások megkülönböztetése még a felvételiző diákok esetén is gondot okoz (Tóth, 1999).

A *fizikai és kémiai változások* fogalmával, megértésével kapcsolatosan 2003-ban végeztünk egy nagymintás vizsgálatot (Kiss, 2008). A vizsgálatban összesen 776 7-11. évfolyamos tanuló vett részt hat- és nyolcosztályos gimnáziumokból. A kutatás legfontosabb megállapításai a következők voltak:

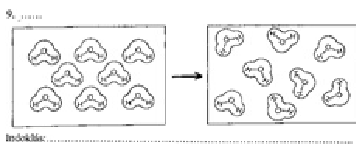
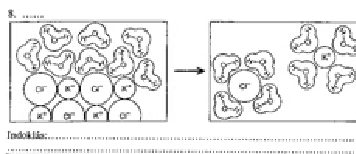
1. A tanulók fogalmi megértési szintje valamivel magasabb volt a kémiai változás megfogalmazása esetén, a fizikai változáséhoz képest. Mindkét fogalom esetén a makroszintű megfogalmazásokat részesítették előnyben a tanulók. Az ún. tudástérelmélet (Tóth, 2005, 2012) alapján elvégzett tudásszerkezet-vizsgálatok azt mutatták, hogy a tanulók – bár általában használják mind a makro-, mind a részecskeszintű meghatározást – nem tudnak kapcsolatot teremteni a két szint között. Ha mégis, akkor a makroszintű értelmezésre építik a részecskeszintű megközelítést (Tóth és Kiss, 2007, 2009). Az oktatás előrehaladásával nem változott a tanulóknak a fizikai és kémiai változás makro- és részecskeszintű megfogalmazásával kapcsolatos jellemző tudásszerkezete.
2. A különböző szinten megfogalmazott konkrét folyamatok (fizikai változás, kémiai változás, oldódás) besorolásának (3. ábra) sikerességében 7. osztály után van szignifikáns javulás. A tanulók legsikeresebben a makroszintű folyamatokat tudták kategorizálni. Legnehezebbnek a szimbólumokkal megadott folyamatok felismerése bizonyult, viszont ennek sikeressége nőtt az oktatás előre haladásával. A folyamatok típusát tekintve legkönnyebbnek a kémiai változások azonosítása bizonyult, a legnehezebbnek pedig az oldódás besorolása. A tanulók többsége az oldódást kémiai változásnak tekintette. Az indoklásokból kiderült, hogy a besorolásnál a kémiai változás makroszintű jellemzőit vették alapul. Ugyancsak kémiai változásként értelmezték a tanulók a szimbólumokkal felírt folyamatokat is. Úgy gondolták, hogy vegyjelekkel és képletekkel csak kémiai reakciókat lehet leírni. (Tóth és Kiss, 2007)
3. Kiderült, hogy a különböző folyamatok jellemzőinek besorolásakor a tanulók kategorikusan ragaszkodtak vagy a fizikai vagy a kémiai változáshoz még akkor is, ha az adott tulajdonság mindkét folyamatra jellemző lehet. A tanulók több mint 50%-ánál fordultak elő a következő tévképzetek: „Az anyag fizikai tulajdonsága kizárólag fizikai változás

alkalmával változhat meg”, „A halmazállapot megváltozása csak fizikai változás során következhet be”, „Új tulajdonságú anyag csak kémiai változás során keletkezhet”, „Az anyag összetétele csak kémiai folyamat során változhat meg”, „Elsőrendű kémiai kötések csak kémiai változás során bomolhatnak fel / alakulhatnak ki”, „Másodrendű kötések csak kémiai változás során bomolhatnak fel, vagy alakulhatnak ki”, „A részecskék elektronszerkezetének megváltozása csak kémiai folyamat során valósulhat meg”, „Az atommag összetételének megváltozása csak kémiai folyamatban következhet be”, „Csak a kémiai folyamatokat lehet vegyjelekkel és képletekkel leírni” (Kiss, 2008).

A következő változásokról döntsd el, hogy fizikai vagy kémiai változások-e! Válaszdát a változás mellé írt megjelölés betűvel jelezd, majd indokold!

- A) fizikai változás B) kémiai változás C) mindkettő
D) egyik sem E) nem tudom

1. víz párolódása
Indoklás:
2. üveg dúsztörése
Indoklás:
3. cukor oldása vízbe
Indoklás:
4. $\text{Na}_{2\text{O}} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH}$
Indoklás:
5. $\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})} + \text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{AgCl}_{(\text{s})} + \text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$
Indoklás:
6. $\text{NaCl}_{(\text{s})} + \text{víz} \rightarrow \text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$
Indoklás:



3. ábra:

A különböző szinten megfogalmazott változások besorolását mérő feladatlap (Kiss, 2008)

A tanulók gyakran nem érzékelik a különbséget az anyag makroszintű jellemzői és a szubmikro-szintű jellemzők között. Ez leggyakrabban abban nyilvánul meg, hogy a halmaz tulajdonságait azonosítják a részecskék tulajdonságaival (pl. „A gáz melegítés hatására kitágul, mert a részecskék térfogata megnő”, „A szén fekete színű, ezért a szénatomok is feketék” stb.). Általában jellemző a tanulókra, hogy a részecskemodellt másként használják, mint a szakértők (tudósok). A tanulók hajlamosak arra, hogy

az anyag makroszkopikus tulajdonságait levetítsék részecskeszintre, majd az ugyanilyen tulajdonságokkal felruházott részecskékkal értelmezik az anyag makroszintű viselkedését (Taber, 2001).

Igen nehezen érthető és tanulható a vegyjel-képlet-reakcióegyenlet, mint szimbólumrendszer kettős (makroszintű és részecskeszintű) jelentésének egyidejű bevezetése az általános iskola 7-8. osztályában. Például az Fe vegyjel jelenti a vasat, mint elemet és annak atomját, a vasatomot. Jelenthet továbbá 1 vasatomot, 1 mol vasatomot, $6 \cdot 10^{23}$ vasatomot és 56 g vasat. Többek között a vegyjel és a képlet hatféle jelentése miatt alakulhatnak ki olyan tanulói tévképzetek, amelyekben keverednek az elem- és atomfogalmak, illetve a mól- és molekulafogalmak (Tóth, 1999).

A kémiaoktatás kutatásában – és valamilyen szinten a gyakorlatában is – alapvető kémiai háromszög finomabb szerkezetével, belső ellentmondásaival és egy újabb modell felállításával foglalkozik Talanquer 2011-ben megjelent tanulmánya (Talanquer, 2011). Az általa felállított multidimenziós modell kétségtelenül kevesebb belső ellentmondással rendelkezik, viszont összetettségénél fogva alkalmazhatósága is nehezkesebb, mint a kémiai háromszög modellé.

Régi elnevezés – megváltozott jelentés

A legtöbb kémiai fogalom jelentése a tudomány fejlődése során megváltozott, de az elnevezés, amely továbbra is az eredeti, általában a makroszintű értelmezéshez kötődik, megmaradt. Ilyen fogalmak például: az elemek periódusos rendszere, az oxidáció, a relatív atomtömeg, a homogén reakció, az aromás vegyület, a sav, az optikai izomer, a szénhidrát (3. táblázat).

Fogalom	Eredeti (makroszintű) jelentés	Új (részecskeszintű) jelentés
az elemek periódusos rendszere	az elemek fizikai és kémiai tulajdonságainak periodikus változásán alapuló rendszer	az atomok vegyérték-elektronszerkezetének periodikus változásán alapuló rendszer
oxidáció	oxigénnel való reakció	elektronleadás
homogén reakció	a kiindulási anyagok és a termékek azonos fázisban vannak	a kémiai átalakulás egy fázis belsejében játszódik le

heterogén reakció	a kiindulási anyagok és a termékek külön fázisban vannak	a kémiai átalakulás két (vagy több) fázis határán megy végbe
aromás vegyület	kellemes illatú szerves anyag	gyűrűsen delokalizált pi-elektronrendszert tartalmazó molekula
sav	savanyú, csípős, maró hatású anyag	protonátadásra képes molekula vagy ion
optikai izomerek	a poláris fény síkját elmentétes irányban elforgató, azonos összetételű vegyületek	olyan azonos összetételű molekulák, amelyek forgatással nem, csak tükrözéssel hozhatók fedésbe
szénhidrát	a szénnek vízzel alkotott vegyülete	olyan szerves vegyületek, amelyek molekulájában a jellemző funkciós csoport az oxocsoport és a hidroxilcsoport

3. táblázat:

Néhány kémiai fogalom, melynek jelentése lényegesen megváltozott (Tóth, 2000)

Számos probléma forrása a kémia oktatásában az, hogy az elemek periódusos rendszerét ma már a legtöbb bevezető kémiatankönyv atomszerkezeti alapon tárgyalja (Schmidt, 1997). Ez (is) vezethet ahhoz, hogy a tanulók egy része nem látja a különbséget az „elem” és az „atom” fogalmak között. Helyesebb térben és időben elválasztani a kétféle periódusos rendszert, rámutatva a különbözőségekre és a hasonlóságokra is (lásd pl. Tóth és Ludányi, 2011, 2013; Tóth, Ludányi és Somogyiné, 2013; Ludányi, Ludányi, Szabó és Tóth, 2015). Már az is nagy előrelépés, ha a tanulók kezébe olyan periódusos rendszert adunk, amelynek az egyik oldalán az elemek periódusos rendszere található, benne az elemek makroszkopikus jellemzőivel (olvadáspont, forráspont, moláris tömeg, kristályszerkezet, halmazállapot). Másik oldalán pedig az atomok periódusos rendszere látható a legfontosabb atomi tulajdonságokkal (elektronszerkezet, izotópok, oxidációs szám, ionizációs energia, elektronaffinitás, elektronegativitás, relatív atomtömeg).

Kontextusfüggő jelentés

A kémiai fogalmak egy része korántsem olyan jól definiált, mint ahogy azt a tudományos fogalmaktól elvárjuk (Taber 2001a, 2001b, 2001c; Tóth 2000, 2002). Ez részben kapcsolatos bizonyos fogalmak (pl. mól, pH, geometriai izoméria, alkohol, alkén, aromás vegyület) definíciójának didaktikai szempontból indokolt leegyszerűsítésével, a már említett kétszintű értelmezéssel (pl. elem/vegyület, atom/molekula, fizikai/kémiai változás), egyes fogalmak szűkebb és tágabb értelmű jelentésével (pl. koncentráció, proton, polimerizáció, hidrogén; lásd: 4. táblázat), az anyagok többféle (hagyományos és hivatalos) elnevezésével (pl. acetone, dimetil-ke-ton, 2-propanon, propán-2-on), valamint a kémia következtlen jelölésrendszerével, (pl. mást értünk a rendűség fogalmán az alkoholoknál és az aminoknál, mást az α - és β -izomereken az aminosavaknál és a cukroknál, másként jelöljük a kétatomos és másként a kettőnél több atomos elem-molekulákat). Ezeknek a fogalmaknak a tanítása során különösen nagy gonddal kell eljárunk. Minden egyes témakör tárgyalása előtt tisztázni kell az adott fogalom jelentését, például: a sav-bázis reakcióknál hangsúlyozni kell, hogy az a proton, amely a savról a bázisra kerül át, az nem valamelyik alkotó atom magjából származik, hanem az elektronjától megfosztott hidrogénatomot (hidrogéniont) jelenti.

Kémiai fogalom	Szűkebb értelemben	Tágabb értelemben
koncentráció	molaritás (anyagmen-nyiség-koncentráció)	összetétel (pl. tömegszázalék, térfogatszázalék, anyagmen-nyiség-százalék, tömegkoncentráció, anyagmen-nyiség-koncentráció)
polimerizáció	poliaddíció	makromolekula-képződése kis molekulákból
proton	hidrogénion	pozitív töltésű elemi részecske, az atommag egyik alkotója
olefinek	alkének	kettőskötést tartalmazó szén-hidrogének

4. táblázat

Néhány példa a kémiai fogalmak szűkebb és tágabb értelemben vett jelentésére (Tóth, 2000)

Arra a tesztkérdésre például, hogy hány proton van az ammóniumionban, a szakértők (vegyészek) többsége az 1-et, esetleg a 4-et jelölte meg helyes válaszként, de semmi esetre sem a 11-et. A vegyészeket ugyanis csak az a proton érdekli, amely sav-bázis reakcióban átmehet a savról a bázisra, de érdektelen számukra az atomok magjában (tehát például a nitrogénatom magjában) található proton.

Többszörös elméleti modellek

A kémia elméleti rendszerére jellemző a jelenségek többszörös modellekkel történő értelmezése (Taber 2001a, 2001b, 2001c; Tóth, 2002). Így például nemcsak a kémia tananyagában, hanem magában a kémia tudományában is megtaláljuk és használjuk a különböző atommodelleket, a savak és bázisok Arrhenius-féle, Brønsted-féle és Lewis-féle elméletét, vagy a redoxireakciók oxigén/hidrogénátadással, elektronátadással és oxidációszám-változással történő értelmezését. Ezek egymás mellett élő, sok szempontból egymást kiegészítő modellek, mindegyiknek megvannak a maga alkalmazási területei és alkalmazhatóságának korlátai is.

A kémiaoktatás alsó és középszintjén általában kétféle *sav-bázis elméletet* tanítanak: az Arrhenius-féle és a Brønsted-féle elméletet. Sajnos, nem eléggé hangsúlyozzák a tankönyvek, hogy mi az alapvető különbség a kétféle sav-bázis elmélet között (5. táblázat). Az Arrhenius-féle elmélet makroszintű elmélet, amely a sav- és bázistulajdonságokat anyagi tulajdonságként kezeli. És csak vizes oldatokra lehet értelmezni. A Brønsted-féle sav-bázis elmélet részecskeszintű elmélet, és nem csak vizes oldatokra lehet használni. Ugyanakkor látni kell, hogy mindkét elméletnek megvan a maga alkalmazási területe. Helytelen tehát azt állítani, hogy az Arrhenius-elmélet korszerűtlen, ezért nincs helye a tananyagban. Gondoljunk arra, hogy amikor azt mondjuk, hogy a sósav erős sav, vagy a nátrium-hidroxid erős bázis, akkor mindig az Arrhenius-elmélet gondolkörében mozgunk. Az Arrhenius-elmélettel sokkal egyszerűbb értelmezni például a nátrium-hidroxid, vagy különböző sók vizes oldatának kémhatását, mint a Brønsted-elmélettel (5. táblázat). Amikor egy sav-bázis reakcióban hidrogéniont (H^+) írunk oxóniumion (H_3O^+) helyett, akkor kimondatlanul is az Arrhenius-elméletet használjuk. Sajnos, a tankönyvekben nem ritka a két elmélet keveredésére utaló jel sem, például: „sav az az anyag, amely protonátadásra képes”, vagy „ $CaCO_3 + 2 H^+ \rightarrow Ca^{2+} + CO_2 + H_2O$ ” (Schmidt, 1991, 1995). Drechsler és Schmidt (2005a, 2005b) svédországi tankönyvek elemzése, valamint svéd kémiatanárok és

középiskolás tanulók körében végzett felmérés, illetve interjú során szintén azt találta, hogy a sav-bázis elméletek makro- és részecskeszintű bevezetése nem válik el egymástól. Gyakran a tankönyvek szerzői és a kémia tanárok sincsenek tisztában a két elmélet közötti alapvető különbséggel. A tanulóknak pedig kifejezetten nagy nehézséget okoz a Brönsted-féle elmélet (részecskeszintű elmélet) megértése és használata.

Oldat, folyamat	Értelmezés Arrhenius-féle elmélettel	Értelmezés Brönsted-féle elmélettel
Sav-bázis reakció	sav + bázis \rightarrow só + víz	sav ₁ + bázis ₂ \rightarrow bázis ₁ + sav ₂
A víz autoprotolízise	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$	$\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$
Sósav savas kémhatása	$\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$	$\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$
NaOH-oldat lúgos kémhatása	$\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$	$\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^-$
NH ₃ -oldat lúgos kémhatása	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{OH}$ $\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$
Ecetsav közömbösítése nátrium-hidroxiddal	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$
Mészke oldása sósavban	$\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CO}_3^{2-} + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
NH ₄ Cl-oldat savas kémhatása	Erős savból (HCl) és gyenge bázisból (NH ₃) képződött só	$\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$
Na ₂ CO ₃ -oldat lúgos kémhatásának értelmezése	Erős bázisból (NaOH) és gyenge savból (H ₂ CO ₃) képződött só	$\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$
NaCl-oldat semleges kémhatásának értelmezése	Erős savból (HCl) és erős bázisból (NaOH) képződött só	nincs protolízis
Al ₂ (SO ₄) ₃ -oldat savas kémhatásának értelmezése	Erős savból (H ₂ SO ₄) és gyenge bázisból (Al(OH) ₃) képződött só	$\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}^{2+} + \text{H}_3\text{O}^+$

5. táblázat:

Az Arrhenius- és a Brönsted-elmélet összehasonlítása

Az utóbbi évek magyar nyelvű kémia tankönyveiben már találunk kísérletet az Arrhenius-féle és a Brönsted-féle sav-bázis elmélet elkülönítésére és összehasonlító bemutatására (Villányi, 2003; Tóth és Ludányi, 2011, 2013; Tóth, Ludányi és Somogyiné, 2013; Ludányi, Ludányi, Szabó és Tóth, 2015a).

A sav-bázis elméletekkel kapcsolatos legfontosabb tanulói tévképzeteket foglalja össze Barke, Hazari és Yitbarek (2009), valamint Kind (2004) kémiai tévképzetéről írt könyvében.

Hasonló – vagy talán még nagyobb – probléma forrása a *redoxireakciók* értelmezésének háromféle modellje: (a) O/H-atom átadási modell; (b) elektronátadási modell; (c) oxidációszám-változás modellje (lásd pl. Tóth, 2000b, 2001b, 2003a). A 6. táblázat szemlélteti a háromféle elmélet összehasonlítását. Az O/H-atom átadási modell nagyon alkalmas O/H-tartalmú szerves vegyületek redoxireakcióinak szemléletes értelmezésére, nem alkalmas azonban az oxigénben történő égési reakciók értelmezésére, valamint olyan redoxireakciók leírására, melyben az anyagok nem tartalmaznak O/H-atomokat. Az elektronátadási modell különösen jól használható ionok között végbemenő redoxifolyamatok leírására, valamint a galvánelemekben, elektrolizáló cellákban végbemenő elektródfolyamatok értelmezésére. Az oxidációszám-változási modell minden redoxireakció értelmezésére használható. Használatát azonban megnehezíti az oxidációs szám megértésének és meghatározásának problémája (lásd pl. Tóth, 1998).

Redoxireakció	Értelmezés az O/H-atom átadási modellel	Értelmezés az elektronátadási modellel	Értelmezés az oxidációszám-változási modellel
Oxidáció:	O-atom felvétele vagy H-atom leadása	elektronleadás	oxidációszám-növekedés
Redukció:	O-atom leadása vagy H-atom felvétele	elektronfelvétel	oxidációszám-csökkenés

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2 \text{Al} =$ $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2 \text{Fe}$	oxidáció:	oxidáció:	oxidáció:
	$2 \text{Al} + 3 \text{O} \rightarrow$ Al_2O_3	$2 \text{Al} \rightarrow 2 \text{Al}^{3+} +$ 6e^-	$2 \text{Al}^0 \rightarrow 2 \text{Al}^{+3}$ (+6)
	redukció:	redukció:	redukció:
$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2 \text{Fe} +$ 3O	$2 \text{Fe}^{3+} + 6 \text{e}^- \rightarrow$ 2Fe	$2 \text{Fe}^{+3} \rightarrow 2 \text{Fe}^0$ (-6)	

6. táblázat:

A redoxireakciók értelmezésének három modellje

A redoxireakciók megértésével kapcsolatos problémáknak széles körű szakirodalma van. A párhuzamos modellek használatának nehézségeiről szólnak Schmidt empirikus vizsgálatai (Schmidt, 1997; Eybe és Schmidt, 2004). A redoxireakciókkal kapcsolatos tanulói tévképzeteket foglalja össze Barke, Hazari és Yitbarek (2009), valamint Kind (2004) már korábban említett könyvében.

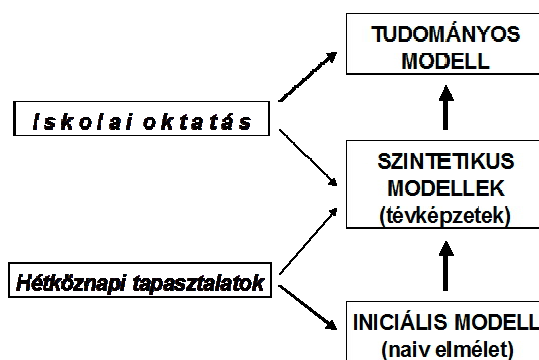
A háromféle modell explicit tárgyalására tesz kísérletet Tóth és Ludányi a 9. osztályos gimnáziumi tanulók számára írt tankönyveikben (Tóth és Ludányi, 2011; Tóth, Ludányi és Somogyiné, 2013). A szakközépiskolások számára, illetve a gimnáziumi „A” kerettantervhez készült tankönyvekben pedig megpróbálkoznak azzal, hogy elhagyják a redoxireakciók oxidációs szám-változással történő értelmezését (Tóth és Ludányi, 2013; Ludányi, Ludányi, Szabó és Tóth, 2015).

1.3.2. Fogalmi fejlődés és fogalmi váltás a kémia tanulása során

A fogalmi fejlődés a fogalmi rendszer mennyiségi bővülése, gyarapodása. A fogalmi váltás viszont egy minőségi változás, a kognitív struktúrában alapvető, új kapcsolatok kialakulásával, régi kapcsolatok gyengülésével járó folyamat. Piaget (1970) szóhasználatával élve a fogalmi fejlődés az új információk asszimilációját, a fogalmi váltás a fogalmi rendszer átszerveződését, akkomodációját eredményezi.

Kezdetben azt hitték, hogy a fogalmi váltás azt jelenti, hogy a régi ismeretet lecseréli az új ismeret. Ma már inkább az a nézet az elfogadottabb, hogy a régi és az új ismeret sajátos együttélése (szimbiózis) valósul meg, és a kontextustól (is) függ, hogy mikor, melyik aktivizálódik. A fogalmi váltásnak igen széles körű a tudományos irodalma. Ezek viszonylag részletes áttekintése olvasható Korom (2005) és Dobóné (2008) monográfiájában.

Az ún. természetes fogalmakkal kapcsolatos fogalmi fejlődés és fogalmi váltás általános sémáját mutatja be a 4. ábra. Az ilyen fogalmakkal kapcsolatban a tanulók általában már rendelkeznek egy naiv értelmező kerettel még azelőtt, mielőtt bekerülnének a szervezett oktatásba. A mindennapi tapasztalatokon alapuló iniciális modellek kerülnek szembe az iskolai oktatás során megismert tudományos modellekkel. Ezek keveredése eredményezi a szintetikus modelleket, amelyek általában tévképzeteket tartalmaznak.



4. ábra:

A fogalmi fejlődés és fogalmi váltás általános sémája.

A következőkben néhány konkrét kémiai példán keresztül mutatjuk be a fogalmi fejlődés és fogalmi váltás jellemzőit.

Az anyag szerkezete

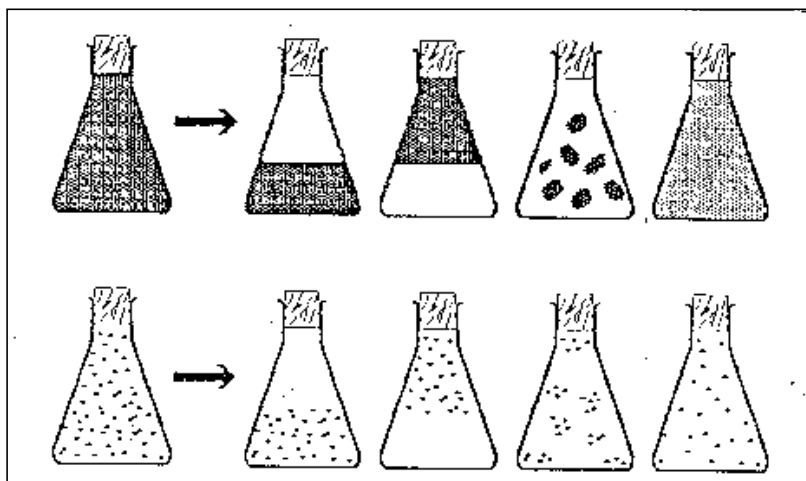
Az anyag szerkezetére vonatkozó modellek (Korom, 2003) esetében ez a fogalmi fejlődés a következő főbb állomásokon halad keresztül (Johnson, 1998):

1. Iniciális modell: Az anyag folytonos, nem részecskékből áll.
2. Szintetikus modell: A folytonos anyagban részecskék (cseppek, szemcsék) találhatóak („granulátum-modell”).
3. Szintetikus modell: A folytonos anyagban kémiai részecskék (atomok, molekulák, ionok) vannak („beágyazásos modell”).

4. Szintetikus modell: Az anyag kémiai részecskékből (atomokból, molekulákból, ionokból) áll, és ezeknek a részecskének ugyanolyan tulajdonsága van, mint az anyagnak.
5. Tudományos modell: Az anyag kémiai részecskékből (atomokból, molekulákból, ionokból) épül fel, és az anyag tulajdonságait a részecskék egyedi tulajdonságai és részecskék közötti kölcsönhatás együttesen határozza meg.

Megfelelően megválasztott feladatok segítségével feltárhatjuk tanulóink részecskemoddellel kapcsolatos nézeteit, meghatározhatjuk, hogy egy adott tanuló anyagszerkezeti fogalma melyik fejlődési szinten van. A következőkben ezekből a feltáráshoz alkalmas feladatokból mutatunk be néhányat.

„Egy gázzal töltött, zárt lombikból a gáz felét kiszivattyúzzuk.” Rajzolja le, hogyan képzeled el a gázt a lombikban a szivattyúzás előtt és után! A leggyakrabban előforduló rajzokat az 5. ábra szemlélteti. Látható, hogy vannak, akik a lombikot részben vagy teljes egészében besatírozzák. Ez általában az anyag folytonos jellegére utal, tehát az ilyen választ adó emberek általában az 1. modell szerint gondolkodnak az anyag szerkezetéről. Az alsó sorban lévő ábrák készítői vallják, hogy az anyagok apró részecskékből épülnek fel, de a gáz mennyiségének csökkentésével ezek a részecskék különböző módon helyezkedhetnek el a lombikban. Például a lombik alján marad a gáz, ha sűrűsége nagyobb a levegőénél, vagy a lombik felső részében, ha sűrűsége kisebb a levegőénél. Az ilyen rajzot készítőik szerint az eltávolított részecskék helyén nem vákuum, hanem levegő lesz (ezt gyakran rá is írják a rajzra), tehát ők a 2. vagy a 3. modell szerint gondolkodnak az anyag szerkezetéről. A helyes válasznak megfelelő rajz az alsó sor utolsó ábrája.



5. ábra:

*A „gáz a lombikban” feladat
válaszvariánsai (Nahalka, 1997a)*

„Azonos hőmérsékletű, nyomású és térfogatú száraz vagy vízgőzzel telített levegőben van-e több molekula? Melyik a nehezebb? Válaszát röviden indokolja meg!”

Egy 46 középiskolást érintő kémia házi verseny keretében kellett ezt a feladatot megválaszolniuk a tanulóknak. A válaszok megoszlása a következő volt (Tóth, 2004c):

- A nedves levegőben több molekula van, és a nedves levegő a nehezebb. (43%)
- A HELYES VÁLASZ: A molekulák száma azonos, és a száraz levegő a nehezebb. (15%)
- A molekulák száma azonos, és a nedves levegő a nehezebb. (15%)
- A száraz levegőben van több molekula, de a nedves levegő a nehezebb. (13%)

(Megjegyezzük, hogy hasonló eloszlást kaptunk az egyetemi hallgatók körében végzett felmérés során is, lásd: Turányi és Tóth, 2011, 2013.)
Néhány tipikus indoklás:

„A nedves levegő nehezebb, mert a vízmolekulák nehezebbek, mint a levegő molekulái.” Ez csak úgy képzelhető el, ha a tanuló a vízmolekulák helyett a vízcseppekre gondol (2. modell).

„A nedves levegő a nehezebb, mert a vízcseppek a levegő molekuláira tapadnak, és így nehezzé teszik azokat.” A víz legkisebb részecskéi tehát a vízcseppek! (2. modell)

„A száraz levegő több molekulát tartalmaz, mert a nedves levegőben vízmolekulák vannak a levegő részecskéi között, a szárazban pedig a levegő részecskéi vannak a levegő részecskéi között.” Ez a válasz arra utal, hogy a részecskék között nem vákuum, hanem további részecskék vannak (3. modell).

Általában megfigyelhető, hogy az tanulók viszonylag könnyen elfogadják azt, hogy a gázok apró részecskéi a molekulák (esetleg atomok), de a folyadékok esetén a cseppet, szilárd anyagok esetén a szemcsét, mint látható, jól érzékelhető részecskét tartják az anyag felépítő egységének.

Az oldódás

A cukor és a só oldódásával kapcsolatos gyermeki magyarázatok elemi szintjét jelentik a nem-megmaradás típusú értelmezések: „a vízbe tett kockacukor eltűnik, semmivé válik”. Számos esetben megfigyelhető az anyag és a tulajdonság szétválasztása: „a cukor eltűnt, de az íze ott maradt”. A fogalmi fejlődés magasabb szintjét jelenti a „vízzé válik, folyadékká válik” típusú értelmezés, hiszen ebben már tükröződik az anyagmegmaradás törvénye. Később megjelennek az oldandó anyag változását leíró kifejezések: „szétrombolódik, széttörik, megolvad”. Ezek még mindig a folytonos anyagképpel összefüggésbe hozható kifejezések. A „megolvad” még azután is megmaradhat – elsősorban a mindennapi nyelvhasználat hatására –, amikor már a tanuló tudja részecskeszinten is értelmezni az oldást. Azt a tapasztalati tényt, hogy a legtöbb szilárd anyagból több oldható fel meleg vízben, mint hidegben, gyakran szintén az olvadással hozzák kapcsolatba: „a forró víz megolvasztja a cukrot”. A részecskeszemlélet megjelenésének első jele a „láthatatlan szemcsékre esik szét” megfogalmazás. Saját vizsgálataink szerint a 4-6. osztályos tanulóknak kb. egynegyede, de a 7-8. osztályosoknak is csak mintegy harmada használt részecskeszintű értelmezést a cukor vízben való oldásának magyarázatára. Nagyon fontos ugyanakkor látnunk, hogy amikor a tanulók részecskékről beszélnek, akkor általában a szilárd anyag kis darabjaira gondolnak, és nem pedig az azokat alkotó kémiai részecskékre (ionokra, molekulákra). A mindennapi tapasztalat alapján kialakult folytonos anyagkép és a részecskemodell keveredéséből a következő fontosabb szintetikus modellek jöhetnek létre: (1) a részecskék a folytonos anyagban találhatóak

(„a cukorból kioldódott az az anyag, ami édessé teszi”); (2) a részecskéknek makroszkópos tulajdonságuk van („a cukor elolvadt és a részecskéi édesek”, „édes atomok vannak benne”, „a cukor részecskéi folyékonyvá váltak”). A részecskeszemléletű válaszok elsősorban 5-6. osztályban fordulnak elő. Bár megfogalmazásai eléggé pontatlanok, az oldódás lényegi megértése tükröződik bennük: „a gyorsan mozgó vízmolekulák felbontják a cukor kötéseit”, „a cukor nedvesség hatására molekulákra bomlik”. (Dobóné, 2004a, 2008)

Már az oldódás jelenségének értelmezésénél megfigyelhető, hogy a gyerekek a különböző változásokban résztvevő anyagok között különbséget tesznek aktív és passzív anyagok között. Oldódásnál az aktív anyag az oldószer, a passzív anyag az oldandó anyag. „Az oldószer feloldja az oldandó anyagot.” „Az oldandó anyag az oldás során megváltozik, de az oldószer nem változik meg.”

Az égés

Bár a tanulók bőséges tapasztalattal rendelkeznek az égésről, a folyamat megértése, helyes értelmezése – a fogalmi rendszerben elfoglalt magas pozíciója miatt – nagyon nehéz. A tanulók kezdetben az égés értelmezésére alapvetően háromféle modellt használnak. (a) Az egyik modell szerint a szilárd anyagok (fa, gyertya, magnézium) égését halmazállapotváltozásként értelmezik. (b) A másik, ún. transzmutációs modellnek az a lényege, hogy egy „nem éghető” anyag (pl. magnézium) égés során egy olyan ismert „éghető” anyaggá (pl. szén) alakul át, amelynek égése a hétköznapi tapasztalatokkal összeegyeztethető. (c) Az „összeragadás” elmélet szerint az éghető anyag több alkotórészből áll, amelyek kezdetben össze vannak ragadva és az égés során egyszerűen szétválnak egymástól. Az égés tehát nem anyagok kölcsönhatása, hanem összeragasztott alkotórészek szétválása (Meheut, Saltiel, Tiberghien, 1985). Egy német vizsgálat (Barke, Hazari és Yitbarek, 2009) szerint még a 9. osztályos tanulók egy része is hasonló modell alapján értelmezi a magnézium égését.

Nagy problémát jelent – különösen a fiatalabb gyerekek esetén –, hogy az égéshez szükséges oxigén (levegő) láthatatlan, és kölcsönhatásba lépő (égést tápláló) anyagként való elfogadása nagyon nehéz. Az égés gyermeki értelmezései között megjelennek a flogiszton-elmülethez nagyon hasonló modellek is. (A flogiszton-elmélet szerint minden éghető anyagban található egy olyan anyag, ami égéskor eltávozik és az égő anyag tömegcsökkenését okozza. Ez a flogiszton. Minél több flogisztont tartalmaz

egy anyag, annál jobban ég.) Számos vizsgálat igazolja, hogy az égésről alkotott helyes kép kialakításához elengedhetetlen a részecskemodell megfelelő szintű ismerete és alkalmazása.

Az égéssel kapcsolatos fogalmi fejlődés legfontosabb állomásai a következők: (1) Az égés mindig tömegcsökkenéssel jár. (2) Az égéshez levegő (oxigén) szükséges. (3) Az égés járhat tömegnövekedéssel is. (4) Égés nemcsak oxigénben lehetséges (Tóth, 2003c).

A fenti, elsősorban tizenéves tanulók fogalmi megértésével kapcsolatos problémákon túl az iskolakezdők esetén fokozottan jelentkezhetnek a fogalmak kategorizálási nehézségeiből adódó megértési problémák. A gyerekek egy része például a hőt, az energiát anyagnak tekinti, vagy nem tesz különbséget a melegítés folyamata és a hő fogalma között (Dobóné, 2004b).

Az ózonréteg és az ózonlyuk

Bár ezek a fogalmak nem tartoznak a tisztán természetes fogalmak közé – inkább ún. természetessé vált tudományos fogalmak –, a fejlődésük állomásait egy kanadai vizsgálat során állapították meg (?). Az első szint, a kisgyermekes fogalmi szintje, az ún. geológiai-fizikai modell. Ennek az a lényege, hogy az ózonréteget közvetlenül a föld felszínén képzelik el a gyerekek, és az ózonlyukat pedig mint fizikailag létező lyukat. Az iskolások jellemző modellje az ún. atmoszférikus-fizikai modell. Ők már tudják, hogy az ózonréteg a légkör külső részén helyezkedik el, de az ózonlyukat még mindig fizikailag létező lyuknak tekintik (pl. egy űrhajó, vagy egy meteorit átszakította az ózonréteget). A középiskolások és főiskolások egyik jellemző modellje az atmoszférikus-szennyező modell. Ennek értelmében az ózonlyuk azért jön létre, mert a légkörbe kerülő szennyezők elbontják az ózont.

Az atomfogalom fejlődése

A három kémiai részecske közül legrészletesebben az atom tanítási, tanulási, megértési problémáit vizsgálták. Számos tanulmány foglalkozik a tanulók atomfogalommal kapcsolatos megértési nehézségeivel és tévképzeteivel (pl. Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer és Blakeslee, 1993; Harrison és Treagust, 1996; Taber, 2002; Cokelez és Dumon, 2005). Ugyancsak bőséges irodalma van az atomfogalom tanítási problémáinak és lehetőségeinek is (pl. Tsaparlis, 1997; Toomey, DePierro és Garafalo, 2001; Nelson, 2002; 2003; Tsaparlis és Papaphotis, 2002).

Kérdőíves kutatásunkban – egy nagyobb szabású kutatás részeként – azt kértük a tanulóktól, hogy írják le az atom, a molekula és az ion fogalmát. A felmérésben 17 hat- és nyolcosztályos gimnázium véletlenszerűen kiválasztott 724 tanulója vett részt. A válaszokat – Unal és Zollman (1999) amerikai diákok atomfogalommal kapcsolatos elképzeléseinek vizsgálata mintájára – a fenomenográfia (Marton, 1981, 1986) elveinek megfelelően értékeltük (Tóth és Ludányi, 2007a; Ludányi, 2008).

A tanulók válaszait – Unal és Zollman (1999) kutatásaihoz hasonlóan – hat kategóriára tudtuk bontani. Ezek a következők voltak:

1. Nincs válasz.
2. Nem tudom.
3. Az atom az anyag legkisebb építőegysége.
4. Az atom alkotóegységei (protonok, elektronok, neutronok).
5. Az atom szerkezete, atommodellek.
6. Egyéb.

Ezek közül elemzésre a 3-5. kategóriákat választottuk ki, és a továbbiakban a következőképpen jelöljük:

- ① Az atom az anyag legkisebb építőegysége.
- ② Az atom alkotóegységei.
- ③ Az atom szerkezete, atommodellek.

Az érdemi választ adó tanulók leírásaiban ezen három kategória valamelyikét, illetve ezek kombinációit lehetett kimutatni.

A tanulók válaszaiból származtatott három kategória lehetséges hierarchiáját a tudástér-elmélet (Tóth, 2005, 2013) alapján határoztuk meg. Valamennyi tanulócsoport (évfolyam) esetén elvégeztük az elméletileg elképzelhető összes (19 féle) modell jóságának elemzését, és minden tanulócsoport esetén megállapítottuk a legjobban illeszkedő modellt vagy modelleket. Az eredményeket a 6. ábrán láthatjuk.

A 6. ábrán látható modellekből a következő fontos következtetéseket lehet levonni:

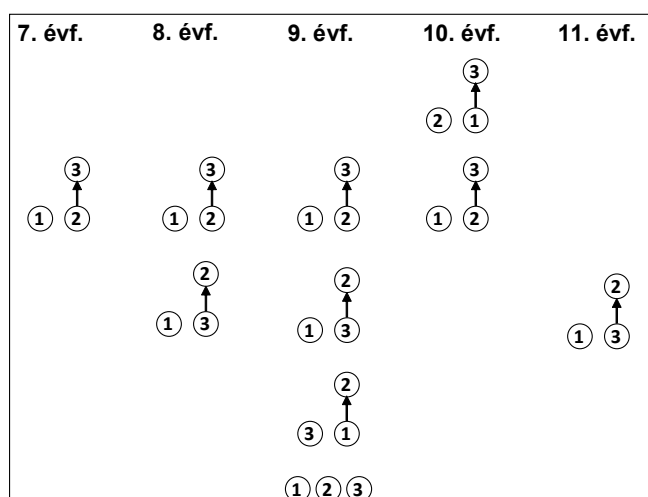
1) A tanulók atommal kapcsolatos „tudásszerkezetét” leíró modellek száma kilencedik osztályig az évfolyammal egyre nő, kilencedik osztálytól viszont folyamatosan csökken. Ez arra utal, hogy a 7. és a 11. évfolyamosok „tudásszerkezete” viszonylag egységes, míg a 9. évfolyamosoké meglehetősen diffúz. Ez a kép az atommal kapcsolatos fogalmi fejlődés és fogalmi váltás tipikus profilját mutatja. A kezdeti – viszonylag egységes –

modell a tanulmányok előre haladásával differenciálódik, újabb modellek jönnek létre, majd elkezdődik egy „letisztulási” folyamat, és végül kialakul egy újabb, viszonylag egységes modell.

2) Szinte valamennyi modellben megfigyelhető, hogy az „^① Az atom az anyag legkisebb építőegysége” kategória izolált elemként fordul elő a jellemző „tudásszerkezetben”. Ez érthető, hiszen a legkisebb – esetleg tovább nem osztható – építőegység nehezen egyeztethető össze azzal, hogy az atom protonokból, elektronokból és neutronokból épül fel és határozott szerkezete van.

3) Látható, hogy a kezdeti – 7. osztályos – modell és a végső – 11. osztályos – modell különbözik egymástól. Míg 7. évfolyamon a tanulók általában az atom összetevőire vezették vissza a felépítést, az atommodelleket, addig 11. évfolyamra ez a kép megfordul és a 11. osztályosok jellemzően az atommodellekből vezetnek le az atom összetevőit. Ez egyfajta induktív → deduktív váltást jelent.

Elemzéseink szerint tehát a magyar 7–11. évfolyamos tanulók tudásszerkezetében kimutatható az atom fogalmával kapcsolatos fogalmi váltás. Hasonló tudásszerkezet-profilt kaptunk az ionra (Tóth és Ludányi, 2007b, Ludányi, 2008) és a molekulára (Ludányi, 2008) is.



6. ábra:

A tanulók atommal kapcsolatos „tudásszerkezetét” legjobban leíró modellek („kategória-hierarchiák”) különböző évfolyamok esetén (Tóth és Ludányi, 2007)

1.3.3. Nyelvi nehézségek

A kémia nyelve olyan speciális csoportnyelvnek tekinthető, amelynek tanulása mindenki számára kötelező. A tanulók olyan nyelvi kód felhasználására vannak kényszerítve, amelyet korábban még sohasem használtak, amely nem csak a köznapi kódtól különbözik, hanem gyakran a más természettudományos tárgyakétól (fizikáétól, biológiáétól, földrajzétól) is (Ludányi, 2007). A probléma tehát nem csak az ismeretek mennyiségében és absztrakt szintjében keresendő, hanem magában a kémia nyelvezetében is. Ez a nyelv a kémia szempontjából akár büszkeségünk, erősségünk is lehetne, hiszen egyfajta intellektuális kihívást jelent megérteni. Ugyanakkor óriási gát, amikor a kémiát megpróbáljuk kezdőknek tanítani (Johnstone, 2000). Cassels és Johnstone (1980) tanulmányukban arra hívták fel a figyelmet, hogy sok hétköznapi szó, amelyet a tanár magától értetődőnek tart és használ az órán, a tanulók számára kémiai kontextusban értelmezhetetlen. Prophet és Towse (1999) már odáig jutott, hogy szerintük a természettudományok tanításának problémái hasonlatosak az idegen nyelv tanulásának problémáihoz. Hasonló következtetésre jutott Osborne (1996) is a fizikatanulás nehézségeinek kutatása során.

A kémia szaknyelve három szintre osztható fel (Jacob, 2001): (1) szimbólumok szintje; (2) definíciók, fogalmak szintje; (3) törvények, modellek szintje. A három nyelvi szint kapcsolatban áll egymással. Hinton és Nakhleh (1999) szerint a tanulók általában csak egyik vagy másik szinten értik meg a fogalmakat, de nem tudják az azonos fogalomhoz tartozó különböző szinteket egymáshoz rendelni.

A korábban már az 1.3.1. fejezetben tárgyalt problémák (kémiai fogalmak tudományos és hétköznapi jelentésének eltérése, kontextusfüggő jelentése stb.) mind besorolhatók a nyelvi nehézségek közé is. Például az „erős kávé” kifejezés a hétköznapi nyelvben a tömény kávé jelent, a „cukor olvadása a szánkban” pedig valójában oldódást takar (Ludányi, 2008). Ugyancsak problematikus a „leválás” szó használata az elektrokémiában, amikor valójában ráakódás történik. A „töltéshordozó” sem a hátán cipeli a töltést, és aztán ledobja-leadja a megfelelő helyre, és fordul vissza az újabb hordoznivalóért (Treagust, Duit és Nieswandt, 2000).

A tanulók jelenős hányadának problémát jelent a kémiai egyenletekben használt „+” és „=” jelek jelentése. Sokan ezeket a matematikában megismert értelmezéssel látják el. Többekben felmerül a kérdés: hogyan lehet két anyagot összeadni, hogyan egyezhet meg két vagy több különböző

anyag egymással stb. Az sem ritka, hogy a konstitúciós képletekkel felírt reakcióegyenletben a kettős kötést is egyenlőségjelként értelmezik a tanulók. Figyeljünk tehát arra, hogy a kémiai egyenleteket ne így olvassuk: két Na plusz Cl_2 egyenlő két NaCl, hanem nátrium és klórgáz reakciójában nátrium-klorid keletkezik.

Lee (2001) szerint a kémiatanári mesterséghez két nyelv ismerete szükséges: az egyik a tudomány nyelve, a másik pedig a diákok nyelvének és kultúrájának megértése. Ez utóbbi azt jelenti, hogy a tanár magyarázataival, hasonlataival ne szakadjon el a tanulók aktuális, köznapi világtól. A tanulók sokkal szívesebben élnek a hozzájuk jobban kötődő analógiákkal, számukra azok sokkal szemléletesebbek. Ennek kapcsán azonban Taber (2001) arra a veszélyre hívja fel a figyelmet, hogy a tanárok előszeretettel használnak magyarázataikban antropomorf kifejezéseket, például: „elveszi tőle”, „elektront akar szerezni”, „megosztóznak rajta” stb. Az ilyen – kétség kívül szemléletes – antropomorf kifejezések csak kiinduló pontjai legyenek a magyarázatoknak, feltétlenül kövesse őket a szaknyelv elemeit felhasználó magyarázat is. Talanquer (2007) tanulmányában részletesen elemzi az antropomorfizmus és a teleológia jelentőségét és használatának veszélyeit a kémiában. Az antropomorfizmust – azaz nem emberi lények, tárgyak emberi tulajdonságokkal történő felruházását – gyakran használjuk magyarázatunk szemléletesebbé tételére érdekében. A teleológia – azaz valamilyen objektum, jelenség, esemény alárendelése valamilyen célnak vagy szabálynak – gyakran előfordul a tankönyvekben is különösen olyan általános elvekhez kapcsolódóan, mint a termodinamika második főtétele, a legkisebb kényszer elve, az oktett szabály és a vegyértékelektronpár-taszítási elmélet.

1.3.4. Megértési zavarok a kémia tanulásában

A kognitív tudományok fejlődésével, különösképpen a konstruktivista pedagógia előtérbe kerülésével, az 1970-es években indultak meg azok a kutatások, amelyek célja a tanulók gondolkodásának, fogalmi rendszerének vizsgálata volt. Ennek részeként erősödtek meg a fogalmi megértés nehézségeivel, a hibás tanulói elképzelésekkel (tévképzetekkel) kapcsolatos vizsgálatok is. Tévképzeteknek nevezzük a tudományosan nem helytálló nézetek, fogalmak vagy fogalomrendszerek együttesét. A tévképzetkutatások – nem véletlenül – a természettudományok területéről indultak el, és máig is ez az ilyen szempontból legalaposabban tanulmányozott része a tanulók ismereteinek.

Magyarországon 1997-ben jelent meg az első tudományos igényű tanulmány a természettudományos tévképzetekről (Korom, 1997). Később – elsősorban a kémia területén – történtek szisztematikus vizsgálatok (például: Tóth, 1999a, 2009), melyekbe doktori munkájuk révén gyakorló tanárok is bekapcsolódtak (Kiss, 2008a, 2008b; Dobóné, 2008, 2009; Ludányi, 2008, 2009a).

Az ebben a tanulmányban tévképzetnek (misconception) nevezett téves fogalmaknak, fogalomrendszereknek a szakirodalomban számos más elnevezése is ismeretes (Korom, 2005). Bár mindegyik ugyanazt a fogalmat jelenti, az egyes elnevezések esetében a tudományosan nem helytálló fogalomrendszer más-más sajátosságára helyeződik a hangsúly. A tévképzet (misconception) a fogalom tudományosan nem helytálló voltát hangsúlyozza, és egyfajta negatív ítéletet is hordoz. Az alternatív fogalom (alternative conception), az alternatív keret (alternative framework), a naiv elmélet (naive theory) és a gyermektudomány (children's science) megnevezések azt hangsúlyozzák, hogy ezek a hibás elképzelések is segíthetik a tanulót a környező világ jelenségeinek értelmezésében és a problémák jól vagy rosszul történő megoldásában. A fogalmi rendszer fejlődésére utalnak a pre- és naiv előtagok (preconception, naive belief, naive theory). A conception (fogalom) és belief (meggyőződés) utótagok az egyediséget, a framework (keret) és theory (elmélet) utótagok pedig egyfajta koherens fogalomrendszert hangsúlyoznak.

Amint az előzőekben láttuk, a fogalmi megértési zavarok kialakulásának számos oka lehetséges. A tanulók kémiai tévképzetei kialakulhatnak a tanítási folyamatban is. Ezeket a tévképzeteket nevezzük didaktogén (Ludányi, 2009b) vagy iskolában szerzett (school made) tévképzeteknek (Barke, Hazari és Yitbarek, 2009). Ezek mögött általában vagy a megfelelő szaktudomány fogalomrendszerének sajátosságai (Tóth, 2002; Ludányi, 2007) vagy didaktikai problémák húzódnak meg. Egyértelmű irodalmi adatok bizonyítják, hogy a tanároknak is vannak tévképzeteik, és ezeket gyakran át is adják tanítványaiknak (Ludányi, 2009b). Számos esetben a tankönyvi szöveg vagy ábra segíti elő a tévképzetek kialakulását (Tóth, 1999b). A lehetséges módszertani problémák közül feltétlenül ki kell emelnünk a fogalomalkotás során az általánosítás elmaradását, a nem megfelelő szemléltetést és a modellek tévképzeteket generáló veszélyét.

A tévképzetek jellemzői

A tévképzetek egyik legfontosabb jellemzője, hogy stabilisak, nagy mértékben rezisztensek az oktatással szemben. Téved tehát az a pedagógus, aki azt hiszi, hogy egy természettudományos fogalom logikus elmagyarázásával, részletes megbeszélésével sikerül tanulói tévképzetét megváltoztatni. A mindennapi megismerésből és a mindennapi módon való gondolkodásból származó tévképzetek mennyisége és minősége – felmérések szerint (lásd pl. Tóth és Csatári, 2008) – gyakorlatilag független attól, hogy a tanulók hány évig tanulták a tárgyat és milyen az abban elért iskolai teljesítményük. Újabb vizsgálatok (Turányi és Tóth, 2011) igazolják, hogy a tévképzetek többségét még az igen alapos egyetemi tanulmányok sem tudják felülírni.

A stabilitás egyik oka, hogy a tévképzetek valamilyen szinten adaptívak, azaz bizonyos fajta problémák megválaszolására alkalmasak, vagy legalábbis sikerrel kecsegtetnek. Ráadásul a tévképzetek személyesek és szituatívak. Különösen a naiv elméletekre igaz, hogy iskolai kontextusban kevésbé jelennek meg. Mivel minden tanulónak más és más a kognitív értelmező rendszere, ezért a tanulónak egy-egy témakörrel kapcsolatos tévképzetei nagyon különbözhetnek egymástól.

Amint már említettük, a mindennapi megismerésből származó tévképzetek általában hasonlóságot mutatnak a mára már meghaladott tudományos nézetekkel. Így például a tanulóknak a mozgással vagy az anyag szerkezetével kapcsolatos elképzelései hasonlítanak az arisztotelészi elméletekhez, az égés értelmezése gyakran hasonlít a flogiszton-elmélethez (Dobóné, 2004, 2008, 2009; Barke, Hazari és Yitbarek, 2009), a természetes és a szintetikus anyagok tulajdonságaival, hatásaival kapcsolatos elképzelések nagyfokú hasonlóságot mutatnak az életerő-elmélethez stb.

A tévképzetek – noha bizonyos értelemben a tanulás szükségszerű velejárói – gátolják a további tanulást és „melegágyai” lehetnek a manapság annyira gyakori áltudományos nézeteknek.

Bár a tévképzeteket nagyon nehéz megváltoztatni, a tanulás-tanítás értelmét, a fogalmi fejlődés és váltás lehetőségét kérdőjeleznénk meg, ha lemondanánk korrekciójunktól. Milyen feltételeknek kell teljesülniük ahhoz, hogy esélyünk legyen a tévképzetek megváltoztatására?

A sikeres korrekciónak két feltétele van:

1. A tanulók tévképzeteinek ismerete, esetleg feltárása.
2. Megfelelő tanítási stratégia alkalmazása.

1.3.4.1. A fogalmi megértési problémák feltárása

Építsünk a tanulók előzetes ismereteire, elképzeléseire! Ez nagyon fontos mozzanata a hatékony tanításnak. Egyszerre teszi személyessé az oktatást és megteremti a kapcsolatot a régi és az új ismeret között. Ragadjunk meg minden lehetőséget ennek az elvnek az érvényesítésére! Hagyjuk a tanulót „megnyilvánulni” még akkor is, ha az osztálylétszámok ezt megnehezítik. És itt nem – pontosabban nem csak – a tanterv alapján várható korábbi ismeretekről van szó, sokkal inkább a tanuló fejében lévő előzetes ismeretekről, naiv elméletekről, félreértésekről, tévképzetekről. Ne úgy kezeljük ezeket, mint üldözendő, bűnös gondolatokat, hanem inkább érdekes, továbbfejlesztésre alkalmas kiindulási alapokat.

Mára már a legtöbb természettudományos tantárgyban – így a kémiában is – léteznek olyan összefoglaló munkák, amelyek tematikus gyűjteményét adják a tanulók jellemző tévképzeteinek. Jó, ha a pedagógus ismeri tanítványai várható tévkézeteit, az adott témakörrel kapcsolatos tévképzetek feltárása alapvető fontosságú a hatékony tanítás szempontjából. A tévképzet-feltárásnak számos technikája létezik, de szinte mindegyik esetben alapvető, hogy ne az iskolai tananyag reprodukcióját kérjük tanulóinktól, hiszen többségük tudja, hogy milyen választ várunk, és azt is adja nekünk, annak ellenére, hogy valójában nem úgy gondolkodik a dolgokról, ahogy azt feleletében mondja. A következőkben röviden áttekinthetünk néhány olyan technikát, amit eredményesen lehet használni a tévképzetek feltárásában, azonosításában.

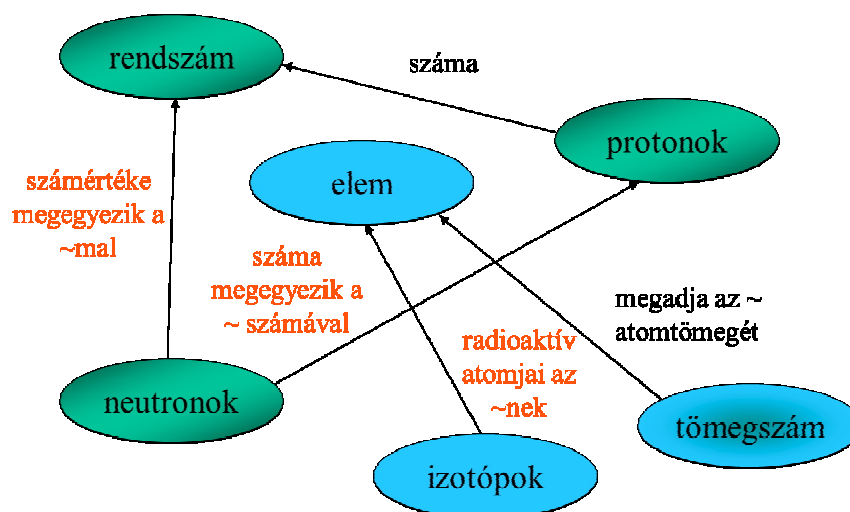
Az interjú

A tévképzetek feltárásának talán leghatékonyabb eszköze az interjú, pontosabban a strukturálatlan interjú. A strukturálatlan interjú során az interjú készítője (a tanár) attól függően fogalmazza meg kérdéseit, hogy az azt megelőző kérdésekre milyen választ kapott a tanulótól. Az interjú lebonyolítása időigényes, és a strukturálatlan interjú alapos szakmai, módszertani és pszichológiai felkészültséget, valamint gyors helyzetértékelő képességet igényel a tanártól. Használata ezért inkább tudományos igényű vizsgálatoknál célszerű. Az interjú, mint kutatási eszköz használatának szép példáit láthatjuk Schmidt tanulmányaiban (pl. Drechsler és Schmidt, 2005a, 2005b).

Fogalmi térképezés

Az egyes tanulók tévképzeteinek felmérésére alkalmas, viszonylag egyszerű és gyors eljárás a fogalmi térkép alkalmazása (Kiss és Tóth, 2002; Habók, 2008). A fogalmi térkép egy témakör legfontosabb fogalmainak kapcsolati rendszerét jeleníti meg. Az egymáshoz valamilyen módon közvetlenül kapcsolódó fogalmakat nyilakkal, a köztük lévő kapcsolatot a nyilakra írt rövid szöveggel fejezzük ki. A tévképzetek feltárására leginkább azt a változatot célszerű használni, amikor a tanulónak egy adott fogalomkészletet kell fogalmi térképbe rendezni. A fogalmak közötti helytelen kapcsolat vagy a kapcsolat hibás leírása utalhat tévképzetre. (A fogalmi térképeknek fontos szerepük lehet a fogalmak közötti kapcsolati háló vizuális megjelenítésében, valamint a hiányos fogalmi hálók kitöltésének a fogalmak hatékony tanításában.)

A 7. ábrán egy olyan fogalmi térképet mutatunk be, amelyben a tanulónak az volt a feladata, hogy rendezze fogalmi térképbe a „rendszer”, „protonok”, „neutronok”, „elem”, „izotópok” és „tömegszám” fogalmakat. Látszik, hogy számos tévképzet – többek között a makroszintű fogalmak (pl. elem) és a részecskeszintű fogalmak (pl. tömegszám, izotópok) keveredése – jelenik meg a fogalmi térképben.

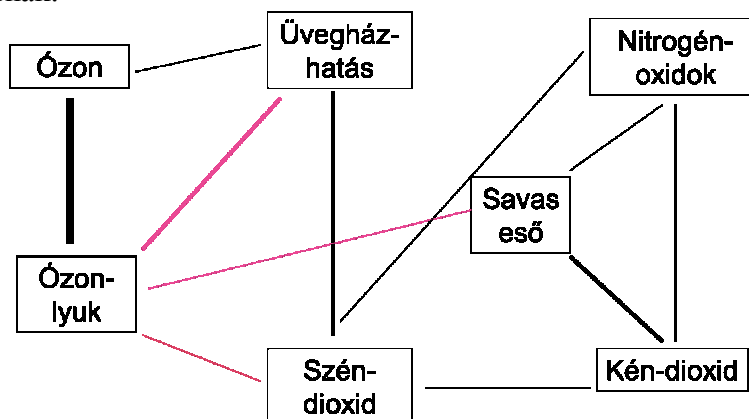


7. ábra:

Tévképzetekre utaló kapcsolatok a fogalmi térképben

Szóasszociációs teszt

Mind egyéni, mind csoportos tévképzet-feltárára alkalmas a szóasszociációs módszer (Kluknavszky és Tóth, 2009; Tóth és Sójáné, 2012; Tóth és Sója-Gajdos, 2012). A módszer lényege az, hogy bizonyos témakör kulcsfogalmait, mint hívószavakat alkalmazva, azt vizsgáljuk, hogy adott idő alatt a tanuló milyen más szavakra asszociál. Az egyes alapfogalmak közötti kapcsolat erősségére a közös válasz-szavakból tudunk következtetni. A hívószavak indokolatlan elszigeteltsége egymástól, vagy hibás kapcsolata tévképzetre utalhat. Tanulócsoport szinten azt is érdemes megvizsgálni, hogy az egyes hívószavakhoz melyek a leggyakrabban társuló válaszok. A 8. ábra egy tanulócsoport esetén elvégzett szóasszociációs mérés eredményét mutatja. A hívószavak a következők voltak: ózon, ózonlyuk, üvegházhatás, szén-dioxid, savas eső, kén-dioxid, nitrogén-oxidok. A hívószavakra kapott közös asszociációk alapján megállapítható az egyes hívószavak közötti kapcsolat erőssége (az ábrán az összekötő vonal vastagsága jelzi). A téves kapcsolatok (ózonlyuk–üvegházhatás; ózonlyuk–szén-dioxid; ózonlyuk–savas eső) jellemző tévképzeteket tartalmaznak.



8. ábra:

Tévképzetekre utaló téves kapcsolatok a szóasszociációs térképen (Kluknavszky és Tóth, 2009)

A szóasszociációs teszt használatára számos példát találunk a nemzetközi szakirodalomban. A kémiai egyensúllyal kapcsolatos fogalmak megértését vizsgálta többek között Gussarsky és Gorodetsky (1988, 1990), valamint Maskill és Cachapuz (1989), illetve Catchapuz és Maskill (1989).

Ugyancsak Cachapuz és Maskill (1987) a tanulók tudásszerkezetének tanításra bekövetkező hatását vizsgálta reakciókinetika témakörben. Cardellini és Bahar (2000) elsőéves mérnökhallgatókkal írtak szóasszociációs tesztet általános kémiai fogalmak vizsgálatára (egyensúly, pH, entalpia, redoxireakció, mol, kötés, halmazállapot, pálya, oldat, reakció). Nakiboglu (2008) az atom szerkezete témakört vizsgálta ezzel a módszerrel. Vizsgálatában a témakör tanítása előtt és után is elvégezte a tesztfelvételt. Vizsgálta, hogy az oktatás hatására van-e változás a csoport fogalmi struktúrájában. A hívószavak a következők voltak: proton, pálya, elektron, atommag, neutron, kvantumszám, nukleon, héj, energiaszint. Megállapította, hogy a szóasszociációs teszt alkalmas az oktatás során bekövetkezett változások kimutatására. Sendur, Özbayrak és Uyulgan (2011) elsőéves kémia tanárjelöltek előzetes tudását mérték fel a sav-bázis témakörben, majd elvégeztették a tesztkitöltést harmadévesekkel is. A hívófogalmak a következők voltak: sav, bázis, pH, pOH, indikátor, titrálás, elektrolit, hidrolízis, puffer. Kimutatták, hogy a tanulók rendelkeznek előzetes tudással, melyek gyakran a hétköznapi életből való fogalmak. A harmadévesek válasszaiban bár kevesebb volt az asszociációk száma, a hívószavak közötti kapcsolatok erősödtek és megjelentek olyan asszociációk, melyek alátámasztják azt, hogy a tanítás hatással volt a tanulók fogalmi rendszerére. A módszer alkalmasnak bizonyult az előzetes tudás felmérésére, a kognitív struktúrák, a tanulók gyengeségeinek és erősségének a feltárására is az adott témakörben.

Összekapcsolt feleletválasztásos teszt

Bár a tévképzetek hatékony feltárására elsősorban a nyílt végű feladatok, ezek közül is leginkább a problémafeladatok alkalmasak, a zárt végű feladatok megfelelő szerkesztésével is nyerhetünk információkat tanulóink tévképzeteiről. Az egyszerű választásnál például arra kell törekedni, hogy a helyes válasz mellett szereplő disztraktorok lehetőleg a témakörrel kapcsolatban várható tévképzetekre utaljanak. A tévképzet-kutatásban sikerrel használják az ún. összekapcsolt feleletválasztásos teszteket (two-tier multiple-choice tests). Ezeknek az a lényege, hogy az első kérdés 2-3 lehetséges válaszának elemzése után a tanulónak ki kell választani az adott válaszhoz tartozó indoklások közül is a helyeset. Ilyen kérdéseket viszonylag könnyen lehet készíteni az ún. relációanalízis (összefüggéselemzés) típusú zárt végű feladatokból. Egy példa az összekapcsolt feleletválasztásos tesztre:

Mind az állítások (A-C) közül, mind az indoklások (a-e) közül válassza ki az Ön szerint leginkább igazat!

A kávéban kevergetés közben

- A) több cukor;
- B) kevesebb cukor;
- C) ugyanannyi cukor

oldható fel, mint kevergetés nélkül, mert

- a) kevergetéssel az oldódás sebességét növeljük;
- b) kevergetéssel az oldódás mértékét növeljük;
- c) kevergetés hatására a cukor nagyobb felületen érintkezik a kávéval;
- d) kevergetés hatására a kávé gyorsabban lehül;
- e) kevergetés hatására a kávé felmelegszik.

Összekapcsolt feleletválasztásos tesztek alkalmaztak – többek között – a tanulók kovalens kötéssel (Treagust, 1988; Peterson, Treagust és Gamett, 1989), diffúzióval és ozmózissal (Odom és Barrow, 1995), kémiai egyensúllyal (Akkus, Kadayaaifci és Atasoy, 2011), a kémiai reakciók különböző szintű megértésével (Chandrasegaran, Treagust és Mocerino, 2007), savakkal és bázisokkal (Bayrak, 2013; Cetin-Dindar és Geban, 2011), néhány kémiai alapfogalommal (Mutlu és Sesen, 2015) kapcsolatban. A tesztfejlesztés lépéseit Treagust dolgozta ki 1988-ban (Treagust, 1988). Újabban kísérletek folynak olyan összekapcsolt feleletválasztásos tesztek („three-tier tests”) kidolgozására és alkalmazására, amelyek a végén tartalmaznak egy megerősítési választást is: „Biztos vagy az előző két kérdésre adott válaszodban? (a) Igen (b) Nem.” (Pl. Cetin-Dindar és Geban, 2011).

1.3.4.2. Megfelelő tanítási stratégia alkalmazása

A hagyományos, tudásátadáson alapuló tanítási stratégiák (előadás, kérdeve kifejtés) nagyon kis hatékonyságúak a tévképzetek korrekciójában. Sokkal több eredmény várható azoktól a tanítási módszerektől, amelyek fokozottan igénylik a tanulók kognitív értelmező rendszerének mozgósítását (lásd például: Korom és Nagyné, 2012).

Kognitív konfliktus

Különösen a problémamegoldás területén nagyon jól használható a kognitív konfliktus módszere. Ennek lényege, hogy a tanulót olyan probléma megoldása elé állítjuk, amelynek megoldására a várható tanulói tévképzet nem alkalmas (lásd pl: Adey, 1999; Korom, 2005). Ha például a

tanulónak az a tévképzete, hogy égés csak oxigénben (levegőben) lehetséges, akkor kérjük meg, hogy értelmezze az acetilén és klórgáz víz alatt végbemenő, lángjelenséggel és koromképződéssel járó reakcióját – természetesen, miután bemutattuk azt.

Kooperatív tanulás

Hatékony lehet a kooperatív (csoportos) tanulás is a tévképzetek korrigálásában. Hatékonysága abban rejlik, hogy a tanuló megismerheti vele egykorú társai véleményét a jelenségekről, és ha azt tapasztalja, hogy a tanulótársak másként értelmeznek bizonyos dolgokat, mint ő, akkor nagyobb esélye van annak, hogy a saját értelmező rendszerében változás következik be, mintha csak annyit tapasztal, hogy a tanár másként vélekedik bizonyos dolgokról, mint ő. A kooperatív technika egyik érdekes megvalósítási formáját, az ún. *egymás tanítás módszerét* („peer instruction”) dolgozta ki és alkalmazza Mazur (2014). Egy-egy természettudományos probléma felvetése során – szavazógép segítségével – felmérte hallgatóságának előzetes választát, majd – nem elárulva a helyes megoldást – arra kérte a hallgatóságot, hogy 5 percig szabadon beszéljék, vitassák meg szomszédjaikkal a lehetséges megoldásokat. Utána újra felmérte a válaszokat, majd elárulta és elmagyarázta a helyes választ. Általában az volt a tapasztalat, hogy a tanulótársakkal való konzultáció után sokkal többen jelölték meg a helyes választ, mint a konzultáció előtt. Ez mutatja, hogy a tanulók mennyire hatékonyan képesek egymás tanítására, meggyőzésére.

Tudománytörténet tanítása

A mindennapi tapasztalatokon alapuló tévképzetek egy része (például: az anyag folytonos volta, a részecskék anyagi tulajdonságokkal való felruházása, a flogiszonelmélet, az életerő-elmélet stb.) hasonlóságot mutat a tudomány történetének korábbi korszakaiban jellemző elképzelésekhez (lásd pl. Barke, Hazari és Yítbarek, 2009). Ilyen esetekben hatásos lehet a tudománytörténeti vonatkozások tanítása, melynek során a tanuló szembesül azzal a ténnyel, hogy az ő elgondolásai egy mára már idejét múlt elgondoláshoz hasonlóak.

Metafogalmi tudás kialakítása

Végül, de nem utolsó sorban fontos a tanulók metafogalmi tudásának kialakítása. Ezt a célt szolgálják a tantárgy fogalmi megértést nehezítő

körülményeinek tudatosítása, illetve az ún. fogalmi megértést elősegítő tankönyvi szövegek (lásd később részletesebben: 2.3.), amelyekben akár explicit módon megjelennek a közismert tévképzetek (Tóth és Ludányi, 2011, 2012; Tóth, Ludányi és Somogyiné, 2013, 2014). A fogalmi váltást elősegítő, a metafogalmi ismereteket is tartalmazó, azokat hangsúlyozottan tárgyaló tankönyvi szövegek sikerességét és kedvező tanulói fogadtatását tudományos igényű pedagógiai kísérletek igazolják (lásd pl. Chinn és Brewer, 1993; Hynd és Guzzetti, 1998; Chambliss, 2002).

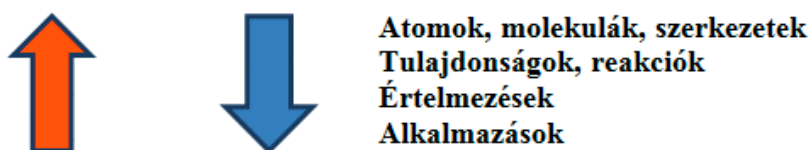
Kilépő kártya

A tanulói visszajelzések begyűjtésének egyszerű, de hatékony módszere az ún. kilépő kártya (Felder, 1996). Ennek az a lényege, hogy óra végén a tanulóknak – név nélkül – írásban kell válaszolniuk egy-két kérdésre: Pl. Milyen fontosabb fogalmakkal ismerkedtél meg a mai órán? Mit nem értettél meg a mai órán? A válaszok értékelése után a következő tanórát célszerű ezek megbeszélésével kezdeni.

1.3.5. A tudomány logikája

Norman Reid (2000) a glasgow-i egyetem professzora 2000-ben jelent tanulmányának ezt a címet adta: „A kémia bemutatása: logikusan felépített vagy alkalmazásokon alapuló?” Tanulmányában abból indul ki, hogy a (skót) középiskolásoknak körülbelül 1%-a tanul tovább kémiai jellegű szakokon és körülbelül további 2%-a olyan szakokon, melyek igénylik a kémiai alapot. Semmi nem indokolja tehát, hogy a tanulók 3%-a miatt a tanulók gondolkodásától nagyon idegen, a kémia tudományának logikája alapján rendezett sorrendben tanítsuk a kémiai ismereteket. Erre a logikára jellemző, hogy az anyag felépítéséből és szerkezetéből vezeti le az anyag tulajdonságait, reakcióit, és végül – sokszor csak megjegyzésként – megemlíti az anyagok alkalmazását, mindennapi életünkben betöltött szerepét. A kémia tudományának logikáján alapuló rendszerezés hasznos és célravezető azok számára, akiknek már kellő mennyiségű és mélységű kémiai ismereteik vannak. Ezért (is) találkozunk ez a típusú tananyag-feldolgozás a kémiatanárok jelentős részének tetszésével. Pedig sokkal élet közelebb – és a tanulók gondolkodásához közelebb áll – a fordított feldolgozási sorrend, azaz egy jól megválasztott, a tanulókat is érdeklő gyakorlati probléma tárgyalása során jutunk el az anyag fizikai és kémiai tulajdonságainak, szerkezetének, felépítésének bemutatásához (9.

ábra). Nagyon fontos, hogy a kiinduló probléma a tanulók számára releváns gyakorlati-alkalmazási probléma legyen. Nem szerencsés például az ipari folyamatok bevezető tárgyalása, hiszen azok általában nagyon távol állnak a tanulóktól, és így nem sok esély van arra, hogy felkeltik a tanulók érdeklődését. Ugyanakkor azt is látnunk kell, hogy a tudomány logikája szerinti építkezés egyértelmű, előre jól megtervezhető. Ezzel szemben a tanulókat jobban érdeklő, alkalmazásközpontú feldolgozás – a tanulócsoporthoz tartozó összetételétől, felkészültségétől, motiváltságától, érdeklődésétől, hétköznapi tapasztalataitól függően – korántsem egységes, nehezen tervezhető és sikere nagymértékben függ a tanár felkészültségétől, rugalmasságától.



9. ábra

Irányváltás – Reid (2000) szerint

Reid (2000) szerint a következő fontosabb alkalmazásterületek kínálkoznak a kémia ilyen módon való bemutatására:

- Hogyan befolyásolja a kémia a társadalmat? (gyógyszerek, szennyezőanyagok, élelmiszerek előállítás, kémiai áramforrások)
- A kémia és mindennapi életünk (kozmetikumok, festékek, ételek, italok, színezékek, ízesítők, adalékanyagok, tisztítószer, szépségápolószer).
- A kémia szerepe a jólétünk megteremtésében (a zenetechnológia, a félvezetők előállítás, vegyszerek a boltokban, biogazdálkodás, újrahasznosítás).
- A kémia és az ipari termelés (közlekedés és üzemanyagok, fémek és műanyagok, az élelmiszeripar és a kozmetikai ipar vegyszerei, a vegyszerek és a víz).
 - A kémiához köthető nagyobb problémák (visszaélés a vegyszerekkel, biológiai lebonthatóság, szennyezés, vegyszerek tesztelése, fogyasztói érdekek).

2. A kémiaoktatás eszközei, eljárásai és módszerei a kutatási eredmények tükrében

2.1. A kémia tanterv

Egy korszerű, a tanulók gondolkodását és érdeklődését szem előtt tartó, kutatási eredményeken alapuló kémia tanterv kidolgozásának alapjait foglalja össze Mbajiorgu és Reid (2006) tanulmányukban. Bevezetőjükben hangsúlyozzák, hogy a tanulmány nem véleményekre és gyakorlati tapasztalatokra épül, hanem tudományos igényű empirikus vizsgálatokra.

Véleményük szerint a kémia tantervnek a következőknek kell megfelelni, a következőkre kell tekintettel lenni:

- A tanterv mindenkinek szóljon, ne csak azoknak a tanulóknak, akik vegyészek, vagy természettudósok akarnak lenni.
- Kötődjön az élethez. Legyen nagyon erősen alkalmazás központú.
- Tárja fel a kémia társadalmunkban betöltött szerepét.
- Ne tartalmazzon sok ismeretet és fogalmat. Maradjon idő az elmélyült feldolgozásra, az esetleges tévképzetek megbeszélésére.
- Legyen tekintettel az információfeldolgozás memóriakapacitására. Ne vezesse be túl korán a részecske- és szimbólumszintű fogalmakat. Kerülje a sok új információt tartalmazó témákat.
- Figyeljen a megfelelő nyelvhasználatra és a kommunikációra.
- Legyen célja a fogalmi megértés, és ne az információk megtanítása.
- Kínáljon valódi problémamegoldást. Az algoritmikus problémák helyett több nyílt végű feladatot használjon, és részesítse előnyben az életszerű kémiai problémák csoportmunkában történő feldolgozását.
- Használja megfelelően a laboratóriumi gyakorlatokat. A kísérletezésnek legyen világos célja, és elsősorban a fogalmi megértést fejlessze, ne a manuális készségeket.
- Írjon elő megfelelő ellenőrzést. Az ellenőrzés során elsősorban a megértést és nem a visszamondást, a gondolkodást és nem a memorizálást kell mérni.

Ezek után, először áttekintik a kutatási eredmények tanulságait. Ennek keretében tárgyalják a kémia természetét (az 1.3.1. fejezetben tárgyalt

háromszintű értelmezést), a kémia nyelvét és szerkezetét, az alternatív elméleteket (tévképzeteket), a problémamegoldást, a laboratóriumi gyakorlatot, az értékelés problémáját, az attitűdöket, a tananyag tárgyalásának megközelítési módját, valamint a tanítási elméleteket.

Megfogalmazásuk szerint bármely iskolai kémia tanterv célja nem csak a kémia tanítása, hanem a kémián keresztül történő tanítás és nevelés. A kémia tantervben három problémakörnek kell kidomborodnia: (1) Milyen kérdésekkel foglalkozik a kémia? (2) Hogyan válaszolja meg a kémia ezeket a kérdéseket? (3) Hogyan viszonyul a kémia az életünkhöz?

A tanulmány második felében a szerzők nem csak a hivatkozott kutatók bibliográfiai adatait adják meg, hanem azok rövid tartalmi összefoglalóját is.

2.2. A tananyag feldolgozása

Amint azt egy korábbi fejezetben (1.3.5.) jeleztük, a kémiatanulás egyik nehézségét az jelenti, hogy a tananyag feldolgozása általában a tudományos rendszerezést képezi le, ami nagyon logikus azok számára, akik kellően jártasak a kémiában vagy kifejezetten érdeklődnek a kémia tudománya iránt. Riasztó és emészhetetlen viszont a tanulók nagy többsége számára. Ezt felismerve javasolta Reid (2000) az ún. alkalmazásközpontú tananyag-feldolgozást. (Megjegyezzük, hogy az alkalmazásközpontú tananyag-feldolgozás lényegében megfelel a kontextusalapú – „context based” – feldolgozásnak, melynek kritikai elemzését Onno (2006) tanulmányában olvashatjuk.)

Az alkalmazásközpontú (vagy kontextusalapú) tanítás lényege, hogy a tananyagot minden órán egy vagy több érdekes, aktuális probléma köré szervezzük. Nagyon fontos, hogy a felvetett problémák a tanulók számára relevánsak legyenek és – lehetőleg – keltsék fel az érdeklődésüket.

Az alkalmazásközpontú tanítás egyik klasszikus példája *Faraday karácsonyi előadása a gyertyáról* (Faraday, é.n.). A gyertya – mint a karácsony egyik fontos szimbóluma – égése ürügyén, abból kiindulva, Faraday hallgatóságának bemutatja korának legfontosabb természettudományos eredményeit. A problémaközpontúság egy-egy szűkebb kémiai témakör tanításában-tanulásában való alkalmazhatóságára találunk példákat mind a hazai (Molnár, 2010; Tóth, 2010), mind a nemzetközi (Eilks, 2002) szakirodalomban is.

Az alkalmazásközpontú tananyagfeldolgozásra példa a *szén-monoxid-mérgeзésekhez* köthető következő anyag (Tóth, 2010): Őszi-téli időszakban, fűtési szezonban – sajnos – gyakran hallunk szén-monoxid-mérgeзéssel kapcsolatos hírekről. Ennek kapcsán nagyon sok – elsősorban kémiai – ismerettel gyarapíthatjuk diákjaink tudását.

Problémafelvetés:

- Mi az oka a gyakori szén-monoxid-mérgeзésnek?
- Hogyan védekezhünk a szén-monoxid-mérgeзés ellen?

A problémakörhöz tartozó feldolgozható kérdések:

- Mi a szén-monoxid?
- Milyen élettani hatása van a szén-monoxidnak?
 - Mi a ppm?
 - Mi a teendő szén-monoxid-mérgeзés esetén?
- Hogyan lehet a szén-monoxidot kimutatni?
 - Biológiai módszerrel: Mitől függ egy anyag mérgeзő hatása?
 - Kémiai módszerrel: Mi az ezüsttükör-próba?
 - Fizikai módszerrel: Milyen anyagok a félvezetők?
 - Elektrokémiai módszerrel: Milyen berendezések a tüzelőanyag-elemek?
- Hogyan ellenőrizhetjük a szén-monoxid-érzékelőt?
 - Hogyan állíthatunk elő tiszta szén-monoxidot?
 - Hogyan lehet kiszámolni az adott CO-koncentrációhoz szükséges CO mennyiségét?

Az alkalmazásközpontú tananyagszerveзés a magyar oktatási rendszerben is megjelent. Az OFI által az általános és középiskolák (gimnáziumok, szakközépiskolák) számára készült kerettantervek – bár kétség kívül számos, a tantervi műfajjal nehezen összeilleszthető részletet tartalmaznak – ilyen koncepció mentén készültek. A szakközépiskolai tantervhez és a gimnáziumi „A” tantervhez ilyen szellemű tankönyvek is készültek már (Tóth és Ludányi, 2012; Tóth, 2014; Ludányi, Ludányi, Szabó és Tóth, 2015a, 2015b).

Bár a szakközépiskolás tankönyvnek (Tóth és Ludányi, 2013) – mind a tanárok, mind a tanulók részéről – pozitív a fogadtatása, azért azt tudnunk kell, hogy az alkalmazásközpontú tananyag-feldolgozásnak van egy nagy hátránya: Nem alakul ki egy koherens kémiai ismeretrendszer a tanulóknál, hanem többnyire elszigetelt, az adott alkalmazáshoz kötődő „tudás-

szigetekkel” fognak rendelkezni. Ennek a problémának az orvoslása csak úgy lehetséges, ha a tanév végén kellő mennyiségű összefoglaló-rendszerző órát tartunk. Ilyen megoldásra láthatunk példát egy korábbi szerves kémiai tankönyvben (Tóth és Ludányi, 2012).

A következőkben néhány olyan problémát mutatunk be, melyek alkalmasak lehetnek egy-egy témakör, kémiai fogalom bevezetésére, tárgyalására. A példákat korábbi tankönyveinkből (Tóth és Ludányi, 2012; Tóth, 2014; Ludányi, Ludányi, Szabó és Tóth, 2015a, 2015b) vettük:

Miért más az illata, ha ugyanaz a képlete? Gondoltad volna, hogy a citrom és a narancs illatanyagának molekulaképlete azonos, csak a két molekula alakja különbözik? Orrunkkal érezzük ezt a különbséget. A kutatók kiderítették, hogy a molekulák alakjának fontos szerepe van az anyagok íz- és szagérzetének kialakításában. Az édes ízért például egy olyan molekularészlet térbeli elrendeződése (alakja) felelős, amely megtalálható mind a kristálycukorban, mind a nátrium-ciklamátban (mesterséges édesítőszer). A citrom és a narancs illatanyagának molekulaképlete azonos. A két molekula alakja mindössze annyiban különbözik, hogy egyik a másiknak tükörképe. És ezt a különbséget szaglószerünk érzékeli! (Témakörök: molekulák alakja; optikai izoméria.)

Hogyan melegít a mikrohullámú sütő? Elgondolkodtál már azon, hogyan melegít a mikrohullámú sütő? A mikrohullám nem a szokásos módon melegíti fel a testeket, mint ahogy azt a napfény vagy a kályha hőszugárzása teszi. A mikrohullám nem a szokásos módon melegíti fel a testeket, mint ahogy azt a napfény vagy a kályha hőszugárzása teszi. Működése a dipólusmolekulák egy sajátosságán alapul. Ezeket a molekulákat, ha elektromos térbe helyezük, akkor azok úgy rendeződnek el, hogy a molekula pozitív vége a negatívra töltött fémlemez, míg a molekula negatív vége a pozitívra töltött fémlemez irányába fordul. Ha másodpercenként többször is felcseréljük a lemezek polaritását, a megváltozó elektromos tér elfordulásra készíti a dipólusmolekulákat. Ez az állandó oda- és visszaforgás a szorosan egymás mellett lévő molekulák között súrlódással jár, és az ezzel járó hő az, ami melegíti a mikróba tett ételeket. Mivel a víz is dipólusmolekulákból áll, ezért azok az anyagok melegednek jobban, amelyek több vizet tartalmaznak. Mit gondolsz, miért nehéz mikrohullámú sütőben megmelegíteni a fagyasztóból kivett ételeket? (Témakörök: molekulák polaritása; víz)

Hogyan határozzák meg a beton víztartalmát? A kalcium-karbidból víz hatására acetilén (etin) gáz képződik. A kalcium-karbid (CaC_2) annyira érzékeny nedvességre, hogy a beton víztartalmának meghatározására is lehet használni. Mért mennyiségű betont elporítva összekevernek kalcium-karbiddal, és megméri a fejlődő gáz térfogatát. Abból következtetnek a beton víztartalmára. Ez azért is fontos, mert a nedves betonra nem lehet burkolólapokat rakni, mivel a gőzképződés miatt idővel felpuffadna. Írd fel a kalcium-karbid és a víz között végbemenő reakció kémiai egyenletét! (Témakörök: kalciumvegyületek; etin)

Mi található a légzsákban? A korszerű gépjárművek elengedhetetlen biztonsági felszerelése a légzsák. Megfelelően nagy energiájú ütközés esetén a légzsák „kirobban”, és párnaként felfogja a tehetetlenség miatt előre csapódó fejet. Ütközéskor a légzsákban egy nagyon gyors kémiai reakció eredményeként nitrogéngáz képződik. A jó légzsák milliszekundumok alatt felfújódik, és az előrebukó fejjel ütközve gyorsan csökken benne a nyomás. Így fékezi le az ütközéskor bekövetkező előre csapódást. Amennyiben a belső nyomás nem csökkenne folyamatosan, a légzsák olyan kemény lenne, mint a kő, és inkább veszélyes lenne, mint hasznos. A légzsák négy fő részből áll: egy poliamid-zsákból, elektromos érzékelőből, egy mikroprocesszorból és egy gázfejlesztőből. A gázfejlesztőben nátrium-azid (NaN_3), kálium-nitrát (KNO_3) és szilícium-dioxid (SiO_2) keveréke található. Ütközéskor, elektromos impulzus hatására a nátrium-azid elbomlik, majd a keletkező nátrium a kálium-nitrátot redukálva további nitrogént fejleszt. Írd fel a nátrium-azid bomlásának kémiai egyenletét! - A kémiai egyenlet ismeretében keress magyarázatot arra, mi okozza, hogy a felrobbanó légzsákok esetében gyakorta tapasztalnak égési sérüléseket! A nátrium és a kálium-nitrát reakciójában a nitrogéngáz mellett kálium-oxid és nátrium-oxid is keletkezik. Írd fel a reakció kémiai egyenletét! (Témakörök: nitrogén és vegyületei)

Nitrogénnel töltött gumibroncsok? A gépkocsik gumibroncsait többnyire levegővel szokták tölteni. A gumikereskedők honlapjain egyre gyakrabban találkozunk a nitrogénnel töltött gumibroncsokkal. A versenymotorok és versenyautók gumijait régóta nitrogénnel töltik. Ennek több oka van. Egyrészt, a levegőben mindig jelen lévő vízgőz korróziót okoz és a hőmérséklet változásától függően változtatja a guminyomást. Másrészt, ha az abroncs kigyullad, a kerekekben lévő nitrogén gátolja az

égést, ezért használják töltőgázként a repülőgépek kerékabroncsaiban is. Harmadrészt, a levegőben lévő oxigén – különösen a gumiabroncs felmelegedésekor – reakcióba lép a gumi alkotóival és így a gumit károsítja. Ráadásul az oxigénmolekulák könnyebben, gyorsabban diffundálnak ki a kerékből a gumin keresztül, mint a nitrogénmolekulák, így a guminyomás megváltozik, lecsökken. Hogyan lehetséges ez, hiszen az oxigénmolekulák tömege nagyobb, mint a nitrogénmolekulák tömege? (Témakörök: levegő; nitrogén; molekulák és atomok mérete)

Torokfájás ellen forró, mézes tea? Kevesen tudják, hogy a megfázásos tünetek enyhítésére ajánlott mézes tea egyik hatóanyaga a hidrogén-peroxid. A hidrogén-peroxid a mézben végbemenő szőlőcukor-oxidáció egyik terméke. A folyamat a glükózoxidáz nevű enzim hatására megy végbe. Az enzim 37 °C-on a leghatékonyabb. Ha pl. 80 ml különböző hőmérsékletű vízbe teszünk 1-1 teáskanálnyit (kb. 10 g mézet), akkor 10 perc múlva a következő H₂O₂-koncentrációkat mérhetjük: 20 °C-on 0,5 mg/liter, 40 °C-on 3 mg/liter, 60 °C-on 2 mg/liter, 80 °C-on 0 mg/liter. Készíts grafikont a hidrogén-peroxid-tartalom hőmérséklettől való függésének szemléltetésére! Állapítsd meg, hogyan célszerű készíteni a torokfájás enyhítésére alkalmas mézes teát! (Témakörök: hidrogén-peroxid; enzimek)

Ételmelegítő töltetek. Ételmelegítő tölteteket használtak már a II. világháborúban is. A hadszíntéren ugyanis nem mindig tanácsos tüzet gyújtani. Ezekben vagy valamilyen fém gyors korróziója, vagy alkohol égése vagy egy alkalmas anyag vízzel való reakciója szolgáltatja a melegítéshez szükséges hőt. A polgári életben 1995-ben jelentek meg az első félkész ételek, melyekben a főzéshez szükséges hőt beépített melegítő töltet biztosítja kb. 15 percen keresztül. Elsősorban a sokat úton lévők (pl. kamionosok, vadászok, kirándulók) számára hasznosak az ilyen ételek. A ma is kapható legismertebb ilyen „önmelegítő” ételben a melegítő töltet égetett meszet (CaO-ot) tartalmaz. A főzéshez kevés vízre van szükség, melyet a CaO-töltetre kell önteni. (Témakörök: kalciumvegyületek; exoterm reakciók)

Mi a kék csecsemő betegség? Az ivóvíz okozta megbetegedések között első helyen áll a nitrátos víz hatására bekövetkező kék csecsemő betegség. A kútvízzel bejutó nitrát (NO₃⁻) a baktériumok hatására nitritté (NO₂⁻) alakul a csecsemő gyomrában és patkóbelében (a vékonybélnek közvetlenül a gyomor után következő szakasza), és felszívódik a vérbe. A vérben a

vörösvérsejtekkel kölcsönhatásba lépve gátolja az oxigénszállítást. Annak, hogy miért elsősorban a 0-6 hónapos csecsemőket fenyegeti ez a betegség, három oka van: A nitrit csak a felső bélszakaszból képes felszívódni. Felnőtt korban a felső bélszakasz már nem tartalmaz nitrát átalakítására képes baktériumokat, míg ezek a csecsemők gyomrában és a bél felső szakaszában könnyen megtelepednek. A csecsemők vörösvérsejtjeiben található vérfesték (hemoglobin) egy része a felnőttekéthől eltérő szerkezetű, a nitritre érzékenyebb, mint a „normál” vérfesték. Végül bizonyított, hogy a csecsemők veséje még nem képes a nitrátionok gyors kiválasztására. Milyen típusú kémiai reakció a nitrátionok nitritionokká történő átalakulása? (Témakörök: víz; vízszennyezés; nitrogénvegyületek)

A zöldségek mint nitrát-akkumulátorok. Kevesen tudják, hogy egyes zöldségekben – szabadföldi, normál körülmények között történő termesztés esetén is – rengeteg nitrát halmozódhat fel. Nagyon magas (>2500 mg/kg) a cékla, a retek, a saláta, a spenót és a zeller nitráttartalma. Sok (1000 – 2500 mg/kg) nitrátot tartalmaz például a karalábé, a petrezselyem, a póréhagyma és a zellergumó. Alacsony (<500 mg/kg) nitráttartalmú zöldségek: a brokkoli, a répa, a tök, az uborka, a bab, a borsó, a görögdinnye, a hagyma, a padlizsán, a paprika és a paradicsom. Főzésnél a nitráttartalom 70-75%-a kioldódik, ezért célszerű az első, 1-2 perces főzolevet kiönteni. Számítsd ki, hogy mekkora tömegű retek elfogyasztása jelenthet veszélyt egy 60 kg testtömegű ember számára! A megengedett nitrátbevitel: 3,7 mg/testtömeg-kg. A retek nitráttartalmát vegyük 2500 mg/kg-nak! (Témakörök: nitrátok)

Mik azok a biológiailag lebomló műanyagok? A műanyagok idővel elbomlanak részben az oxigén, részben különböző mikroorganizmusok hatására. Az első műanyagokkal ez volt a legnagyobb probléma. Azután különböző adalékanyagokkal – ún. stabilizátorokkal – elérték, hogy a műanyagok tartósak legyenek. Ez tette lehetővé a műanyagok széles körű elterjedését. Most viszont az lett a probléma, hogy szemétként nagyon sok ilyen tartós műanyag kerül a környezetünkbe, és némelyik akár ezer év alatt sem bomlik el. Ennek a problémának a megoldására alkották meg a vegyészek a biológiailag lebomló műanyagokat. A biológiailag lebomló műanyagoknak két nagy csoportja van. Az első csoportba azok tartoznak, amelyekhez megfelelő adalékokat adnak, és így akár néhány hónap alatt elporladnak, lebomlanak. Ilyen anyagból készülnek a komposztálható

műanyagzacskók is. Ezek egyáltalán nem nevezhetők környezetbarátnak. Egyrészt lebomlásuk csak akkor gyors, ha levegővel és napfényel érintkeznek. Ezért a személtlerakóba beasott műanyagzacskók nem bomlanak le olyan gyorsan, mint ahogy azt reklámozzák. Másrészt a lebomlás elősegítésére hozzáadott adalékok többnyire olyan fémvegyületek, amelyek környezetbe kerülése szintén környezetkárosodást okozhat. Az ilyen néven kapható zacskók általában keményítőből és polietilénből készülnek. Hamar elporladnak, viszont a polietilénpor továbbra is csak évszázadok alatt bomlik el. A második csoportba tartozó műanyagokat természetes anyagok átalakításával nyerik. Ezeket különböző gombák és baktériumok is képesek lebontani. Ilyen anyagból készülnek az ún. felszívódó műanyagvarratok, amelyek a seb varrása után bizonyos idővel lebomlanak az emberi vagy állati szervezetben. A biológiailag lebomló műanyagok nem alkalmasak élelmiszerek csomagolására és tartós fogyasztási cikkek készítésére. (Témakörök: műanyagok; környezetvédelem)

Miért gyűjtik egyes benzinkutaknál a használt sűtőolajat? Az első dízelmotorok növényi olajokkal működtek, csak később, az alacsony olajár miatt tértek át a kőolajalapú dízelolajra. Manapság az olajárak emelkedése és az egyre súlyosbodó környezetszennyezés miatt, ismét igyekeznek a növényi eredetű olajokat felhasználni dízelolajként. Az ilyen célra alkalmas növényi olajokat nevezzük biodízelnak. Ma már Európai Unió előírás, hogy a kőolajalapú dízelolajhoz növényi eredetű biodízelt is kell keverni. A sűtőolaj – a kőolajjal ellentétben – nem szénhidrogének keveréke, hanem oxigéntartalmú szerves vegyületekből, ún. zsírsavészterekből áll. A környezetbe kerülve azt szennyezi. Szervezett begyűjtésével nem csak a környezetszennyezés csökkenthető, hanem megfelelő tisztítás után biodízelnaként lehet a dízelolajhoz keverni. (Témakörök: kőolaj; gliceridek)

Mit tartalmaznak az „érintőképernyős” kesztyűk? Az egyik típusú (ún. kapacitív) érintőképernyő esetében egy kemény üveg- vagy műanyag lap alatt egy rácsos szerkezetű vezető réteget helyeznek el, aminek segítségével a kijelző „felett” egy elektromos mezőt alakítanak ki. Amikor ujjunkat közelítjük a panelhez, zavart okozunk ebben az elektromos mezőben (töltést vezetünk el a kezünkkel), amelyet a vezérlőchip érzékel, s ez alapján határozza meg a pozíciót. Az elektromos töltést érzékelő réteg általában indium-trioxid és ón-dioxid elegye. Innen a rövidítése: ITO (Indium Tin Oxide). Az érintőképernyős okostelefonok és táblagépek elter-

jedése felvet egy apró kényelmi problémát. Télen igen kellemetlen fedetlen ujjakkal kezelni ezeket a berendezéseket. Kesztyűben viszont nem megy... Hacsak nem az „érintőképernyős” kesztyűt húzzuk ujjainkra. Ez ugyanis vagy teljes tömegében, vagy csak bizonyos ujjak begyén ezüstszálakat is tartalmaz a hagyományos pamutszálak mellett. Az ezüst nagyon jól vezeti az elektromosságot, ezért a készülék úgy érzékeli, mintha csupasz ujjunkkal érnénk hozzá. (Témakörök: elektromos vezetők; ezüst)

Mik azok az omega-3 zsírsavak? Az omega-3 zsírsavak olyan nagy szénatomszámú, telítetlen karbonsavak, amelyekben – a legutolsó szénatomtól számolva a szénatomok közötti kötéseket –, a 3. kötés egy kétszeres kovalens kötés. Az omega-3 zsírsavak szív- és érrendszerre gyakorolt jótékony hatását az 1920-as években ismerték fel a grönlandi eszkimók vizsgálatakor. Az eszkimók nagyon sok, tengeri állatokból származó zsiradékot fogyasztanak, ennek ellenére gyakorlatilag ismeretlen körülményben a szív- és érrendszeri megbetegedés. Azt is észrevették azonban, hogy az átlagosnál gyakrabban fordul elő körülményben a vérzékenység. (Témakörök: zsírsavak; zsírok és olajok)

Hogyan keletkeznek a transz-zsírsavak a margarinyártás során? A margarinyártás fő folyamata a zsírkeményítés. Zsírkeményítés során a telítetlen zsírsavak kettős kötéseinek egy részét – megfelelő katalizátor jelenlétében – hidrogénnel telítik. Ezzel az ún. addíciós reakcióval párhuzamosan azonban végbemegy egy izomerátalakulás is, melynek során a C=C kötés mentén eredetileg *cisz*-formájú molekula átalakul *transz*-formájúvá. Így keletkeznek a transz-zsírsavak. Ez az ún. izomerátalakulás azért következik be, mert – a hosszú szénláncok közelsége miatt – a *cisz*-forma kevésbé stabilis, mint a *transz*-forma. Miért kell hidrogéneztetni a telítetlen zsírsavakat? A telítetlen zsírsavakat tartalmazó trigliceridek olvadáspontja alacsonyabb, mint a telítetteké. A hidrogéneztetés (margarinyártás) során az olaj megkeményedik. Így könnyebben kenhetővé, kezelhetővé (szállíthatóvá, tárolhatóvá) válik. (Témakörök: zsírsavak; zsírok és olajok; *cisz*-*transz* izoméria; hidrogéneztetés)

Mik azok a szabadgyökök? A gyökök olyan kémiai részecskék (atomok, ionok, molekulák), amelyeknek van egy vagy több párosítatlan elektronja. Emiatt nagy a reakciókészségük is. A szervezetünkben állandóan képződnek szabadgyökök. A három legjelentősebb a hidroxilgyök

(OH⁻), a nitrogén-monoxidgyök (NO[•]) és a szuperoxidgyök (O₂^{-•}). A hidroxilgyök károsítja a lipideket, a fehérjéket és a DNS-t is. A másik két gyök – kis koncentrációban – hasznos. A NO[•] például szabályozza a vérnyomást, segíti az agyműködést. A fehérvérsejtek segítségével pusztítják el a szervezetünkbe került idegen organizmusokat. (Témakörök: gyökök)

Mit kell tenni metanolmérgezés esetén? A metanol (metil-alkohol) azért mérgező, mert a szervezetbe kerülve enzimek hatására először formaldehiddé (HCHO), majd hangyasavvá (HCOOH) oxidálódik. Mindkét vegyület mérgező hatású. Jó tudni, hogy a metanollal mérgezett emberrel gyorsan etanolt kell itatni, majd a mérgezettet kórházba szállítani. A szervezetben ugyanis a két alkoholt ugyanaz az enzimrendszer bontja le, így a formaldehid és a hangyasav képződése lelassul, káros hatása mérséklődik. Az etanol lebontása során képződő acetaldehid (CH₃CHO) és ecetsav (CH₃COOH) jóval kevésbé mérgező, mint a formaldehid és a hangyasav. (Témakörök: metanol; etanol; formaldehid; acetaldehid; hangyasav; ecetsav)

Miből készülnek a golyóálló mellények? Az acélból készült golyóálló ruházat nehéz és kényelmetlen volt. A modern golyóálló mellények mesterséges rostanyagokból, esetleg kerámialapokból állnak. Az első ilyen, kifejezetten golyóálló mellények céljára kifejlesztett anyagot, a kevlart a DuPont cég állította elő 1965-ben. A kevlar egy olyan szintetikus rostanyag, amely erős, könnyű, tűzálló, szilárdsága ötszöröse az ugyanolyan tömegű acélénak. A kevlár egy poliamid, egy polikondenzációs műanyag. (Témakörök: műanyagok; polikondenzációs műanyagok)

Mitől „bio” a bioszószer? A bioszószeresek – a többi szintetikus mosószerhez hasonlóan – számos adalékanyagot (vízlágyítót, fehérítőszeret) tartalmaznak. A bioszószeresek fehérjebontó enzimet (proteázt) és keményítőbontó enzimet (amilázt) is tartalmaznak. A szintetikus mosószeresek ugyanis csak az apoláris szennyezések (zsírok, olajok, lipidek) eltávolítására alkalmasak. A bioszószeresek használatánál különösen fontos a megfelelően hosszú áztatás, valamint a nem túl magas hőmérséklet. Az enzimek működéséhez ugyanis a 40 °C az optimális. (Témakörök: mosószeresek; enzimek)

Miért ezüstedényben tárolták az ivóvizet a föníciaiak? Már az ókorban ismert volt, hogy az ezüstedényben tárolt italok kevésbé voltak fertőzőek, mint azok, amelyeket agyagedényben tároltak. A múlt század elején ezüstpénzt tettek a tejes edényekbe, hogy a tej eltarthatóságát meghosz-

szabbitsák. Az I. világháborúban ezüstvegyületeket használtak a fertőzések megelőzésére. Az ezüstionoknak ugyanis baktériumölő és gombaölő hatása van. A 19. század közepén az antibiotikumok elterjedésével használata visszaszorult. (Témakörök: ezüst; víz)

A kémia mindennapi szerepével kapcsolatos attitűd kialakításának rágyogó módszere „*A héten történt...*” (lásd pl. Tóth és Ludányi, 2013; Tóth, 2014; Ludányi, Ludányi, Szabó és Tóth, 2015a, 2015b) beiktatása minden, vagy minden második kémiaórába. Ennek az a lényege, hogy az órán kb. 10 percet szánunk arra, hogy – a tanulók szintjén – megbeszéljük bizonyos, a médiában szereplő hírek (pl. újabb tragédia szén-monoxid-mérgezés miatt; többen rosszul lettek az uszodában a klórgáztól; kiosztották az idei kémiai Nobel-díjat; mi legyen a paksi atomerőművel? stb.) kémiai vonatkozásait, kémiai hátterét. A megbeszélés eredményét célszerű néhány mondatban, a füzetben is rögzíteni. Hívjuk fel a tanulók figyelmét, hogy gyűjtsék az ilyen jellegű híreket, sőt nézzenek utána az interneten, és számoljanak be bűvárkodásuk eredményéről. Ezzel tehetjük igazán életszerűvé a kémiát, és tudatosíthatjuk tanulóinkban azt, hogy a kémia lépten-nyomon jelen van mindennapjaikban, átszövi egész életüket.

2.3. A tankönyv

Hagyományos értelemben a tankönyv szakmailag hiteles tananyag didaktikai szempontokat is figyelembe vevő feldolgozása. A tananyagfeldolgozás alapvetően követi a tudományos rendszer logikáját. A legújabb kutatások szerint a fogalmi megértés szempontjából sokkal hatékonyabbak – és a tanulók számára érdekesebbek – azok a tankönyvek, amelyek nagy hangsúlyt fektetnek a tanulók metafogalmi tudásának kialakítására. A metafogalmi tudás a metakogníciónak a saját fogalmi rendszerünkre vonatkozó része (lásd pl. Csíkos, 2007; Revákné, 2011). Ezt a célt szolgálják a tantárgy fogalmi megértést nehezítő körülményeinek tudatosítása, illetve az ún. fogalmi megértést elősegítő tankönyvi szövegek, amelyekben akár explicit módon megjelennek a közismert tévképzetek (Tóth és Ludányi, 2011, 2012; Tóth, Ludányi és Somogyiné, 2013, 2014). A fogalmi váltást elősegítő, a metafogalmi ismereteket is tartalmazó, azokat hangsúlyozottan tárgyaló tankönyvi szövegek sikerességét és kedvező tanulói fogadtatását tudományos igényű pedagógiai kísérletek igazolják (lásd pl. Chinn és Brewer, 1993; Hynd és Guzzetti, 1998; Chambliss, 2002).

Ilyen megoldásokra láthatunk néhány példát a következőkben (Tóth és Ludányi, 2010, 2011):

„A részecskemodell alapján tehát az anyag tulajdonságait a felépítő kémiai részecskék tulajdonságai határozzák meg. Ez akkor azt jelenti, hogy a rézatomok vörösek, mert a réz is vörös, a szénatomok feketék, mert a szén is fekete?” „Azt olvastam, hogy az atom szó oszthatatlant jelent. Mégis az előbb arról beszéltünk, hogy az atom – a többi kémiai részecskéhez hasonlóan – elemi részecskékből épül fel. Nincs itt ellentmondás?”

„Jól értettem, a béta-sugárzásban lévő elektronok nem az elektronfelhőből, hanem az atommagból származnak? Ez hogyan lehet, hiszen az atommagban csak protonok és neutronok vannak?”

„A HCl-ban nem ionos a kötés? De hiszen a sósavban hidrogénionok és kloridionok vannak, ezért vezet az elektromos áramot!”

„Úgy gondolom, hogy a víz forrásakor képződő buborékokban levegő van. Bár az is lehet, hogy hidrogén és oxigén, hiszen a vizet hidrogéngázra és oxigéngázra lehet bontani.”

„Valamit nem értek! A szén, a fa vagy a földgáz égése exoterm folyamat, ezért használhatjuk főzésre, fűtésre. De ahhoz, hogy ezek az anyagok égjenek, meg kell gyújtani őket, ez pedig energiaközlés. Akkor az égés exoterm vagy endoterm folyamat?”

„A tömegmegmaradás törvénye klassz dolog! Ha ismerem a reakcióba lépő anyagok tömegét, akkor egyszerű összeadással meg tudom mondani a keletkezett termék tömegét. Például 10 g hidrogén és 10 g oxigén reakciójakor 20 g víz keletkezik.”

„Szerintem a szén stabilis módosulata a gyémánt. Hiszen azt tanultuk, hogy ez a legkeményebb ásvány, ami a természetben előfordul.”

„Nyolcadikban azt tanultuk, hogy a víz nem vezet az elektromos áramot. A hajszárító használati utasításában az áll, hogy vizes kézzel tilos elektromos berendezésekhez nyúlni. Kinek higgyek, a kémiatanáromnak vagy a gyártó cégnek?”

„A pirimidin erősebb bázis, mint a piridin, mert a pirimidinmolekulában két nitrogénatom van, a piridinmolekulában pedig csak egy.”

Ilyen szövegeket elemeztethetünk a tanulókkal is. Találják meg, hogy mi a hiba a szövegekben, és próbálják meg azt kijavítani.

Egy probléma azonban felvethető: szabad-e – bármilyen formában – egy tankönyvben nem helytálló ismereteknek, megállapításoknak szere-

pelni, hiszen a tankönyvet felületesen olvasó tanuló hivatkozhat arra, hogy a tankönyvben is ez áll. Ez a veszély valóban fennáll. Csökkentése úgy lehetséges, ha valamilyen jól észlelhető formában jelezzük, hogy ez nem a helytálló ismeret, illetve megállapítás.

A tankönyvek írásánál maximálisan tekintettel kell(ene) lenni a kognitív terhelés csökkentésére (lásd: 1.1.3. fejezetben írottakat). Ne legyenek hosszú, többszörösen összetett, sok információt tartalmazó mondatok. Ne legyenek hosszú, több bekezdésen át tartó összefüggő szövegek, inkább jól tagolt, kisebb szövegdobozok. Az ábrák, képek esetében az értelmező szöveg lehetőleg magán az ábrán szerepeljen, és ne az ábraalírásban.

2.4. A tanítási módszer

A 20. század második felétől az addig uralkodó két pedagógiai irányzat a behaviorizmus és a kognitívizmus mellett egyre nagyobb teret hódít egy harmadik paradigma, a konstruktivizmus, és újabban a konnektivizmus (Kulcsár, é.n.). Az egyes pedagógiai szemléletek elsősorban a tanulás, a tudás és a memória szerepét illetően különböznek egymástól (Siemens, 2008).

Az első három paradigma alapján Nahalka István a fizika tanításával kapcsolatban négy modellt (Nahalka, 2002a) állított fel, melyeket szinte változtatás nélkül átvihetünk a kémia tanítására is. Ennek megfelelően a kémia tanítása jelenleg a következő négy tanítási modellel írható le:

- 1) A „szavak és könyvek” pedagógiájára épülő módszer („kréta-tábla” kémia);
- 2) A szemléltetés pedagógiájára épülő módszer (induktív-empirikus módszer);
- 3) A cselekvés pedagógiájára épülő módszer (kutatómódszer vagy felfedeztetéses tanítás és tanulás);
- 4) A konstruktivista pedagógiára épülő módszer.

Ezek közül az első hármat összefoglaló néven *hagyományos* tanítási módszereknek is nevezhetjük. Röviden tekintsük át először a hagyományos tanítási módszerek legfontosabb jellemzőit és hiányosságait!

2.4.1. A kémia tanításának hagyományos módszerei

A *hagyományos* tanítási módszerek mindegyikének kiindulópontja, hogy a tanuló „üres fejjel” érkezik a tanórára, és azt a tanár különböző közvetítőrendszerek (pl. magyarázat, szemléltetés, munkáltatás) segítsé-

gével tudással tölti fel. Bár a hagyományos tanítási módszerek alkalmazása igen hosszú múltra tekint vissza, a tanárok tanítási kultúrájában még ma is meghatározó (Falus, 2006). A tanárok többsége tanítási gyakorlatában feltehetőleg mind a három módszert alkalmazza a tanítandó tananyag jellegétől és a tanulók hozzáállásától, felkészültségétől függően.

*A „szavak és könyvek” pedagógiájára épülő módszer
(„kréta-tábla” kémia)*

A „szavak és könyvek” pedagógiájára épülő módszer szerint a kémia tanulása során a tanulók a tanártól vagy a könyvekből, esetleg modern eszközök (videó, számítógép) közvetítésével kapnak ismereteket, ezeket befogadják, és a későbbiekben képesek lesznek ezeket az ismereteket visszaadni. A tanulás tehát ismeretek átadása és átvétele. Fontos eleme ennek a módszernek, hogy a tanuló nem kerül közvetlen kapcsolatba azokkal az anyagokkal és jelenségekkel, amelyekről éppen tanul, hanem ezeknek mások (a tanár, a tankönyvíró) általi interpretációival találkozik. Az ezen módszer által közvetített tanulási folyamatban a legfontosabb eszköz a tankönyv. A tanítás során központi szerepet kap a tanár, mégpedig a szaktudományát kiválóan ismerő (esetleg aktívan művelő) „tudós” tanár. A szakmódszertan legfontosabb kérdései, hogy miképpen lehet a tanári magyarázatokat tökéletesíteni, hogyan kell értékelni a tanulók „leckefelmondásait”, hogyan kell megfelelően magyarázó, szemléltető, tanulható tankönyveket készíteni. Ez a tanítási módszer a kémia tudományát jól elrendezett ismeretek táráként mutatja be, amely mára már ellentmondásmentes képet ad a világról, és a kémia fejlődését is sorba rendezhető, egymást logikusan követő események soraként találja a tanulók számára.

*A szemléltetés pedagógiájára épülő módszer
(induktív-empirikus módszer)*

A Comenius nevével fémjelzett szemléltetés pedagógiája szerint a tanuló kell, hogy lássa, hallja, tapintsa, ízlelje, szagolja a világ jelenségeit, mert így jöhet létre tudatában a valóság hű tükörképe. Ezekből az érzékeltekből kiindulva a tanuló és a tanár közösen vonják le a következtetéseket, majd absztrakció és általánosítás útján alkotnak fogalmakat. (A valóságban azonban legtöbbször a tanár magyarázza el a látottakat, vonja le az induktív következtetést.) Ebben a pedagógiában kiemelt szerepe van a szemléltetésnek, a demonstrációs kísérletnek, a modelleknek, makettek-

nek. Ideálja a kísérleti eszközeit, modelljeit, szertárát állandóan fejlesztő, tanítványait ördögös kísérleteivel elkápráztató tanár. Bár az induktív módszernek számos problémája van (lásd később), mégis az induktív-empirikus tanítási módszer még ma is a természettudományos szakemberek által leginkább kedvelt és elismert metodika.

*A cselekvés pedagógiájára épülő módszer
(kutatómódszer vagy felfedezettetéses tanítás és tanulás)*

A cselekvés pedagógiájára épülő módszer – ismertebb nevén felfedezettetéses tanulás, vagy kutatómódszer – a gyermek „felszabadítását” célzó reformpedagógia eredményeként jött létre. A tanuló tevékenységére épülő ismeretszerzésben döntő szerepe van a kísérletezésnek, a megfigyelésnek, a mérésnek. A tanuló a saját maga által végzett tevékenységek, kísérletek eredményéből vonja le a következtetéseket. A megismerésről és a tanulásról alkotott kép tehát továbbra is empirikus alapokon és induktív logikán nyugszik. Ebben a pedagógiában legfontosabb taneszköz a tanulókísérlet. Ennek hatására lendül fel a taneszközök, tanulókísérleti csomagok gyártása, forgalmazása. A módszertannak is központi kérdése, hogyan lehet a tanulókísérleteket megszervezni, egy-egy témakört a kutatómódszerrel feldolgozni. A tanárnak alapvetően előkészítő-segítő-irányító szerepe van. Ez a tanítási módszer a tanulót mintegy „kis tudósnek” tekinti, aki birtokában van mindazon ismereteknek és képességeknek, amelyeket a tanár által irányított „felfedezések” végrehajtása és értelmezése kíván.

A hagyományos tanítási módszerek közös jellemzői

Valószínű, hogy a legtöbb kémiát tanító tanár módszertani kultúrájában mindhárom idézett pedagógia elemei fellelhetők. Annak, hogy ez a három, egymástól látszólag nagyon különböző módszer minden további nélkül megfér egymás mellett a mindennapi tanítási gyakorlatban, sőt kiegészíti egymást, az lehet az oka, hogy alapfilozófiájukat tekintve nagyon sok közös elem van bennük. Nézzük, mik ezek a közös „gyökerek”!

- Az egyik a tudásról alkotott felfogás. Mindhárom pedagógia vallja, hogy a tudás csak akkor lehet igaz, ha megfelel a tudomány álláspontjának. Ez a tudás valahol az objektív valóságban van, és különböző közvetítések által beáramoltatható a tanuló agyába.
- Mindhárom pedagógiában a megismerés logikája alapvetően induktív.

- A harmadik fontos közös elem, hogy a megismerés folyamatában nincs különösebb jelentősége az előzetes ismeretnek (mármint a tanuló már meglévő tényleges, saját tudásának, és nem pedig a tantervi követelményekben rögzített előzetes ismereteknek).

Az induktív módszer kritikája

Nahalka (2002b) és Radnóti (2000, 2002, 2014) tanulmányaikban számos tudománytörténeti példával igazolják, hogy a tudomány fejlődését nem elsősorban a tapasztalat, hanem az elméleti megfontolások irányítják. A kísérlet lényegében a természet kérdezése. Bármilyen kérdés felvetése szükségképpen feltételez egy elméletet. Ezt nagyon fontos figyelembe venni az iskolai oktatás során is. A készen kapott kísérletek (a szemléltetés pedagógiája) vagy kísérleti eszközök és leíratok (a cselekvés pedagógiája) számos esetben állítják megoldhatatlan feladat elé a tanulókat. A tanulás induktív módszerének erőltetése és a deduktív jelleg kizárása eredményezi azt, hogy a tanári demonstrációs kísérleteknek és a tanuló-kísérleteknek nagyon alacsony a pedagógiai hozadéka. Számos esetben ezek a kudarcok eredményezik azt, hogy a tanárok egy része előbb-utóbb felhagy a kísérletezéssel.

2.4.2. A konstruktivista pedagógia

Számos tekintetben az előzőektől eltérő elveken alapszik a 20. század utolsó harmadában született konstruktivista pedagógia (Nahalka, 1998a, 1998b, 1998c, 2002a, 2002b; Tóth, 2004a).

A konstruktivista pedagógia alapjai

A konstruktivizmus szerint a tudás keletkezése nem objektív folyamat, hanem konstrukció eredménye. Az emberi elme nem passzív befogadója az új tudásnak, hanem azt magában megkonstruálja. A konstruktivizmus szerint a tudásnak nem beszélhetünk igaz vagy hamis voltáról, csak kisebb vagy nagyobb mértékű adaptivitásáról. A tudásnak be kell bizonyítania saját életrevalóságát, alkalmasnak kell bizonyulnia a jelenségek magyarázatára, előrejelzésére és a cselekvés irányítására. A tapasztalat nem a külső világ objektív lenyomata, tükörképe, hanem a megismerő által aktívan manipulált, a belső értelmező rendszer által értelmessé gyúrt rendszer. A tanulás, a tudás kialakítása szempontjából döntő jelentőségű a már meglévő világkép, a már bennünk kialakult belső értelmező rendszer, a

megelőző tudás. Mivel az új ismeretet ez a belső értelmező rendszer konstruálja meg, ezért a megismerés logikája alapvetően mindig deduktív, az előzetes ismeretek által irányított.

A konstruktivista pedagógia tanulási modellje

Ahogy azt az 1.2. fejezetben már bemutattuk, a konstruktivista tanuláselmélet szerint a tanulás kimenetele és fajtája szempontjából döntő annak a kérdésnek a vizsgálata, hogy az új ismeret és a már meglévő kognitív értelmező rendszer között van-e ellentmondás (2. ábra).

A konstruktivista pedagógia tételei

A konstruktivista pedagógia legfontosabb „tételei” a következők:

A gyermekek meglévő tudására építés elve. Előzetes tudás szinte minden témában létezik, és döntő meghatározója a tanulási folyamatnak. Ezeket a konstrukciókat gyakran az egymástól nehezen elkülöníthető „gyermektudomány”, illetve „tévképzetek és alternatív keretek” megnevezéssel illetik. A sikeres tanítás feltétele ezek ismerete.

A fogalmi váltások fontossága. A fogalmi váltásokat rendkívül nehéz elérni. Szükséges, hogy a tanuló lássa, eddigi elképzelései bizonyos fontos esetekben csődöt mondanak. Ugyanakkor ismernie kell az új elképzelést, az alternatív magyarázatot. Érzékelnie kell, hogy az egy nagy hatású, sok mindenre alkalmas, logikus gondolkodásmód.

A pedagógus szerepének megváltozása. A pedagógus irányító helyett szakértő egy olyan pedagógiai közösségben, amelynek egyenrangú tagjai a tanulók is. A döntések meghozatala, a tevékenység irányítása és az értékelés is a közösség egészének feladata.

A gyermeki öntevékenység fontossága. A tanuló minden szempontból aktív részese kell, hogy legyen az ismeretszerzésnek.

A valós kontextusba ágyazás fontossága. A tudás megszerzése, tárolása és felhasználása is szituatív, azaz kontextus függő. A tanult összefüggések változatos környezetben, változatos kontextusban való alkalmazásával segíthetjük elő a szakértővé válást. Másrészt az életközeli, gyermek közeli tanulási kontextusok létrehozásával rögzíthetjük a létrehozott új tudást az előzetes tudáshoz.

Konstruktivista szemléletű tanulásszervezési formák

A konstruktivista szemléletű oktatás módszereinek kiválasztását, alkalmazását és értékelését a következő elvek figyelembevételével tehetjük meg (Wagner, 2002):

- (1) A gyermek környezetéből, a gyakorlatból való kiindulás elve. Ennek az ún. kontextuselvnek minden olyan feladat és probléma eleget tesz, amely kapcsolódik a tanulók közvetlen környezetéhez.
- (2) A problémafelismerés és a problémamegoldás fontossága.
- (3) A döntés fontosságának elve.
- (3) A konfliktuskezelés és -megoldás.
- (4) A kockázat értékelése és vállalása.
- (5) A tévedések felismerése és kezelésük.
- (6) A gyermeki elképzelések megfogalmazása. A metafogalmi tudatosság kialakítása.

A konstruktivista pedagógiában a módszer kiválasztásának alapvető szempontja az, hogy minél eredményesebben segítse a diákok egyéni tudás-konstrukcióját. A legfontosabb tanulásszervezési módszerek a következők (Wagner, 2002):

Frontális munkaformák, módszerek. Alkalmazásának alapfeltétele, hogy a tanulók előzetes ismeretei közel azonos szintűek legyenek. Az egyén tudáskonstrukciója szempontjából kevésbé hatékony módszer, bár vannak olyan technikái, amelyek alkalmasak lehetnek például a tanulók előismereteinek feltérképezésére (ötletroham, fűrtábra, asszociációs fogalmi térkép).

Páros munka. Igazi páros munkát igénylő esetben közel azonos felkészültségű párokat célszerű szervezni. Párosmunka az is, amikor egy jobb felkészültségű tanuló mellé egy kevésbé felkészült párt rendelünk. Ilyen esetben a páros munka elsődleges célja a kevésbé felkészült tanuló segítése.

Csoportmunka, kooperatív tanulás. A konstruktivista pedagógia szempontjából talán legfontosabb tanulásszervezési mód. A jól szervezett csoportmunka során nem csak a csoport tagjainak együttműködő készsége fejlődik, hanem ez a munkaforma eredményes lehet az egyes tanulók tévképzeteinek korrekciója szempontjából is. Leggyakoribb formái: egyszerű csoportmunka azonos feladattal; egyszerű csoportmunka különböző feladattal (projekt); kombinált csoportmunka különböző feladattal (mozaik).

Egyéni munkaformák. Jelentőségük elsősorban a tanuló tudásának, gondolkodásának felmérésében és a differenciált (egyéni szabott) fejlesztésben van. Modern változata a számítógéppel segített tanulás.

Megjegyezzük, hogy még olyan elismert kutatónak, mint Norman Reid (2012) is komoly aggályai vannak a konstruktivista tanítási módszer hatékonyságát illetően. Minden, a tanulók önállóságán alapuló módszer hatékonyságát kérdőjelezi meg meglehetősen provokatív stílusú tanulmányában Kirschner (Kirschner, Sweller és Clark, 2006).

2.5. Tanulásszervezési eljárások

A tanulásszervezési eljárások kiválasztása során legfőbb szempont, hogy az minél jobban segítse a tanulók tudáskonstrukcióját. A következőkben az utóbbi évtizedek két legfontosabb tanulásszervezési eljárását, a kooperatív technikát és a projektmódszert tekintjük át.

2.5.1. Frontális módszerek

A hagyományos frontális módszerek (előadás, magyarázat, kérdve-ki-fejtő módszer) mellett egyre nagyobb hangsúlyt kapnak azok a módszerek, amelyek az egyes tanulók aktív közreműködését igénylik (Wágner, 2002). Ilyenek: az ötletroham, a fűrtábra készítése, asszociációs fogalmi térkép készítése, kritikai olvasás (interaktív jegyzetelés), irányított jegyzetelés (kibővített előadás), adatgyűjtés, táblázatkitöltés, szavazás, kilépőkártya használata (Arányiné, 2004).

2.5.2. A kooperatív tanítás-tanulás

A kooperatív tanítás-tanulás olyan tanulásszervezési eljárás, melynek során a tanulók kis csoportokban dolgoznak valamilyen cél – pl. egy kémiai feladat, probléma megoldása – elérése érdekében. A kooperatív technikáknak óriási irodalma van. Most csak a magyar nyelven is elérhetőek közül említünk meg néhányat (Kagan, 2001; Óhidy, 2005; Zágon és Nagy, é.n.; Knausz, é.n.; Horváthné, 2004; Benda, 2002a, 2002b).

Bár a kooperatív technikák alkalmazásának a kémia oktatásában igen nagy az irodalma, csak nagyon kevés megbízható, tudományos igényű empirikus vizsgálatról tudunk a módszer hatékonyságának megítélése szempontjából.

Formáját tekintve lehet: (1) egyszerű csoportmunka azonos feladattal; (2) egyszerű csoportmunka különböző feladattal; (3) kombinált csoportmunka különböző feladattal (MOZAIK).

Az egyik legismertebb változat az ún. MOZAIK megvalósítására találunk példát Arányiné (2004) könyvében. Nyolcadik osztályban vizsgálták a szénhidrátok oldódását hideg és meleg vízben a következőképpen:

- 4 db 4 fős báziscsoportot hoztak létre (A: A1, A2, A3, A4; B: B1, B2, B3, B4; C: C1, C2, C3, C4; D: D1, D2, D3, D4)
- A szakértők csoportosan elvégzik a kijelölt kísérleteket:
 1. csoport: (A1, B1, C1, D1): szőlőcukor oldása
 2. csoport: (A2, B2, C2, D2): keményítő oldása
 3. csoport: (A3, B3, C3, D3): cellulóz oldása
 4. csoport: (A4, B4, C4, D4): répacukor oldása
- A szakértők beszámolnak a báziscsoportjuk tagjainak.
- Frontális megbeszélés, a tapasztalatok írásbeli rögzítése.

Kovácsné (2004a) a szén és vegyületei témakört tanította általános iskola nyolcadik osztályában MOZAIK módszerrel. Öt báziscsoportot hozott létre 5-5 fővel. A szakértői csoportok a következő öt feladat egyikét dolgozták fel: (1) A szén és módosulatai. (2) Természetes és mesterséges szenek. (3) Szén-monoxid és szén-dioxid. (4) A szénsav és vegyületei. (5) A szén szerves vegyületei. A tanulók a feladatok kidolgozásához tankönyveket és más, a könyvtárban fellelhető szakkönyveket használhattak. A témakör feldolgozása 7 órát vett igénybe. Az időbeosztás a következő volt:

1. óra: csoportszervezés, feladatmegbeszélés
Házi feladat: adatgyűjtés
2. óra: a szakértői csoportok tanácskozása
- 3–5. óra: a szakértők tanítják a báziscsoport tagjait, közös vázlat készítése, beadása
6. óra: tankönyvi kérdések és feladatok megoldása csoportmunkában

Téli szünet: a tanár átnézi a közös vázlatokat, azokat kijavítja, kiegészíti.

7. óra: a csoportmunkák értékelése, a kijavított vázlatok kiosztása, megbeszélése; kilépőkártya.

Tapasztalatok: a tanulók többségének tetszett ez a típusú tananyagfeldolgozás, de a legjobb tanulóknak nem. Ugyanakkor megjegyezték,

hogyan a tanári magyarázatot hatékonyabbnak tartják a tananyag megértése szempontjából. Problémát jelentett, hogy a tanulók nehezen szelektáltak a sok ismeret között. A szerző javaslata: a témakört szűkíteni kell, és még jobban pontosítani a feladatot.

A kooperatív technikával kapcsolatos tudományos igényű, kontrollcsoportos vizsgálatok többsége pozitív eredményről számolt be.

Doymus (2008) a kémiai egyensúlyt tanította MOZAIK („jigsaw”) módszerrel elsőéves egyetemistáknak. A vizsgálathoz kontrollcsoportos, utómérési kísérleti elrendezést használt. Az utóteszt szerint a kísérleti csoport minden feldolgozott témakörben szignifikánsan jobb eredményt ért el, mint a kontrollcsoport. Egy másik vizsgálatában Doymus (2007) az egykomponensű rendszerek fázisdiagramjának tanítása során vizsgálta a MOZAIK módszer hatékonyságát kontrollcsoportos elő- és utómérési kísérleti elrendezésben. A kísérleti csoport ebben az esetben is szignifikánsan jobb teljesítményt ért el, mint a kontrollcsoport. Ugyancsak a kísérleti csoport szignifikánsan jobb eredményét mérte Acar és Tarhan (2008) a fémek kötési energiájával kapcsolatos témakör feldolgozásakor kilencedik évfolyamon.

A kooperatív technikák kémiai alkalmazásáról olvashatunk bővebben Bohdaneczky (2015a) tanulmányában.

A csoportos feladatmegoldás eredményessége függ a csoport létszámától is. Dóra (2015) tanulmányában bemutatja, hogy az optimális csoportlétszámot a feladat jellege határozza meg. Az ún. additív feladatok esetén a csoport teljesítménye lényegében az egyes tagok teljesítményéből adódik össze. Ilyen esetben az optimális csoportlétszám az 5 (esetleg a 4). Az ún. diszjunktív feladatok esetében a csoport legjobban teljesítő tagja határozza meg a csoport teljesítményét. Ilyen feladatok esetén az optimális létszám 3 (esetleg 2 vagy 4).

2.5.3. A projektmódszer

A manapság annyira divatos projektmódszer elméleti és gyakorlati tudnivalóiról olvashatunk részletes elemzéseket egy magyar nyelvű tanulmánykötetben (Revák, 2011). A következőkben néhány hazai vizsgálat eredményét ismertetjük.

Kovácsné (2004b) a zsírok, szénhidrátok, fehérjék témakört dolgozta fel 10. évfolyamon projektmódszerrel. A tanulókból 6 db ötfős csoportot hozott létre. A feladatot órán kívüli munkában oldották meg a tanulók.

Két alkalommal tartottak részidős beszámolót tanórán. A végső beszámolót poszteren és számítógépes prezentációval mutatták be. A tapasztalatok hasonlóak voltak a MOZAIK módszerrel kapcsolatos kísérletéhez (Kovácsné, 2004a). A jobb tanulók nem rajongtak a projektmódszerért, és a tanulók többsége a felkészülés szempontjából hatékonyabbnak tartotta a tanári magyarázatot.

Németh és Gebei (2007) a nitrogén és vegyületei témakört dolgozta fel projektmódszerrel 8. osztályban. Osztályonként 5 csoportot képeztek és összesen 5 órát fordítottak a témakörre: 3 óra az új anyag feldolgozása, 1 óra gyakorlás és 1 óra ellenőrzés. A csoportok a következő részterületeket dolgozták ki: (1) Elemi nitrogén. (2) Ammónia. (3) Nitrogén-oxidok. (4) Salétromsav. (5) Szmogok. A munkához a tanárok feladatlapokat, szakkönyveket, tankönyveket, videofilmeket, fotókat, modelleket, kísérleti eszközöket és internetelérést is biztosítottak. Hasonló módon dolgozták fel a foszfor és vegyületei témakört 8. osztályban. Ebben az esetben a résztémák a következők voltak: (1) Foszfor. (2) Foszforsav. (3) A legismertebb nitrogén- és foszfortartalmú sók. (4) A nitrogén és a foszfor körforgása a természetben. (5) Műtrágyák.

Tapasztalataik a következőkben foglalhatók össze (Németh és Gebei, 2007):

- A projektmódszer 4-5 altémára bontható témakörök esetén alkalmazható.
- Előkészítése idő- és anyagigényes.
- Időigénye lényegesen nagyobb, mint a frontális módszeréé, ezért egy tanévben 1-2 ilyen lehet csak megvalósítani.
- Irányítása magabiztos tárgyi tudást igényel a tanártól.
- Több tanórán átívelő projekt esetén problémát okoznak a hiányzó tanulók.
- Egy idő után unalmasnak találják a tanulók.
- Sokirányú kompetenciafejlesztést tesz lehetővé.
- Aktív tanulói részvételt biztosít.
- Lehetőséget ad differenciált foglalkoztatásra.

Gabnai és Németh (2007) a kőolaj és földgáz témakört dolgozta fel 10. osztályban projektmódszerrel. Az osztályban 5 csoportot képeztek, csoportonként 6-6 tanulóval. A kidolgozandó részterületek a következők voltak:

- (1) A kőolaj keletkezése, előfordulása, hazai lelőhelyei.
- (2) A kőolaj tulajdonságai és története.
- (3) A kőolaj kitermelése és feldolgozása.
- (4) A kőolaj feldolgozásának termékei: üzemanyagok és vegyipari alapanyagok.
- (5) A kőolajjal kapcsolatos környezetvédelmi problémák, alternatív megoldások.

A témakör feldolgozására összesen 7 tanórát szántak. A projekt végén tanulói visszajelzéseket gyűjtöttek. Kiemelkedően jó volt a saját témakör megértése (93%), a tanulói előadások megértése is 67%-os volt. Tanári segítséget a tanulók fele igényelt. A módszer pozitívumai között említették még a tanulók, hogy csökkent az otthoni munka mennyisége (63%). Legnagyobb problémát az osztálytársak előtt való szereplés jelentette a tanulóknak. A tananyagon kívüli hatással kapcsolatban a munkaszervezést és a lényegkiemelést említette a legtöbb tanuló.

A projekt módszer kémiai alkalmazásáról olvashatunk még Bohdaneckyné (2015b) tanulmányában is.

2.6. A szemléltetés

2.6.1. A kémiai kísérlet

A kémiai kísérletek legfontosabb célját Lazarowitz és Tamir (1994) a következőképpen fogalmazta meg:

1. A természettudományos fogalmak megértésének elősegítése, és a tanulók szembesítése meglévő fogalmaikkal.
2. Olyan kognitív képességek fejlesztése, mint a problémamegoldás, a kritikus gondolkodás és a döntéshozatal.
3. A gyakorlati képességek, köztük a kez ügyesség fejlesztése.
4. A tudományos kutatás természetének, a tudományos módszerek sokszínűségének bemutatása.
5. A tudományos kutatás olyan alapvető fogalmainak kialakítása, mint például a probléma megfogalmazása és a hipotézisalkotás.
6. Olyan tudományos viselkedésformák fejlesztése, mint például az objektivitás és a kíváncsiság.
7. A természettudományok iránti érdeklődés felkeltése.

Ezek a célok azonban csak rendkívül átgondolt laboratóriumi munkával, kísérletezéssel valósíthatók meg. Ma már tisztán látjuk, hogy a kísér-

letezés során nagyon sok tanítási és tanulási nehézséggel kell megküzdeni. Az egyik legjelentősebb forrása a tanítási problémáknak az, hogy a kísérletek többsége úgynevezett verifikáló kísérlet, tehát valami olyat mutatunk be vagy tanulmányozunk, amit már ismerünk, amivel korábban már foglalkoztunk (Tobin, 1987). A tanulási nehézségek jellemző példájáról számol be Novak és Gowin (1984). Megfigyelték, hogy sok tanuló a laboratóriumot olyan helynek tekinti, ahol el kell végezni bizonyos feladatokat, amit általában receptkönyvszerűen előírnak, anélkül, hogy különöbben gondolkodni kellene azon, hogy mit miért teszünk, és mi következik az eredményekből. de Jong (1997) szerint ezeknek a tanítási és tanulási nehézségeknek a gyökere az, hogy a gyakorlati feladatok kidolgozásában még mindig a tudás átadásának szemlélete érvényesül, és nem a tudás kialakításának, fejlesztésének konstruktivista értelmezése. Hasonló következtetésre jutott Reid is (pl. Mbajjorgu és Reid, 2006). Szerinte az iskolai kísérletezés hatékonysága azért olyan alacsony, mert a kísérletek gyakran elszakadnak az elmélettől, és többnyire szakácskönyvszerűen írják elő, hogy mit is kell csinálni a tanulónak. Osborne (2015) egyenesen a gyakorlati munka félreértelmezéséről és hibás használatáról beszél. Véleménye szerint a tudomány alapvetően elméletekből épül fel, és a kísérleteknek az a legfontosabb szerepe, hogy alátámasszák vagy cáfolják ezeket az elméleteket.

Johnstone és Reid (pl. Johnstone, Sleet és Vianna, 1994; Johnstone, Watt és Zaman, 1998; Sirhan, Gray, Johnstone és Reid, 2000; Sirhan és Reid, 2001; Reid, 2008) tudományos igényű empirikus, kontrollcsoportos kísérletekkel igazolták, hogy a laboratóriumi gyakorlatok hatékonysága szignifikánsan és jelentősen növelhető a gyakorlatot előkészítő megbeszéléssel. (Megjegyezzük, hogy az ún. „pre-learning” pozitív hatását elméleti oktatás esetén is kimutatták – lásd pl. Reid, 2008.)

Domin (1999, idézi Mbajjorgu és Reid, 2006) négy laboratóriumi stílust különböztet meg a kísérlet várható eredménye, a következtetés logikája és a végrehajtás mikéntje, a kísérlet leírása alapján (7. táblázat). Mind a négy stílusnak van létjogosultsága. A stílusnak és az elérendő didaktikai célnak összhangban kell lenni egymással.

Stílus	Jellemzők		
	Várható eredmény	Logika	A kísérlet leírása
Ismertető-leíró	Ismert	Deduktív	Adott
Vizsgáló	Nem ismert	Induktív	A tanulók által javasolt
Felfedeztető	Ismert	Induktív	Adott
Problémaalapú	Ismert	Deduktív	A tanulók által javasolt

7. táblázat:

A kémiai laboratóriumi gyakorlatok négy stílusa (Domin, 1999)

A konstruktivista értelmezés szerint a tanulás egy dinamikus folyamat, amelyben a tanuló aktívan alakítja tudását az új ismeretek és a már meglévő tudásának az összevetésével. Ebből a szempontból a kémiai kísérletek alapvető fontosságúak, amennyiben lehetővé teszik egyrészt új ismeretek, tapasztalatok szerzését, másrészt a már meglévő ismeretek adaptivitásának ellenőrzését. Erre csak a jól megválasztott és megfelelő módon végrehajtott kémiai kísérlet alkalmas (de Jong, 1997).

A magyar nyelvű általános és középiskolai tankönyvek elemzése (Tóth és Bodnár, 2004) szerint az induktív és a verifikáló kísérletek túlsúlya a jellemző a magyar kémiaoktatásra. Elvéve találunk példát problémafelvető kísérletekre. Két példa újabb kémia tankönyvekből (Tóth és Ludányi, 2013):

Mennyi egy vízcsepp térfogata és tömege? Tervezz kísérletet annak meghatározására, hogy mekkora lehet egy vízcsepp térfogata! Hogyan kell kiegészíteni a kísérletet, hogy egy vízcsepp tömegét is meghatározhasd? Végezd el a kísérleteket! Határozd meg egy vízcsepp térfogatát és tömegét! A kapott adatok alapján számold ki a vízcsepp sűrűségét, és hasonlítsd össze a várható $1,0 \text{ g/cm}^3$ értékkel!

Pezsgőtabletta kémiai oldódása. A pezsgőtabletta oldódása vízben nem csak fizikai oldódás, hanem kémiai reakció is. Ilyenkor a pezsgőtablettában lévő egyik szilárd anyag (citromsav vagy borkősav) reakcióba lép a tablettában lévő másik anyagával (kalcium-karbonáttal vagy nátrium-hidrogén-karbonáttal). A reakció során szén-dioxid képződik. (1) Vizsgáld meg, hogyan befolyásolja a pezsgőtabletta kémiai oldódásának sebességét (a) a

hőmérséklet változása, (b) a szilárd anyag és a víz érintkezési felületének növelése, és (c) a keverés! (2) Tervezd meg a kísérletet, hajtsd végre, tapasztalataidat jegyezd fel és értelmezd a tanultak alapján! (3) Írd fel a kémiai oldódás lényegét leíró ionegyenletet!

2.6.1.1. A tanórai kísérletezés új irányzatai

A tanórai kísérletezés új irányzatait – röviden – a következők jellemzik (Sarka és Tóth, 2015):

1. A laboratóriumi eszközök és vegyszerek helyett egyre inkább hétköznapi eszközök és vegyszerek kerülnek előtérbe. Ezzel is hozzájárulhatunk a kémia életszerűbbé tételéhez.
2. A viszonylag nagy anyag- és költségigényű demonstrációs kísérletek helyét egyre inkább átveszik a könnyen megvalósítható, költség- és környezetkímélő – többnyire tanuló-kísérletként (is) használható – kémiai kísérletek.
3. A jelenleg még uralkodó induktív és verifikáló kísérletek mellett egyre több problémajellegű kísérlet szerepel, melyek során a tanulók már a hipotézisalkotás és a gyakorlati kivitelezés megtervezésének fázisában is aktív szerepet játszhatnak. (Különösen kiemelt szerepe van ezeknek a problémafelvető kísérleteknek a kutatásalapú – IBL – tanulás folyamatában.)

Műanyagfecskendő gázkísérletek (Sarka és Tóth, 2015)

A Viktor Obendrauf által kidolgozott technikát egyre többen használják gázok (hidrogén, oxigén, klór, acetilén, nitrogén-oxidok, ammónia, széndioxid, szén-monoxid, hidrogén-klorid stb.) előállítására. Az Obendrauf-féle gázfejlesztőkészülék felépítése a 10. ábrán látható.

**10. ábra:**

Az Obendrauf-féle gázfejlesztő készülék (Sarka és Tóth, 2015)

A készülék egy normál kémcsőből, egy gumidugóból, az azon átszűrt két injekciós tűből és az azokhoz csatlakoztató, kis méretű (2-5 cm³-es) és nagy méretű (20-50 cm³-es) műanyagfecskendőből áll. Ebben a készülékben a gázokat két anyag – az egyik mindenképpen folyékony – reakciójával állíthatjuk elő. A szilárd (esetleg folyékony) reagens a kémcsőbe kerül, a másik – folyékony – reagenst pedig a kisméretű fecskendőből adagoljuk lassan, szinte cseppenként. A fejlődő gázt a nagyméretű fecskendőben gyűjtjük össze. Mivel kiinduláskor a kémcsőben levegő van, ezért az első adag (kb. 20 cm³-nyi) gázt vagy a levegőbe, vagy – mérgező, irritáló gáz esetén – megfelelő aktív szenes töltetbe engedjük. Csak a második adag fejlesztett gáz tekinthető olyan tisztaságúnak, hogy biztonsággal kísérletezhessünk vele (pl. a hidrogéngázt meggyűjthassuk). Mérgező, irritáló gázok esetén a készüléket ún. aktív szenes töltettel kell lezárni, illetve a nem tiszta, vagy felesleges gázt aktív szenes töltetbe kell vezetni. (Az aktív szenes töltetet úgy készíthetjük, hogy egy 5-10 cm³-es műanyagfecskendőből kivesszük a dugattyút. A fecskendőt darabos aktív szennel – pl. szétaprított orvosi széntablettával – töltjük meg. A fecskendő nagyobb átmérőjű végét egy injekciós tűvel átszűrt dugóval zárjuk le.)

A leggyakrabban használt gázok előállítását a 8. táblázat foglalja össze:

Előállítandó gáz	Reagens a kémcsőben	Reagens a fecskendőben
Hidrogén	Cink	Sósav
Oxigén	Mangán-dioxid (pasztilla!)	Hidrogén-peroxid-oldat
Szén-dioxid	Mészke	Sósav
Szén-monoxid	Tömény kénsav	Hangyasav
Kén-dioxid	Nátrium-szulfid	Kénsav
Klór	Kálium-permanganát	Sósav
Nitrózusgáz	Rézforgács	Tömény salétromsav
Hidrogén-klorid	Konyhasó	Tömény kénsav
Kén-hidrogén	Vas-szulfid	Sósav
Ammónia	Nátrium-hidroxid (szilárd!)	Ammóniaoldat (tömény!)
Acetilén	Kalcium-karbid	Víz
Propén	Difoszfor-pentaoxid	Propán-2-ol

8. táblázat:

Az Obendrauf-féle technikával előállítható gázok

A műanyagfecskendő technika elsősorban tanári demonstrációs kísérleteknél nyújt nagy segítséget. Kellő elővigyázatossággal, kis létszám esetén tanuló-kísérletként is használható. Az egyes gázok előállításának részletes leírása Sarka és Tóth (2015) tanulmányában olvasható.

Csempén megvalósítható kísérletek (Sarka és Tóth, 2015)

A csempés technika lényege, hogy a szokásos kémcsövek, főzőpoharak és lombikok helyett egy sík felületet (fehér csempét, fehér papírra fektetett üveglapot) használunk reakciótérnek. Ez lehetővé teszi kisebb anyagmennyiségek használatát, valamint az eszközök utólagos mosogatásának kiküszöbölését. Ez a technika különösen jól használható tanuló-kísérleti órákon. Kísérleti leírások találhatók Sarka és Tóth (2015) már említett tanulmányában, valamint néhány újabb kémia tankönyvben (pl. Tóth és Ludányi, 2013; Ludányi, Ludányi, Szabó és Tóth, 2015a).

Egyéb technikák (Sarka és Tóth, 2015)

Jól és egyszerűen használhatók a festőpalettán, valamint a szűrőpapíron végrehajtható kísérletek, valamint a szappanbuborékban, CD-n és érintőképernyős okostelefonnal végezhető kísérletek.

2.6.1.2. Az otthoni kísérletezés

A kémia életszerűségét növelhetjük azzal is, ha a kémiai kísérletek sem egy zárt, laboratóriumi világot jelenítenek meg, hanem a mindennapi életet, a tanulókat körülvevő valóságot. Ennek egyik kézenfekvő eszköze lehet az otthon elvégezhető tanuló-kísérlet. Vigyázzunk azonban, mert ezek tanulói fogadtatása nem egyértelműen pozitív (Németh, Ordasi, 2007). A kötelezően előírt otthoni kísérlet többnyire nem több mint egy házi feladat. Döntő fontosságú – itt is – a tanulók motiválása! Néhány ötlet, példa a tanulók által – akár otthon is – elvégezhető egyszerű kémiai kísérletekre (Tóth és Ludányi, 2013; Tóth, 2015a):

Hűtés párologtatással. Egy máztalan virágcserep alját dugd be egy dugóval! Helyezd a hűteni kívánt vízzel teli palackot a műanyag tálka közepére és borítsd rá a cserepet! Töltsd fel a műanyag tálkát vízzel! Helyezd a hűtőberendezést napsütötte helyre, egy másik palackot pedig árnyékba! Két-három óra múlva hasonlítsd össze a két palack hőmérsékletét! Mi az eltérés magyarázata? (Témakörök: párolgás; endoterm folyamatok)

Kísérletek pezsgőtablettával. Dobj egy pezsgőtablettát egy pohár vízbe! Figyeld meg a pezsgőtabletta helyzetét! Miért változik meg a pezsgőtabletta helyzete, amikor már nagy része feloldódott? Egy másik pezsgőtablettát hagyj néhány napig levegőn állni! Naponta figyeld meg a tablettán észlelhető esetleges változásokat! Vajon mi lehet a változás oka? Mi lehet a szerepe a pezsgőtablettás doboz kupakjában zörgő apró szemcsés szilárd anyagnak? (Témakörök: megfigyelés; kémiai reakció; szódabikarbóna; karbonsavak; szilíciumvegyületek)

Mennyire „szennyezett” vizet iszunk? Napjaink egyik nagy szélhámos-sága az, amit egyes víztisztítóval kereskedő ügynökök alkalmaznak. Az általunk fogyasztott vízbe (csapvízbe, ásványvízbe) áramot vezetnek és hamarosan csúnya, barna színű csapadék válik ki a vízből, „jelezve”, hogy mennyi mérgeanyagot, szennyezést tartalmaz a víz. Ez egy nagy átverés! Az áramot ugyanis vasrúd segítségével vezetik a vízbe. Ilyenkor az elektromos áram hatására kémiai reakció (elektrolízis) játszódik le.

Ennek során a vasrúdról vasionok kerülnek a vízbe és a másik árambevezetés körül képződő hidroxidionokkal előbb $\text{Fe}(\text{OH})_2$, majd $\text{Fe}(\text{OH})_3$ csapadékot képeznek. A csapadék tehát nem a vízben eredetileg oldott anyagból, hanem a vasrúdból képződik elektromos áram hatására. Ez a kísérlet tehát nem bizonyítja azt, hogy az ivóvíz szennyezett lenne! (Hasonló elven működnek a „méregtelenítő” lábfürdők is.) Próbáld ki te is! Csatlakoztass két vasszöveget egy 6-9 V-os zsebtelephez! Merítsd a két vasszöveget egy pohár vízbe! Néhány perc után a víz színe kezd megváltozni, előbb sárga, majd barna színű lesz, végül barna csapadék válik ki belőle. (Témakörök: áltudomány; elektrolízis; víz; vasvegyületek)

Anyagok elektromos vezetésének vizsgálata – okostelefonnal. Tegyél védőfóliát – folpack is megteszi – érintőképernyős mobiltelefonodra vagy táblagépedre. Érints a védőfóliához különböző szilárd anyagokat (fémadarabot, műanyagot, papírt, fapálcikát, üveget, grafitrudat, kockacukrot, sókristályt), és vizsgáld meg, hogy az érintőképernyő reagál-e az érintésre. Ha igen, akkor az anyag jól vezeti az elektromos áramot, ha nem, akkor rosszul vezet. Ismételd meg a kísérletet néhány folyadékkal (csapvízzel, sósvízzel, cukros vízzel) is! Ehhez szívd fel a folyadékot egy műanyaga szívószálba, majd fogd be ujjaddal a szívószál egyik végét, hogy a folyadék a szívószálban maradjon! A szívószál másik végét érints az érintőképernyőhöz, és mozgasd rajta! Figyeld meg a változást! Tapasztalataidat jegyezd fel! Milyen töltéshordozók találhatók azokban a szilárd anyagokban, amelyek vezetik az elektromos áramot? Milyen töltéshordozók találhatók azokban a folyadékokban, amelyek vezetik az elektromos áramot? (Témakörök: elektromos vezetés/ellenállás; elektronvezetők; ionvezetők)

2.6.2. Modellek használata

A kémia tudományában használatos elméleti modellek (például: savbázis elméletek, a redoxireakciók értelmezésének elméletei) mellett gyakran használunk elsősorban szemléltetésre anyagi modelleket (molekulamodelleket, szerkezeti modelleket, dinamikus modelleket). A modellek használatánál, kiválasztásánál mindig nagy gonddal kell eljárunk. Mérlegelnünk kell, hogy mennyiben segíti a modell a megértést, és milyen tévképzeteket alakíthat ki vagy erősíthet meg használata. Minden modell ugyanis – mivel a valóságnak csak egyszerűsített mása – tévképzetekhez vezethet (például az atomoknak színe van, a kémiai reakció során a kiin-

dulási anyagok és a termékek térben elválasztva találhatóak, stb.). A pusztán szemléltetésen kívül a modellek alkalmasak lehetnek a makroszintről a szimbólumszintre történő átmenet segítségével, valamint a tanulók térszemléletének fejlesztésében is.

A szerkezeti modellek, mint közvetítők a makroszint és a szimbólumszint között

Nagy probléma – ahogy erre Gabel (1999) utal cikkében –, hogy a „modern” kémiaoktatás a makroszintű tulajdonságokat és jelenségeket főként a legelvontabb szinten, a szimbólumok szintjén igyekszik tárgyalni és értelmezni. Barke (Barke, 1997; Barke, Hazari és Yitbarek, 2009) szerint a makroszintű tárgyalást a szubmikroszintű értelmezésnek kell követni, és csak ezután térhetünk át a szimbólumok szintjére. Szerinte a különböző szerkezeti modellek, mint közvetítők szerepelhetnek a makroszint és a szimbólumszint között (9. táblázat).

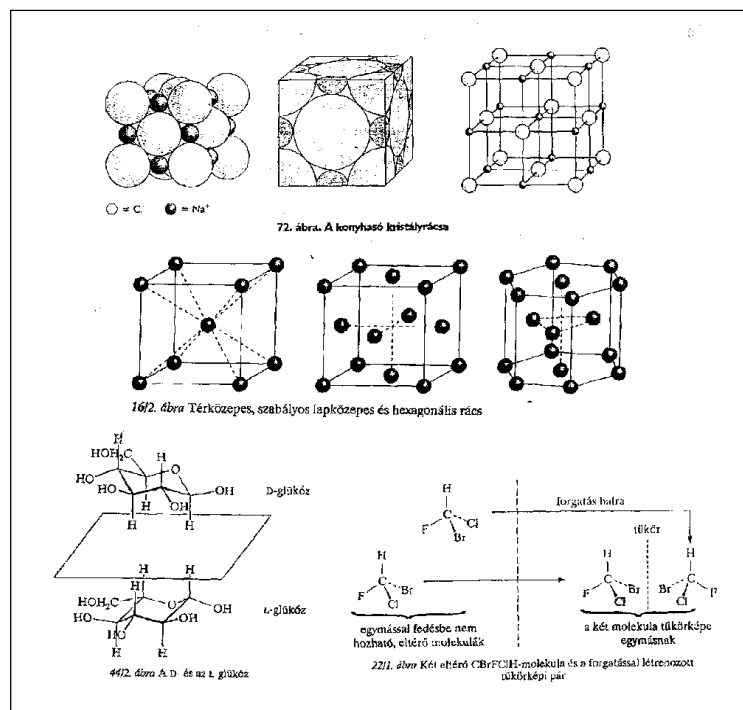
<i>MAKROSZINT</i>	<i>Az anyag és tulajdonságai</i>	<i>Az anyag átalakulásai</i>
↓	↓	↓
<i>SZUBMIKROSZINT</i> Szerkezeti modellek	Az anyag szerkezeti modellje, a szerkezet legkisebb egységei	Az anyag szerkezeti modellje az átalakulás előtt és után
↓	↓	↓
<i>SZIMBÓLUMSZINT</i> Kémiai szimbólumok	A legkisebb szerkezeti egység szimbóluma, a kémiai képlet	Szerkezeti képlettel, majd kémiai képlettel felírt reakcióegyenlet

9. táblázat:

A szerkezeti modellek, mint közvetítők a makroszint és a szimbólumszint között (Barke, 1997)

Modellek szerepe a tanulók térszemléletének fejlesztésében

A kémiában leggyakrabban használt szerkezeti modellek a kristályrács-modellek és a molekulamodellek (Mojzes, 1984). Ezek rajzaival és fényképeivel gyakran találkozhatunk a kémiatankönyvekben. (Egy ilyen összeállítás látható a 11. ábrán.)

**11. ábra:**

Néhány példa a kémia tankönyvekben található szerkezeti modellekre (Tóth, Kiss és Barke, 2003; Tóth, Kiss és Búzásné, 2004)

A közismereti kémia tanítása általában 12-16 éves kor között történik. A térbeli modellek és különösen síkbeli reprezentációjuk helyes értelmezése megfelelő szintű térszemléletet igényel a tanulóktól. Irodalmi adatok (Kárpáti, 2002, 2003; Séra, Kárpáti és Gulyás, 2002) bizonyítják, hogy ebben a korban még fejleszthető a tanulók térszemlélete. A kémia eredményes tanulásához szükséges térszemléletet, a térbeli alakzatok kétdimenziós reprezentációjának helyes értelmezését elsősorban gondosan megtervezett modellezési feladatokkal fejleszthetjük. Ezt támasztják alá

Kárpáti Andrea és munkatársai vizsgálatai is, akik azt találták, hogy „a leghatásosabb fejlesztő eljárások mindegyike valós térben végzett művelet: plasztika, modellezés, tárgyalakítás” (Kárpáti, 2003: 103. o.). Eredményt csak a következő lépésekből álló modellezési gyakorlatoktól remélhetünk:

1. modellépítés leírás alapján;
2. ábrarajzolás modell alapján;
3. modellépítés ábra alapján;
4. ábrarajzolás ábra alapján (Mojzes, 1984).

Ilyen jellegű és célzatú modellezési feladatok a magyar kémiaoktatásban ismertek (Soltész, 1988-2003). Ezek elsősorban szerves vegyületek (cukrok, ciklikus szénhidrogének) molekulamodelljeire épülnek. Bár a modellezési gyakorlatok során gyakran számoltak be a – többnyire egyetemista korosztályhoz tartozó – résztvevők eredményességének lényeges javulásáról (Kiss és Németh, 2002; Kiss és Soltész, 2000; Németh és Soltész, 2002; Németh, Kiss és Soltész, 2002; Soltész, 2003; Soltész és Kiss, 2000), megfelelő mérőeszköz híján ez nem bizonyítja a térszemlélet fejlődését. Így legfeljebb a hasonló típusú modellezési feladatok megoldásában való jártasság minősíthető.

A kémia eredményes tanulásához tehát megfelelően fejlett térszemlélet szükséges. Ennek szintjét, illetve a fejlesztési gyakorlatok eredményességét csak alkalmas mérőeszköz birtokában ellenőrizhetjük. A térszemlélet fogalmáról, összetevőiről és mérésének lehetőségeiről részletes magyar nyelvű tanulmányok (Kárpáti, 2002, 2003; Séra, Kárpáti és Gulyás, 2002) állnak rendelkezésünkre, ezért itt csak a számunkra legfontosabb ismereteket foglaljuk össze.

Térszemléleten vagy más néven téri képességen „két- és háromdimenziós alakzatok észlelésének és az észlelt információk, tárgyak és viszonylatok megértésének és problémák megoldására való felhasználásának képességét értjük” (Séra, Kárpáti és Gulyás, 2002:19). Az első térszemléletet mérő papír-ceruza tesztet 1915-ben publikálták, és azóta számos tesztet fejlesztettek ki a térszemlélet különböző komponenseinek mérésére (lásd pl. Séra, Kárpáti és Gulyás, 2002:29-30). Ezek között találunk mind téri orientációt (kocka összehasonlítás, kártyaforgatás), mind vizualizációt (forma összeillesztés, papírhajtogatás, felületkialakítás) mérő teszteket.

Magyarországon Kárpáti Andrea, Gulyás János és Séra László dolgoztak ki térszemléletet mérő tesztek az elmúlt tíz évben (Kárpáti, 2002, 2003; Séra, Kárpáti és Gulyás, 2002). A tesztfeladatok elkészítésekor a térszemlélet két képességfaktorát, a felismerést és a manipulációt feltételezték (Kárpáti, 2002: 103). A tesztek elsősorban az alap- és középfokú rajzpedagógiai témakörökhöz és a geometriai tananyaghoz kapcsolódó feladatokat tartalmaztak (Kárpáti, 2003: 101). A bemért feladatokból álló feladatbankot két korcsoport, hetedik osztályosok és tizenegyedik osztályosok számára állították össze.

Szintén az elmúlt évtizedben jelent meg a nemzetközi kémiadidaktikai szakirodalomban egy kémiai tartalmú feladatokat is tartalmazó, Hans-Dieter Barke nevéhez fűződő térszemléleti teszt (továbbiakban Barke-féle teszt) (Barke, 1993, 1997; Barke és Engida, 2001). Ennek a tesztnek az itemjei elsősorban a képzeleti munkát, a manipulációt mérik, melynek kitüntetett szerepe van a kémiában használatos térszerkezeti modellekkel való műveletekben. A Kárpáti Andrea és munkatársai által kidolgozott tesztekkel ellentétben Barke ugyanazokat a feladatokat használta különböző korosztályokhoz (7-12. évfolyamokhoz) tartozó tanulók térszemléletének mérésére. A kémiai tartalom, a különböző korú tanulókra alkalmazható itemek, valamint a főleg manipulációs képességet (más térszemléleti modellek terminológiájában: a vizualizációt) mérő feladatok miatt ennek a tesztnek a hazai adaptációja is megtörtént. A kipróbálás eredményeiről Tóth, Kiss és Barke (2003), valamint Tóth, Kiss és Búzásné (2004) tanulmányában olvashatunk. Magát a térszemléleti tesztet javítókulccsal együtt Kiss, Soltész és Tóth (2005) közleményében találjuk meg.

Dinamikus modellek

Az anyagi modellek másik nagy csoportját képező dinamikus modellek elsősorban különböző átalakulások (pl. radioaktív bomlás, egyirányú és egyensúlyra vezető kémiai reakciók) szemléltetésére alkalmasak. Egyik alcsoportjuk a hidrodinamikai modellek csoportja, melyben folyadékáramlás, illetve -átvitel modellezi a fizikai vagy kémiai változást (pl. Tóth és Grónásné, 1982; Tóth, 1983). A hidrodinamikai modellek és a kockadobás-modell felhasználásával szemléletesen lehet tanítani az egyirányú és egyensúlyra vezető folyamatokat is (Tóth, 1993, 1998; 1999).

2.6.3. Információs és kommunikációs technológiák

Az információs és kommunikációs technológiák – elsősorban a számítógépek, okostelefonok, tabletek elterjedése, a világháló hozzáférhetősége – nem csak életünket alakítják át, hanem – némi késéssel – az iskola világát és a tanítást-tanulást is. Ráadásul egy olyan rohamosan fejlődő, változó technológiáról van szó, amely majdhogyan nem értelmetlenné teszi mélyebb tanulmányok írását, készítését. Ezen a helyen csak arra vállalkozhatunk, hogy megosztunk néhány áttekintő, összefoglaló művet, és az Olvasóra bízunk azok feldolgozását.

Ludányi (2007) tanulmányában azt vizsgálta, hogy miként befolyásolja a tanulók tudásszerkezetét a PowerPoint használata a tábla és kréta helyett. Kismintás mérése szerint a PowerPoint hozott ugyan változást a tudásszerkezetben, de ez csak időlegesnek bizonyult.

Nyakóné, Sitkuné és Teperics (2011) tanulmányukban az akkori viszonyoknak megfelelő szintézisét adják az IKT eszközök természettudományos nevelésben betöltött szerepével kapcsolatos tapasztalatoknak. A lehetőségek és várható előnyök mellett nem hallgatják el az IKT eszközök használatának veszélyeit sem.

Radnóti (2014) az általa szerkesztett szakmódszertani kézikönyvben és tankönyvben néhány oldalt szentel a természettudományok tanulása és az informatikai környezet kapcsolatának.

Ollé János számos tanulmányában és monográfiájában foglalkozik a virtuális oktatási környezettel és az oktatásinformatikai módszerekkel (pl. Kárpáti és Ollé, 2007; Ollé, 2012; Ollé, Papp-Danka, Lévai, Tóth-Mózer és Virányi, 2013). Bohdaneczky (2015c) írásában azt tekinti át, hogy hogyan segítheti az informatika a kémiatanár munkáját.

A digitális tananyagok minőségi kérdéseit taglalja Reints és Wilkens (2014) tanulmánya. Ezekon kívül számos IKT-vel kapcsolatos tanulmány olvasható a Know What Works and Why folyóirat számaiban (például: <http://bit.ly/1NyT3QJ>).

2.7. A problémamegoldás

A problémamegoldás örökzöld témája a természettudományos – és közöttük a kémiai – szakdidaktikai kutatásoknak. Számos publikáció foglalkozik a problémamegoldás modellezésével (pl. Bodner és Domin, 2000; Bodner, 2003; Bennett, 2008), a problémák típusaival (pl. Johnstone, 2001; Bennett, 2008), a problémamegoldás fejlesztésének lehetőségeivel (pl. John-

stone, 2001; Bodner, 2003; Cardellini, 2006; Johnstone és Otis, 2006; Wood, 2006; Cooper, Cox Jr., Nammouz és Case, 2008), a sikeres problémamegoldás kognitív változóival (pl. Lee, 1985; Lee és Fensham, 1996; Lee, Goh, Chia és Chin, 1996; Lee, Tang, Goh és Chia, 2001) és így tovább.

Johnstone (1993) a problémáknak nyolc alaptípusát különbözteti meg az adatok, a megoldási módszer, valamint a cél ismerete szerint (10. táblázat). Ezek közül az első kettő igazából nem is valódi probléma, inkább csak feladat.

Típus	Adatbázis	Módszerek	Cél, vég-eredmény	Szükséges képességek
1	Adott	Ismert	Adott	Algoritmus felidézése.
2	Adott	Ismeretlen	Adott	Keresés az ismert módszerek között.
3	Hiányos	Ismert	Adott	A probléma elemzése abból a célból, hogy milyen adat szükséges még a megoldáshoz.
4	Hiányos	Ismeretlen	Adott	A lehetséges módszerek mérlegelése, és a hiányzó adat megtalálása.
5	Adott	Ismert	Nyitott	A legvalószínűbb cél meghatározása. A tudásháló megalkotása.
6	Adott	Ismeretlen	Nyitott	A legvalószínűbb cél és módszer meghatározása. A tudásháló és megoldási háló megalkotása.
7	Hiányos	Ismert	Nyitott	A célt a tanuló határozza meg, és észreveszi, hogy az adatbázis nem teljes.
8	Hiányos	Ismeretlen	Nyitott	Javaslat a célokra és a módszerekre, majd ezt követően a még szükséges adatokra.

10. táblázat:
A problémák nyolc alaptípusa (Johnstone, 1993)

A problémamegoldással kapcsolatos könyvtárnyi irodalom ismertetésére nem vállalkozunk. Helyette néhány fontosabb összefoglaló tanulmányt ajánlunk az Olvasó figyelmébe (Revákné, 2011b; Jung, 2000; Radnóti, 2014).

Az együttes problémamegoldással, az ún. kollaboratív problémamegoldó képességgel és annak fejlesztésével foglalkozik számos hazai és külföldi kutatás (pl. Yang, 2010; Pásztor-Kovács, 2015). Az optimális csoport-létszám tekintetében Dóra (2015) korábban (2.5.2. fejezet) már tárgyalta tanulmányára hivatkozunk.

2.7.1. A természettudományos problémamegoldó gondolkodás

A természettudományos problémamegoldás alapfeltétele a természettudományos gondolkodás alapvető képességeinek megléte és megfelelő szintű fejlettsége. A természettudományos gondolkodáson olyan mentális folyamatok összességét értjük, amelyeket akkor használunk, amikor valamilyen természettudományos tartalomról gondolkodunk, valamilyen természettudományos tevékenységet végzünk (pl. kísérletezünk, problémát oldunk meg).

2.7.1.1. A természettudományos gondolkodás alapvető képességei

A természettudományos gondolkodás alapvető képességein olyan mintázatokat (sémákat, műveleteket) értünk, amelyek elengedhetetlenek a természettudományos problémák megértése, kezelése és megoldása szempontjából. A legfontosabb mintázatok a következők: rendszerezési képesség, kombinatív képesség, deduktív gondolkodás, induktív gondolkodás, analógiás gondolkodás, arányossági gondolkodás, valószínűségi gondolkodás és korrelatív gondolkodás (Csapó és Szabó, 2012).

A rendszerezési képesség

A rendszerezési képesség a dolgok és jelenségek adott szempontok szerinti jellemzését és összehasonlítását jelenti. Elemei: az összehasonlítás, a besorolás, a sorképzés, általánosítás, az osztályozás és a definiálás. Példák:

- Hasonlítsd össze a hidrogén izotópatomjainak összetételét az általuk tartalmazott elemi részecskék szempontjából!

- Állítsd savi erősségük növekvő sorrendjébe a következő szerves vegyületeket! Fenol, pirrol, piridin, ecetsav, etanol, hangyasav, triklórecetsav.
- Gyűjtsd ki a szerves kémia tankönyvekből azokat a kémiai reakciókat, amelyek során valamilyen szerves vegyület hidrogénfejlődés közben reagál nátriummal vagy káliummal! Állapítsd meg, hogy mi a közös ezekben a szerves molekulákban!
- Rendszerezd az oxigéntartalmú szerves vegyületeket a bennük lévő, oxigénhez kötődő szénatomok oxidációs száma szerint!
- A sókat összetételük alapján négy csoportba sorolhatjuk: szabályos sók (pl. Na_2CO_3), savanyú sók (pl. NaHCO_3), bázisos sók (pl. $\text{Cu}_2[(\text{OH})_2\text{CO}_3]$) és kettős sók (pl. $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$). Ezek ismeretében alkossd meg a savanyú só definícióját!

A kombinatív képesség

A kombinatív képesség a lehetőségek számbavételével hoz létre új tudást. Példák:

- A hidrogénatomnak (^1H , ^2H , ^3H) és az oxigénatomnak (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) is három izotópatomja fordul elő a természetben. Hányféle vízmolekula található egy pohár vízben?
- Rajzold fel a C_4H_8 molekulaképletű szénhidrogének lehetséges konstitúciós és konfigurációs izomereit!
- Hányféle dipeptid képződhet kétféle aminosavból?

A deduktív gondolkodás

Bár a deduktív gondolkodás alapvetően nem hoz létre új ismeretet, fontos szerepe van a szövegértésben, az érvelésben és a cáfolásban. Elemei: a kétváltozós műveletek és a következtetések. Példák:

- Fejezd be a mondatot! Ha egy kémiai reakcióban elektronátmenet (oxidációszám-változás) történik, akkor redoxireakcióról beszélünk. Ebben a reakcióban nem történik elektronátmenet (oxidációszám-változás), tehát ...
- A hidrogénkötés kialakulásának szerkezeti feltétele, hogy legyen a molekulában olyan hidrogénatom, amely nagy elektronegativitású atomhoz kapcsolódik és legyen a molekulában olyan nagy elektronegativitású atom, amelynek van nemkötő elektronpárja. A felsorolt

vegyületek közül melyek molekulái között alakulhat ki hidrogénkötés? kén-hidrogén, víz, piridin, pirrol, metán, imidazol

Az induktív gondolkodás

Az induktív gondolkodást szokás az új ismeret létrehozására alkalmas gondolkodási műveletnek is tekinteni. Az induktív gondolkodás a szabályfelismerésen és a szabályalkotáson alapul. Elemei: a kizárás, az átközlés és a sorozatok képzése.

- Melyik nem illik a sorba?
propánsav, propán-1-ol, etil-acetát, propanal, aceton, etil-metil-éter
- Mi kerül a hiányzó helyre?
mól : mol = gramm : ...
- A felismert szabály alapján folytassa a vegyületek sorát!
but-1-én – 2-klór-bután – but-2-én – 2-klór-bután – ...

Az analógiás gondolkodás

Az analógiás gondolkodás dolgok közötti hasonlóságok felismerésével kapcsolatos (Nagyné, 2006). Analógiákra épül a modellek használata is. A modell a valóság egyszerűsített mása. A modellezésnek különböző szintjei jelennek meg a kémiában. A jól ismert molekulamodelleken kívül jelentős modellek még a kémiában az eszmei modellek (pl. atommodellek, sav-bázis elméletek) és a kémia szimbólumrendszere (vegyjelek, képletek, kémiai egyenletek). A modellek használata során mindig tisztában kell lenni azzal, hogy a megértés elősegítése mellett gyakran tévképzetek kialakítását is eredményezik.

- Írd fel az ezüst-nitrát-oldat és a sósav között végbemenő reakció kémiai egyenletét ionegyenlettel!
- Rajzold le az amidcsoport szerkezeti képletét! Állapítsd meg, hogy ez alapján milyen sav-bázis tulajdonságúak az amidok! Hogyan kellene ezt a képletet módosítani, hogy értelmezni tudjuk az amidok vízzel szemben mutatott semleges sav-bázis tulajdonságát?

Az arányossági gondolkodás

Az arányossági gondolkodás (egyenes és fordított arányosság felismerése, arányos osztás) alapvető szerepet játszanak a természettudományokban és a mindennapi életben egyaránt. Különös figyelmet érdemel a for-

dított arányosság felismerése és az arányos osztás képességének fejlesztése.

- Melyiknek nagyobb a tömege? Azonos anyagmennyiségű vasatomnak vagy szénatomnak?
- Melyik tartalmaz több molekulát? Azonos tömegű szén-dioxid vagy metán?
- Melyik nagyobb térfogatú? Azonos tömegű és állapotú klórgáz vagy nitrogéngáz?
- Hogyan változik meg a tökéletes gáz térfogata, ha állandó hőmérsékleten nyomását háromszorosra növeljük?
- Egy keverékben az alkotó anyagok tömegaránya 2 : 3. Hány grammot tartalmaz az egyes alkotókból 150 g keverék?

Valószínűségi gondolkodás

Ennek – a hétköznapi életben is fontos – gondolkodásnak a fejlesztésére a kémia tananyaga – legalábbis alsó- és középfokon – nagyon kevés lehetőséget kínál.

- A szén-tetrakloridot metán klórozásával állítják elő. A folyamat ki-termelése azonban nagyon rossz. Vajon mi lehet ennek az oka?
- A függvénytáblázatban számos adatot találsz arra vonatkozóan, hogy különböző anyagok vízben való oldhatósága hogyan változik a hőmérséklettel. Készíts egy 2 x 2-es ún. kontingenciatáblázatot szilárd anyagok és gázok esetén vízoldhatóságuk hőmérsékletfüggéséről (az oldhatóság nő a hőmérséklettel vagy csökken). Függ-e az anyagok oldhatóságának hőmérsékletfüggése az anyag standard halmazállapotától?

Korrelatív gondolkodás

A korrelatív gondolkodás teszi lehetővé bizonyos valószínűséggel be-következő események közötti összefüggés (együttjárás típusú és oksági típusú) felismerését.

- A nemesgázok forráspontja a moláris tömeggel nő. Van-e oksági kapcsolat a két változó között?
- A HCl, HBr és HI savi erőssége vízzel szemben a moláris tömeggel nő. Van-e oksági kapcsolat a két változó között?

2.7.1.2. A problémamegoldó gondolkodás fejlesztése a kémiaórán

A problémamegoldó gondolkodás a természettudományos gondolkodás összetett, magas szintű formája. Szükséges, de nem elégséges feltétele a természettudományos gondolkodás alapvető képességeinek megfelelő fejlettsége. Számos további feltétele közül megemlítjük a gondolkodás rugalmasságát, a kreativitást, az egymástól látszólag távoli területek közötti tudástranszfer képességét. Ne feledjük, hogy a kognitív terhelési elmélet (sémaelmélet) ajánlása szerint a problémamegoldó gondolkodás fejlesztésének egyik hatékony módszere a kidolgozott feladatok megoldásának elemzése, elemeztetése.

A problémamegoldó gondolkodásnak könyvtárnyi irodalma van, ezért az elméleti alapok tárgyalása helyett a következőkben néhány kémiai problémafeladatot mutatunk be. Az ilyen feladatokkal egyrészt tesztelhetjük a tanulók problémamegoldó gondolkodásának fejlettségét, másrészt fejleszthetjük is azt.

- Hogyan lehetséges az, hogy pl. egy sóoldatban található nátriumionok és kloridionok nem férnek át a féligáteresztő hártya pórusain, pedig ezek az ionok kisebbek, mint a vízmolekulák? A nátriumion átmérője 95 pm, a kloridion átmérője: 181 pm, a vízmolekula átmérője: 280 pm.
- Ki követett el hibát? Arra a kérdésre, hogy mekkora a tömege 2,00 mol kénnek az egyik tanuló (A) azt válaszolta, hogy 64,0 g, egy másik tanuló (B) pedig azt, hogy 512 g. Hogyan kaphattak ennyire eltérő eredményt? Ki követte el a hibát: az (A) tanuló, a (B) tanuló vagy esetleg a kérdező? Válaszodat indokold meg!
- Kinek van igaza? A hidrogén-fluorid-gáz sűrűsége nagyobb, mint amit a moláris tömege alapján várnánk. Az egyik tanuló szerint ennek az az oka, hogy az erős hidrogénkötés miatt a gázban nem HF molekulák, hanem H_2F_2 , sőt H_3F_3 képletű molekulák is vannak. A gáz sűrűsége a molekulák tömegétől függ. Egy másik tanuló szerint ez az indoklás nem helyes, hiszen, ha a H_2F_2 , illetve H_3F_3 molekuláknak nem csak a tömege nagyobb, mint a HF molekuláké, hanem azzal arányos a térfogata is. Vagyis a tömeg és a térfogat hányadosa, a gáz sűrűsége nem változik. Kinek az indoklása hibás? Mi benne a hiba?
- Egy gépkocsi-tulajdonos a tél beállta előtt fagyálló hűtőfolyadékkal szeretne volna feltölteni a kocsiját. Beszerezte a hozzá való etilén-

glikolt ($\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$) és desztillált vizet. A használati utasítás elolvasása után azonban úgy döntött, hogy a több az jobb, ezért a 30% etilén-glikol és 70% víz helyett, 70% etilén-glikolt és 30% vizet tartalmazó hűtőfolyadékot öntött a gépkocsi hűtőjébe. Ettől kezdve – legnagyobb meglepetésére – a gépkocsi motorja állandóan túlmelegedett. Mi okozhatta a problémát?

- Miért nem szegelik? A bejáratú küszöbök díszítésére gyakran használnak rézlemezeket. A rézlemezeket általában ragasztással rögzítik a küszöbhez. Vajon miért nem vasszöggel vagy vascsavarral rögzítik a rézlemezt?
- Archimédész és az arany korona. Archimédész, ókori görög tudós egyszer azt a feladatot kapta, hogy állapítsa meg egy aranykoronáról, hogy az valóban tiszta arany-e, vagy egy részét ezüsttel hamisította az ékszerész. Archimédész a koronával megegyező tömegű aranyat és ezüstöt kért a vizsgálathoz. Szüksége volt még egy olyan edényre, amelybe belefért a korona, egy térfogatmérő edényre és vízre. Vajon hogyan tudta megoldani a feladatot úgy, hogy a korona sértetlen maradjon? Mérései alapján Archimédész nem csak azt mutatta ki, hogy az ékszerész csalt, hanem pontosan kiszámította, hogy a koronában hány tömegszázalék arany és hány tömegszázalék ezüst van. Hogyan?

A gondolkodás rugalmasságával, a tanult megoldási sémákból történő kilépés képességével kapcsolatosak a következő problémafeladatok, melyek egy részét Forgács József (2010) gyűjteményéből vettük (a megoldások is ott olvashatók):

- Létezik-e olyan szénhidrogén, amelynek $w = 60,0\%$ -a szén?
- Mi a feltétele annak, hogy egy oldatban a tömeg% és az anyagmennyiség% számértéke megegyezzen?
- Mi a feltétele annak, hogy egy vegyületben az alkotó atomok tömeg%-os és anyagmennyiség%-os összetétele megegyezzen?
- Mi a feltétele annak, hogy két különböző vegyületben a vegyületet alkotó elemekre vonatkozó tömeg%-os és anyagmennyiség%-os összetétel megegyezzen?
- Hány tömeg%-os $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ -ra nézve a $w = 15,0\%$ -os CuSO_4 -oldat?

2.7.2. Problémamegoldás és kémiai kísérlet

A kémiai kísérlet lehetőséget ad arra, hogy a tanulók

1. kérdéseket fogalmazzanak meg a saját előzetes ismereteik alapján;
2. megvalósíthassák a probléma megoldására vonatkozó elképzeléseiket;
3. ellenőrizhessék ezeket a megoldásokat;
4. megvitathassák próbálkozásaikat és a végső megoldást.

Azokat az osztálytermi kísérleteket, amelyek egy vagy több elemet tartalmaznak az előbbi felsorolásból, de Jong (1997) problémafelvető (problem-posing) kísérleteknek nevezi.

A problémafelvető kísérleteknek hat csoportját különböztethetjük meg, aszerint, hogy a kísérleti problémamegoldás mely fázisait végzi a tanár, és melyet a tanuló (de Jong, 1997). Az első fázis a probléma felvetése, a második a hipotézisalkotás, a harmadik a kísérlet megtervezése, a negyedik a kísérlet elvégzése, az ötödik a megfigyelés, adatgyűjtés, és a hatodik a következtetések megfogalmazása. Problémafelvető kísérletről akkor beszélhetünk, ha legalább az utolsó lépést, a következtetés megfogalmazását a tanuló végzi többé-kevésbé önállóan. A szokásos tanári demonstrációs vagy osztálytermi tanuló-kísérletek során a tanulók legfeljebb a problémamegoldás utolsó három fázisában játszanak aktív szerepet. Természetesen azt is látnunk kell, hogy a tanulók a kísérleti problémamegoldásnak minél korábbi fázisába kapcsolódnak be, annál nyitottabb, annál nehezebben tervezhető, annál időigényesebb a kísérlet, és a tanulók munkája is annál nehezebben értékelhető. Ezen okok miatt és az ilyen jellegű kísérletek szokatlansága miatt a tanárok többsége elutasítja a problémafelvető kísérleteket (de Jong, 1997). Másrészt a tanárok sem felkészítjük, sem továbbképzésük, sem a napi munkájuk során nem kapnak segítséget ahhoz, hogy hogyan kell ilyen kísérleteket tervezni és osztálytermi körülmények között megvalósítani.

A kutatásalapú tanulás (IBL)

A 2007-ben publikált „Rocard jelentés” (Science Education Now: A Renewed Pedagogy For The Future Of Europe; <http://bit.ly/1ixEQz5>) kapcsán került a természettudományok – és így a kémia – oktatásának figyelmébe a kutatásalapú (olykor: felfedezettő) tanulás (inquiry-based learning, IBL). Ennek lényege a tudományos kutatások mintájára végzett

vizsgálatokon alapuló természettudomány-oktatás, ill. –tanulás. A kutatásalapú tanulás során a diákok olyan kísérleteket, vizsgálatokat végeznek, amelyeknek legalább egy részét saját maguk tervezik meg és értékelik is azok eredményeit.

A témáról kiváló magyar nyelvű tanulmányok is olvashatók (Nagyné, 2010; Réti és Iker, 2015). A gyakorlati megvalósításáról az ELTE Kémiai Intézetében erre a célra létrehozott szakmódszertani honlapon (<http://www.chem.elte.hu/w/modszertani/index.html>) lehet tájékozódni, ahol sok, a kutatásalapú tanítás szellemében írt, nyomtatásra kész feladatlap is található.

Az IBL hatékonyságát illetően megoszlanak a vélemények. Egy metaelemzés során azt találták, hogy a vizsgált 138 tanulmánynak csak alig több mint a fele számolt be egyértelműen pozitív eredményről a tanulók ténybeli tudására gyakorolt hatást illetően (Minner, Levy és Century, 2010). Mások (pl. Tomperi és Aksela, 2014) szerint az IBL fejleszti a hallgatók magasabb rendű kognitív tevékenységét. Ugyanakkor többen (pl. Bolte, Streller és Hofstein, 2013) jelzik, hogy a jól tanuló, törekvő diákok nem szeretik ezt a tanítási-tanulási módszert. A módszer legkeményebb kritikáját Kirschner, Sweller és Clark (2006) fogalmazta meg. Szerintük a minimális irányítású módszerek (pl. IBL, konstruktivista módszer) kevésbé hatékonyak, és számos esetben csak hibás elképzeléseket alakítanak ki és rögzítenek a tanulóknál. Reid (2012) is mint felkapott, divatos „csodaszerről” beszél, és – véleménye szerint – az IBL sem fogja megoldani a kémia oktatás hatékonyságának alapvető növelését.

2.7.3. Kémiai számítások

A kémiai számítási feladatok sajátos helyet foglalnak el a kémia tanításában. Elmaradhatatlan részét képezik a különböző vizsgáknak és versenyeknek, ugyanakkor kevés olyan területe van a kémiának, amelyet annyira nehéznek és öncélúnak tartanak a tanulók, mint a kémiai számításokat. Időszerű tehát újragondolni a kémiai számítások didaktikai funkcióját és tanításának módszertanát.

2.7.3.1. A kémiai számítások célja, szerepe a kémia tanítási-tanulási folyamatában

A kémiai számítási feladatok megoldásának alapvetően két célja van:

1. A feladat konkrét témájához tartozó tudásterület fejlesztése.

2. A tanulók problémamegoldással kapcsolatos metakognitív tudásának fejlesztése.

A fogalmi megértés elősegítése, a feladat témájához kapcsolódó tudásterület fejlesztése

A kémiának számos olyan területe van, ahol az ismeretek elmélyítését, a megfelelően szervezett fogalmi háló kiépítését a jól megválasztott számítási feladatok elősegíthetik. Ilyen terület például a sztöchiometria, a kémiai egyensúly, a termokémia és az elektrokémia. A reakcióegyenlet mennyiségi jelentését, a kémiai egyensúly koncentrációváltozással történő eltolását, a reakcióhő értelmezését, kapcsolatát a képződéshővel, a kötési energiákkal, a Hess-tétel jelentését és a Faraday-törvények jelentését jól megfogalmazott számítási feladatok megoldásával lehet szemléltetni és elmélyíteni.

Ugyanakkor számos nemzetközi, tudományos igényű kutatás mutatja, hogy a tanulók kémiai számítások megoldásában elért sikeressége nagyon gyenge kapcsolatban áll a problémák megoldásához szükséges kémiai ismeretek fogalmi megértettségének szintjével (pl. Nurrenbern és Pickering, 1987; Nakhleh, 1993; Nakhleh és Mitchell, 1993; Cracolice, Deming és Ehlert, 2008). Lehet, hogy a tanulók attól függetlenül tudják megoldani a sztöchiometriai számításokat, hogy értenék a probléma molekuláris hátterét. Újabban pedig azt is kimutatták (Tóth, 2007), hogy alapvető különbség van azon tanulócsoportok jellemző tudásszerkezetében, akik fogalmi megértés alapján vagy memorizálási technikával tanultak meg alapvető fizikai és kémiai összefüggéseket. Az utóbbiak tudásszerkezetében kimutatható volt, hogy a memorizálási technikával rögzült ismeretek izolált és nehezen mozgósítható tudáselemek.

A problémamegoldással kapcsolatos metakognitív tudás fejlesztése, megoldási sémák kialakítása

A kognitív pedagógia szerint nem beszélhetünk általános problémamegoldó képességről, hiszen a problémamegoldás is, mint minden ismeretünk kontextus függő, tudásterület-specifikus. A metakognitív tudásrendszerünknek van azonban egy olyan része, amely a problémamegoldással kapcsolatos (Nahalka és Poór, 2002). Ilyenek például az egyenes és fordított arányosság felismerése, analógiák keresése, a feladat átfogalma-

zása, az adatok szemléletes (pl. táblázatos) feltüntetése stb. Ezek fejlesztésére alkalmasak a kémiai számítási feladatok is.

Azt, hogy a tanulók melyik megoldási stratégiát használják egy adott feladat megoldására, számos tényező befolyásolja. Schmidt kutatásai szerint a német (Schmidt, 1990, 1994, 1997c) és a svéd (Schmidt és Jignéus, 2003) középiskolások sikeresen alkalmazzák – a kutatók által „logikai” módszerként nevezett – saját megoldási stratégiájukat az iskolában tanult módszerek helyett egyszerű sztöchiometriai problémák megoldásában. A problémák nehezedésekor azonban egyre nagyobb hajlandóságot mutatnak az iskolában tanult algoritmusok használatára. Ezzel ellentétben Tóth és Kiss (2005) azt találta, hogy a magyar középiskolások még nagyon egyszerű sztöchiometriai feladatok esetén is az iskolában tanult megoldási módszereket használják. Ugyanakkor Tóth (2004d) azt is kimutatta, hogy reakcióegyenletek rendezésében a magyar diákok kialakítják saját rendezési stratégiájukat – ami általában a próbálgatáson alapszik – mielőtt még az iskolában tanulnák az oxidációs számok megváltozásának módszerét, és ragaszkodnak ehhez az általában kis hatékonyságú saját stratégiához még igen összetett redoxiegyenletek rendezése esetén is.

2.7.3.2. A kémiai számítások tanításának alapelvei

A kémiai számítások hatékony tanításának alapelveit a kognitív pszichológia – különös tekintettel a kognitív terhelés elméletére –, valamint a konstruktivista pedagógia elméleti kereteiből kiindulva fogalmazhatjuk meg.

A fokozatosság elve

Talán a legfontosabb elv a fokozatosság elve. Ahogy azt a kognitív terhelés elméletének tárgyalásakor láttuk, a sikertelenség gyakori oka, hogy a tanulónak túl sok információt kellene egyszerre kezelnie, és ez meghaladja a munkamemória kapacitását. A fokozatosság elvének betartásával elérhetjük, hogy egyre nagyobb, egyre kapcsolódúsabb sémái legyenek az adott feladattípus megoldásával kapcsolatban, és így egyre összetettebb feladatok megoldására váljon képessé a tanuló. *Kezdetben kerüljük a külső terhelést*, azaz a számításhoz fölösleges adatok használatát. Például annak a tanulónak, akinek még nincs kialakult sémája a sűrűség–tömeg–térfogat összefüggéssel kapcsolatban, a következő – a meg-

oldás szempontjából fölösleges adatokat is tartalmazó – feladat megoldhatatlanná válhat:

Mekkora a cseppfolyós bróm sűrűsége 25 °C-on, 0,101 MPa nyomáson, ha ilyen körülmények között 2,50 cm³-e 7,80 g tömegű?

Több lépéses feladatok megoldása esetén kezdetben ne várjuk el a tanulótól, hogy felfedezze az adatoktól a célig vezető utat. Először csak annyit gyakoroltassunk, hogy *gyűjtse össze* és azonosítsa a feladatban szereplő explicit módon megadott *adatokat*, majd a feladat szövegéből kikövetkeztethető ún. rejtett adatokat is:

Hány dm³ standardállapotú (25 °C-os és standard nyomású) HCl-gázt kell vízben elnyeletni, ha 400 g 38,0 m/m%-os sósavat akarunk előállítani?

Explicit adatok: az oldat tömege: $m(\text{oldat}) = 400 \text{ g}$
 az oldat összetétele: $c(\text{oldat}) = 38,0 \text{ m/m}\%$

Rejtett adatok: a HCl moláris tömege: $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g/mol}$
 a víz moláris tömege: $M(\text{H}_2\text{O}) = 18,0 \text{ g/mol}$
 a gáz moláris térfogata: $V_m(\text{HCl}) = 24,5 \text{ dm}^3/\text{mol}$
 a víz sűrűsége: $\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1,00 \text{ g/cm}^3$

A következő lépésben azt gyakoroltassuk, hogy az adatbázisban szereplő adatok ismeretében *mi mindent lehetne kiszámítani*. Érdekes felhívni a tanulók figyelmét arra, hogy a kémiai számítások során gyakran követhetjük azt a stratégiát, hogy keresünk két olyan adatot, amelyből közvetlenül egy harmadik adatot lehet számítani. Esetünkben:

- Az oldat tömegének és tömegszázalékos összetételének ismeretében kiszámíthatjuk az oldott anyag tömegét: $m(\text{HCl}) = 152 \text{ g}$.
- A hidrogén-klorid moláris tömegének és moláris térfogatának ismeretében kiszámíthatjuk a hidrogén-klorid sűrűségét: $\rho(\text{HCl}) = 1,49 \text{ g/dm}^3$.
- A víz sűrűségének és moláris tömegének ismeretében kiszámíthatjuk a víz moláris térfogatát: $V_m(\text{H}_2\text{O}) = 18,0 \text{ cm}^3/\text{mol}$.

Csak ezeknek a lépéseknek a kellő begyakorlása után kérjük azt, hogy most azt vizsgálja meg, *milyen mennyiségek ismeretében lehetne közvetlenül kiszámítani* a feladatban szereplő kérdéses mennyiséget.

- A HCl-gáz térfogatának kiszámításához ismerni kell a HCl-gáz anyagmennyiségét és moláris térfogatát.

vagy

- A HCl-gáz térfogata kiszámítható a HCl-gáz tömegének és sűrűségének ismeretében is.

McCalla (2003) főiskolások körében próbálta ki azt a módszert, hogy a kémiai számítások megoldása során nem abból indul ki, hogy az adatokból mit lehet kiszámolni, hanem fordítva, a cél eléréséhez milyen mennyiségek ismeretére van szükség, azokat hogyan lehet kapcsolatba hozni a feladatban szereplő adatokkal. Azaz, az adatoktól a célig építkező megoldás helyett a célból az adatokig történő „visszafejtést” használta. Kismintás, kontrollcsoportos kísérlete szerint azok a hallgatók, akik ez utóbbi módon oldották meg a feladatokat sokkal sikeresebbek voltak, mint azok a társaik, akik „hagyományos” módon, pusztán a feladatban szereplő adatokból kiindulva próbáltak célba érni. Magyarázata szerint ennek az oka, hogy cél általában csak egy van, tehát abból kiindulva könnyebb megszerkeszteni a megoldási hálót, mint kiválasztani az adatokból kiinduló többféle lehetőség közül azt, amelyik elvezet a célig. Ezzel kapcsolatban érdemes megjegyezni, hogy számos vizsgálat igazolja, hogy a kezdő és a szakértő feladatmegoldók között kimutatható egyik legfontosabb különbség, hogy a kezdők csak egyirányban (lineárisan) építkezve (többnyire az adatoktól a cél felé haladva) próbálják megoldani a feladatokat. Ezzel ellentétben a szakértők – kialakult sémáiknak köszönhetően – képesek arra, hogy egyszerre vizsgálják meg azt, hogy a rendelkezésükre álló adatokból mit *lehet* kiszámítani, és a cél eléréséhez mit *kell* kiszámolni. A McCalla által javasolt, a célból az adatok felé történő építkezés tudatos gyakoroltatása lehet, hogy segít a szakértőkre jellemző nemlineáris problémakezelés képességének kialakításában.

A vizualításra törekvés elve

A vizualításra törekvés elve jelenti táblázatok, ábrák, folyamatábrák készítését, az adatok ezeknek megfelelő rendszerbe foglalását. Ezek a vizuális elemek jelentősen megkönnyítik a feladat adatainak áttekintését, az azok között fennálló kapcsolatok felismerését. Néhány példa:

Milyen anyagmennyiségű szén-dioxid-molekula ugyanakkora tömegű, mint 2,00 mol metánmolekula?

	CH_4	CO_2
<i>M:</i>	16,0 g/mol	44,0 g/mol
<i>n:</i>	2,00 mol	?
<i>m:</i>		=

Hány gramm kálium-bikromát kristályosodik ki, ha 100 g 100 °C-on telített oldatot 0 °C-ra hűtünk? A telített oldat 0 °C-on 4,76 m/m%-os, 100 °C-on 44,4 m/m%-os.

<i>100 °C-on telített oldat</i>	\rightarrow	<i>kálium-bikromát + 0 °C-on telített oldat</i>
<i>m:</i>	100 g	?
<i>m/m%:</i>	44,4	4,76

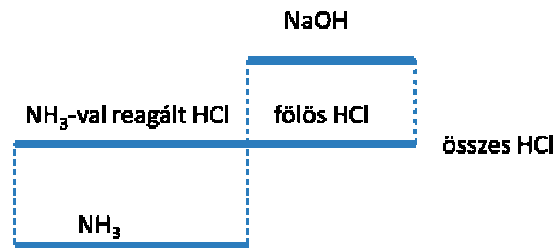
100,0 cm³, 18,0 m/m%-os, 1,119 g/cm³ sűrűségű kálium-klorid-oldathoz hány cm³ 10,0 m/m%-os, 1,088 g/cm³ sűrűségű ezüst-nitrát-oldatot kell önteni, hogy a reakció éppen végbemenjen? Mekkora tömegű csapadékot szűrhetünk le, és – ha a veszteségektől eltekintünk – milyen a maradék oldat tömegszázalékos összetétele?

	<i>kálium-klorid-oldat</i>	+	<i>ezüst-nitrát-oldat</i>	\rightarrow	<i>csapadék</i>	+	<i>oldat</i>
<i>V:</i>	100,0 cm ³		?				?
<i>m/m%:</i>	18,0		10,0				?
ρ :	1,119 g/cm ³		1,088 g/cm ³				?
<i>m:</i>							?
<i>M:</i>	74,6 g/mol (KCl)		170 g/mol (AgNO ₃)				

10,00 cm³, ismeretlen koncentrációjú ammóniaoldathoz 20,00 cm³ 0,1120 mol/dm³-es sósavat mérünk, majd a savfelesleget 0,0988 mol/dm³-es nátrium-hidroxid-oldattal titráljuk: az átlagfogyás 9,46 cm³. Számítsuk ki az ammóniaoldat koncentrációját!

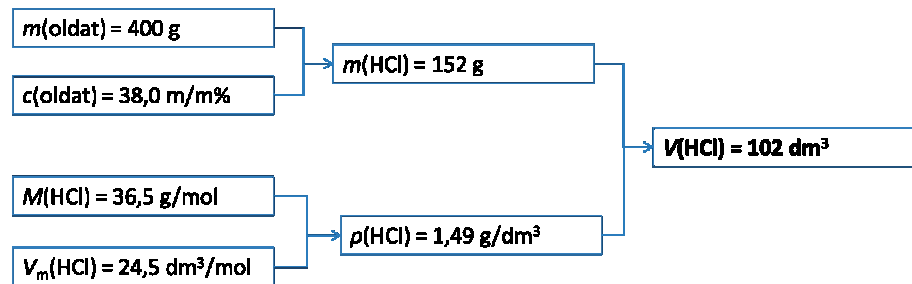
	<i>ammóniaoldat</i>	+	<i>sósav</i>	\rightarrow	<i>„sósavas” oldat</i>
<i>V:</i>	10,00 cm ³		20,00 cm ³		
<i>c:</i>	0,1120 mol/dm ³				
	<i>„sósavas oldat”</i>	+	<i>nátrium-hidroxid-oldat</i>	\rightarrow	<i>titrált oldat</i>
<i>V:</i>			9,46 cm ³		
<i>c:</i>			0,0988 mol/dm ³		

A visszatitrálás szemléltetése:

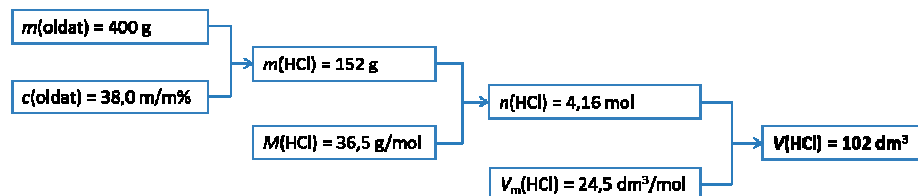


Sok szempontból hasznos a *megoldási háló* felrajzolása, felrajzoltatása. A megoldási háló kapcsolatot teremt a kiindulási adatok és a cél között. A korábban példaként vett feladat esetén kétféle megoldási hálóval írhatjuk le a feladatmegoldás menetét:

Hány dm^3 standardállapotú ($25\text{ }^\circ\text{C}$ -os és standard nyomású) HCl-gázt kell vízben elnyeletni, ha 400 g $38,0\text{ m/m}\%$ -os sósavat akarunk előállítani?

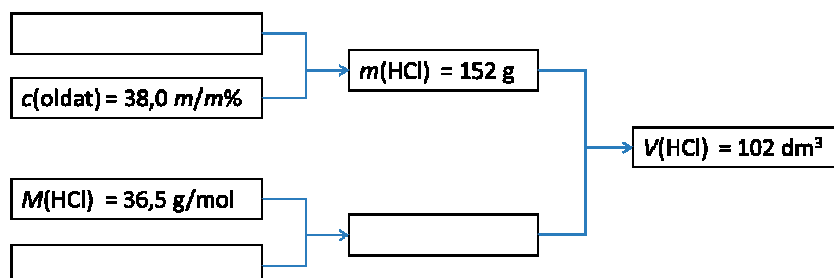


vagy



Az ilyen módon megrajzolt megoldási hálók – a kognitív terhelés elmélete szerint – elősegítik a feladatmegoldási sémák kialakulását. Mind a

kész megoldási hálók tanulmányozása, szöveges elemzése, mind az ún. *hiányos megoldási hálók* kitöltése hasznos – és olykor élvezetes – eszköze a feladatmegoldás tanításának. Egy ilyen hiányos megoldási hálót mutat a következő ábra. A tanulónak az a feladata, hogy töltsse ki a megoldási háló hiányzó részeit.



A számítási feladatok életszerűvé tételének elve

A feladatmegoldás tanításának fontos alapelve a számítási feladatok életszerűvé tétele. Ennek eleget tenni nem is olyan könnyű, egyrészt a kémiai feladatoknak csak kis hányada kapcsolódik közvetlenül a mindennapokhoz, másrészt valós életben a tanuló számára életszerű szituációkat kell értenünk. Például az oldatok tárgyalásánál hiába hozunk permetlé készítési vagy befőzési példákat, ha a permetezés és a befőzés a tanulótól legalább annyira távol eső „mindennapi” tevékenységek, mint a galvanizálás vagy a műtrágyagyártás. Ilyen, vélhetően tizenéves tanulók számára is életszerű probléma lehet a következő:

Kevesen tudják, hogy egyes zöldségekben – szabadföldi, normál körülmények között történő termesztés esetén is – rengeteg nitrát halmozódhat fel. Nagyon magas (>2500 mg/kg) a cékla, a retek, a saláta, a spenót és a zeller nitráttartalma. Sok (1000 – 2500 mg/kg) nitrátot tartalmaz például a karalábé, a petrezselyem, a póréhagyma és a zellergumó. Alacsony (<500 mg/kg) nitráttartalmú zöldségek: a brokkoli, a répa, a tök, az uborka, a bab, a borsó, a görögdinnye, a hagyma, a padlizsán, a paprika és a paradicsom. Főzésnél a nitráttartalom 70-75%-a kioldódik, ezért célszerű az első, 1-2 perces főzőlevet kiönteni.

Számítsd ki, hogy mekkora tömegű retek elfogyasztása jelenthet veszélyt egy 60 kg testtömegű ember számára! A megengedett nitrátbevitel: 3,7 mg/testtömeg-kg. A retek nitráttartalmát vegyük 2500 mg/kg-nak!

Amint már azt említettük, a kémiai számítási feladatoknak csak kis hányada köthető közvetlenül a mindennapi életünkhöz. Ezt a nehézséget lehet csökkenteni *analógiák használatával*. Az analóg feladat – a tanulók mindennapi gyakorlatából vett feladat – legyen olyan, amelynek megoldási módszere megfeleltethető egy kémiai számítás megoldási módszerének. Néhány példa a mindennapi életből vett analógiára és az annak megfeleltethető kémiai számításra:

- Egy osztályban 10 fiú és 16 lány tanul. Az osztálynak 2 lányból és 1 fiúból álló csapatokat kell kiállítani egy versenyre. Hány csapatot tud indítani az osztály?
- Hány mól szén-dioxid keletkezhet, ha 20,0 mol szén-monoxidot 6,00 mol oxigénnel reagáltatunk a következő reakcióegyenlet szerint: $2 \text{CO} + \text{O}_2 = 2 \text{CO}_2$?
- Egy tanulónak 15 darab pénzérme van a pénztárcájában, saját bevétele szerint csak tíz- és húszforintos érméi vannak, összesen 200 Ft értékben. Hány tíz- és hány húszforintos érméje van a tanulónak?
- Egy szén-monoxidból és szén-dioxidból álló gázelegy 20,0 móljában összesen 35,0 mol oxigénatom van. Hány mól szén-monoxidot és hány mól szén-dioxidot tartalmaz a gázelegy?

A tanulók előzetes tudására építés elve

A kémiai feladatok megoldása általában néhány, jól megfogalmazható megoldási stratégiára vezethető vissza. Ezek között általában olyanok is szerepelnek, amelyeket más kontextusban (másik tantárgyban vagy a hétköznapi gyakorlatban) már ismer, használ a tanuló. A feladatmegoldás tanításának egyik fontos alapelve ezekre az előzetes stratégiákra való építés (Tóth, 2002b). Hagyjuk a tanulót gondolkodni, hadd formálja ki saját (jó vagy rossz) megoldási stratégiáját, ne erőltessük rá egyik vagy másik számunkra legjobb, számára viszont idegen megoldási módszerünket.

A tanulók előzetes tudására építés elve egyszerre jelenti a feladathoz kapcsolódó kémiai ismeretekre, valamint a tanulók már meglévő sémáira való építkezést. Ezek a kezdeti sémák többnyire a próbálgatáson alapulnak. A *próbálgatás* viszonylag eredményes lehet, ha a változók száma kevés (egy vagy kettő) és értékük egész szám.

A tanulók előzetes tudásából kiinduló tanítás *lépései* tehát a következők:

- A tanulók előzetes (általában kis hatékonyságú) megoldási stratégiáinak feltárása.

- A tanulók megoldási stratégiáinak továbbfejlesztése nagyobb hatékonyságú megoldási stratégiává.
- További megoldási stratégiák keresése, a már megtanult megoldási módszerek ütköztetése más megoldási módszerekkel.

A tanulók előzetes megoldási stratégiáit csak olyan tudásterülethez kapcsolódó feladatokkal lehet feltárni, amellyel a tanuló már rendelkezik. Néhány esetben egyszerű kémiai problémákat, más esetekben a tanuló mindennapi életével kapcsolatos analóg feladatokat használhatunk erre a célra. Az értékelés során ki kell gyűjtenünk az előforduló megoldási stratégiákat, függetlenül attól, hogy azok jók vagy rosszak. Célszerű az egyes stratégiák eredményességét is vizsgálni. Különös gondot kell fordítani a tipikus hibákra, a megoldás során felbukkanó tévképzetekre. A tanulók előzetes megoldási stratégiáinak feltárása és értékelése után beszéljük meg ezeket a tanulókkal (az osztállyal) is. Mutassunk rá, hogy a jó megoldási stratégiák hogyan használhatók egyszerű kémiai feladatok esetén. (Különösen fontos ez akkor, ha a feltárást nem kémiai feladatokkal végeztük.) Térjünk ki a hibás megoldási stratégiák és a felbukkant tévképzetek elemzésére is. (A hibás megoldási stratégiák és a tévképzetek feldolgozásának hatékony módszere lehet a kooperatív tanulás.) A helyes tanulói stratégiák adaptivitásának bemutatása után a feladatok megfelelő variálásával érhetjük el, hogy a tanulóknál kialakuljon egy új, a sajátjuknál nagyobb hatékonyságú megoldási módszer iránti igény. Ha lehet, az új megoldási módszerre próbáljuk rávezetni a tanulókat, amennyiben ez nem sikerül, csak akkor ismertessük mi. Az új megoldási stratégia megismerése után megfelelő feladatokon keresztül bizonyítsuk annak adaptivitását. Ezt követően a feladatok megfelelő variálásával próbáljuk meg elérni egy újabb megoldási stratégia iránti igényt. Az újabb megoldási módszer megismerése, adaptivitásának bizonyítása után tekintsük át az összes megismert megoldási módszert néhány jól megválasztott feladat megoldásán keresztül, mutassuk be használhatóságukat, egymást kiegészítő voltukat. Tanításunk akkor tekinthető sikeresnek, ha a tanulók a feladat jellegének megfelelően tudják változtatni megoldási módszerüket. A stratégiahasználatban is megfigyelhető a kezdők és a szakértők közötti különbség. A kezdők többnyire csak egy megoldási módszert ismernek, és annak felhasználásával akarják megoldani az adott problémakör valamennyi feladatát. Ezzel szemben a szakértők több megoldási módszert

ismernek, és ki tudják választani, hogy az adott feladat megoldására melyik módszer a legalkalmasabb.

Példaként tekintsük az ún. *meghatározó reagens* kiválasztásával kapcsolatos kémiai feladatokat (Tóth, 1999d; Tóth és Radnóti, 2009)! Amennyiben az egyirányú reakcióban résztvevő anyagok a sztöchiometrikustól eltérő arányban vannak jelen, akkor mindig lesz legalább egy olyan anyag, amely teljes mértékben átalakul. Ezt az anyagot nevezzük meghatározó reagensnek, mivel a sztöchiometriai számításokat csak ennek az anyagnak a mennyisége alapján végezhetjük el.

A meghatározó reagens kiválasztására négyféle eljárást ismerünk: a tényleges mólarány összehasonlítása a sztöchiometriai aránnyal, a feltételezéssel történő kiválasztás, kiválasztás az összes lehetőség figyelembevételével és a redukált anyagmennyiség alapján történő kiválasztás. Az első három módszer jól használható két anyag reakciója esetén, kettőnél több reagens esetén viszont a redukált anyagmennyiségek alapján lehet a legegyszerűbben és leggyorsabban megtalálni a meghatározó reagenst.

A tanulók előzetes stratégiáit a következő analóg feladatokon keresztül tárhatjuk fel:

- 1) Egy osztályban 10 fiú és 16 lány tanul. Az osztálynak 2 lányból és 1 fiúból álló csapatokat kell kiállítani egy versenyre. Hány csapatot tud indítani az osztály?
- 2) Mikuláscsomagokat kell összeállítanod. Egy csomaghoz a következőkre van szükség: 1 db mikulás zacskó, 1 db csoki mikulás, 5 db zselés szaloncukor, 5 db kókuszos szaloncukor, 10 szem mogyoró, 1 db narancs, 3 szál virgács. Rendelkezésedre áll: 10 db mikulás zacskó, 8 db csoki mikulás, 30 db zselés szaloncukor, 34 db kókuszos szaloncukor, 58 szem mogyoró, 9 db narancs és 16 szál virgács. Hány mikuláscsomagot tudsz összeállítani?

A megoldási stratégiák felmérése után a következő kémiai példákon fejleszthetjük, gyakoroltathatjuk a meghatározó reagens kiválasztását:

- 1) Hány mól szén-dioxid keletkezhet, ha 20,0 mol szén-monoxidot 6,00 mol oxigénnel reagáltatunk a következő reakcióegyenlet szerint: $2 \text{CO} + \text{O}_2 = 2 \text{CO}_2$?
- 2) 12,0 mol alumínium és 15 mol klórgáz reakciójában hány mól alumínium-klorid képződhet a következő reakcióegyenlet szerint: $2 \text{Al} + 3 \text{Cl}_2 = 2 \text{AlCl}_3$?

- 3) Hány gramm víz keletkezhet, ha 2,00 g hidrogéngázt 32,0 g oxigéngázzal reagáltatunk a következő reakcióegyenlet szerint: $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{H}_2\text{O}$?
- 4) 3,00-3,00 mol KOH-ot, Cr_2O_3 -ot és KNO_3 -ot mérünk ki és összekeverve olvadásig hevítjük. Ekkor a következő egyenlet szerinti reakció megy végbe:
 $4 \text{KOH} + \text{Cr}_2\text{O}_3 + 3 \text{KNO}_3 = 2 \text{K}_2\text{CrO}_4 + 3 \text{KNO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$.
 Hány mól vízgőz távozik el a reakció közben?
- 5) 100-100 g tömegű KOH-ot, MnO_2 -ot és KNO_3 -ot összekeverve olvadásig hevítjük. Ekkor a következő egyenlet szerinti reakció megy végbe:
 $2 \text{KOH} + \text{MnO}_2 + \text{KNO}_3 = \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.
 Hány gramm KNO_2 képződik?

Tapasztalni fogjuk a kontextus fontosságát. A tanulók többsége sikeresen oldja meg a hétköznapi problémát, viszont a legegyszerűbb, kémiai kontextusban megjelenő feladattal sem tud megbirkózni. Ilyenkor kell a tanári segítség. Mutassuk meg, hogy az a stratégia – noha többnyire csak próbálgatásról van szó –, ami jól működött a mindennapi probléma megoldása során, hogyan használható a kémiai feladat megoldására! Majd az adatok variálásával, a feladat nehezítésével próbáljuk kialakítani a tanulóknál az igényt valami jobb, nagyobb hatékonyságú stratégia iránt! És csak ez után vezessük rá őket – végső esetben mutassuk meg – valamelyiket a lehetséges megoldási algoritmusok közül! Figyeljünk a következő tévképzetekre is: „Több kiindulási anyag esetén a termék mennyiségét a reakcióegyenletben előrébb álló reaktáns mennyiségéből lehet kiszámolni.” „Mivel a kémiai átalakulásokra is igaz a tömegmegmaradás törvénye, ezért a termék tömegét mindig kiszámíthatjuk a kiindulási anyagok tömegének összegéből.” „A kémiai reakció során a kiindulási anyagok anyagmennyisége mindig megegyezik a termékek anyagmennyiségével.”

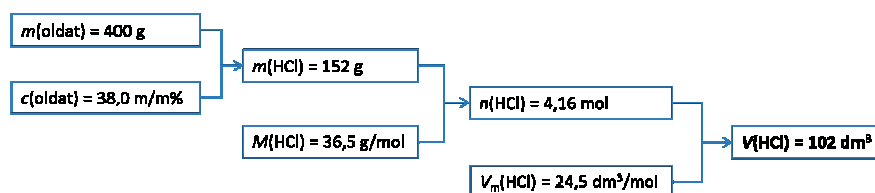
A változatosság elve

A változatosság elve egyrészt azt jelenti, hogy egy adott megoldási stratégia (pl. a próbálgatás), általános elv (pl. a tömegmegmaradás elve) használatát különböző típusú feladatok esetén gyakoroltatunk, másrészt azt is jelenti, hogy egy adott feladatnak megkeressük különböző megoldási variánsait. Ezzel is oldhatjuk a feladatmegoldás monotonitását, csök-

kenthetjük egy-egy megoldási algoritmus bemagolásának, mechanikus alkalmazásának veszélyét.

A korábbiakban már bemutatott megoldási háló segítségünkre lehet abban is, hogy a feladat adatbázisának változtatásával – ugyanazon feladattípusból – különböző feladatokat készíthessünk. A megoldási séma „végpontjai” közül bármelyikre rákérdezhetünk, amennyiben a többinek az értékét megadjuk. Például variánsok a korábban már tárgyalt feladatra:

Hány dm^3 standardállapotú ($25\text{ }^\circ\text{C}$ -os és standard nyomású) HCl-gázt kell vízben elnyeletni, ha 400 g $38,0\text{ m/m}\%$ -os sósavat akarunk előállítani?

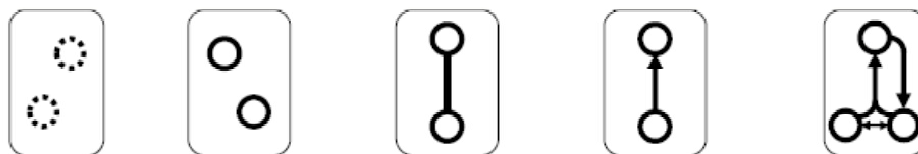


- Hány gramm $20,0\text{ m/m}\%$ -os sósav készíthető 250 dm^3 standardállapotú HCl-gáz vízben való oldásával?
- Hány $\text{m/m}\%$ -os sósavat kapunk, ha 150 dm^3 standardállapotú HCl-gázból 500 g oldatot készítünk?
- Adott hőmérsékleten és nyomáson mennyi a HCl-gáz moláris térfogata, ha 200 dm^3 -éből 600 g $40,0\text{ m/m}\%$ -os sósav készíthető?
- Mennyi annak a gáznak a moláris tömege, amelynek standardállapotú 219 dm^3 -éből 400 g , $38,0\text{ m/m}\%$ -os oldat készíthető?

A legfontosabb feladattípusok megoldási módszereiről, valamint a stratégiaváltás indukálásáról olvashatunk Tóth (2015) tanulmányában.

2.8. Ellenőrzés és értékelés

Számos tanulmány (pl. a *Chemistry Education Research and Practice* ingyenesen elérhető on-line folyóirat egy teljes száma – 2011. április, 2. szám, <http://rsc.li/1fDCiFg>) foglalkozik az ellenőrzés kérdésével a kémiában. Ebben a számban olvasható – többek között Bernholt és Parchmann (2011) közleménye, amelyben a szerzők a kémiai tudás komplexitásának leírására a következő ötszintű modellt javasolják (11. ábra):



11. ábra:

*A kémiai tudás komplexitásának öt szintje
(Bernholt és Parchmann, 2011).*

Első szint: A mindennapi tapasztalatok.

A tanuló képes leírni, elmondani mindennapi tapasztalatait és megfigyeléseit. Pl. Meg tudsz nevezni olyan mindennapi dolgokat, amelyek éghetőek?

Második szint: Tények.

Ismerje a fogalmakat, definíciókat, szabályokat. Pl. Sorold fel az égés feltételeit!

Harmadik szint: Folyamatok.

A tanuló képes – akár időrendi sorrendben - leírni jelenségeket és folyamatokat. Pl. Mi történik az éghető anyaggal az égés során?

Negyedik szint: Lineáris ok-okozati kapcsolat.

A tanuló képes megfigyelni, leírni és értelmezni lineáris ok-okozati kapcsolatokat. Meg tudja adni az ok-okozati kapcsolatokat „ha, akkor” típusú értelmezését is. Pl. Hogyan keletkezik a gyertya égésekor a korom?

Ötödik szint: Sokváltozós kapcsolatok.

A tanuló képes a sokváltozós kapcsolatok megfigyelésére, leírására és értelmezésére. Biztosan felismeri az ok-okozati kapcsolatokat, valamint az egyenes és fordított arányosságot a különböző változók között. Pl. Hogyan lehetne meghatározni az égés során képződő energia nagyságát?

Az ellenőrzés kapcsán többen – például Danili és Reid (2006) – felhívják a figyelmet arra, hogy a tanulói teljesítményt három fontos tényező befolyásolja:

- A feladat tartalma és megfogalmazása (például: számítás, magyarázat, grafikonszerkesztés).

- A feladat formája (például: egyszerű választás, nyílt végű, esszé).
- A tanuló pszichológiai állapota (például: munkamemória-kapacitása, kognitív jellemzői).

A tanulói válaszok értékelése is számos problémát vet fel. Közismert (pl. Mojzes, 1984:234), hogy a nyílt végű feladatok értékelése meglehetősen szubjektív. Hasonló szubjektivitást talált Tóth és Papp (1992) a kémiai számítási feladatok tanári értékelése esetén is. A zárt végű feladatok értékelése – látszólag – objektív, de két feladattípus esetén buktatókat rejt magában.

Az egyik, az ún. láncfeladatok értékelésének problémája. A 11. táblázat egy ilyen láncfeladat esetén kapott tanulói válaszokat – és az elvárt helyes választ – mutatja be. Melyik tanuló tudása ér többet a molekulák szerkezetével és alakjával kapcsolatban? Az (A) tanuló egyik választ sem „találta el”. Pedig – valójában – csak az első válasza hibás, hiszen, ha nincs nemkötő elektronpár az oxigénatomon, akkor a vízmolekula alakja valóban lineáris, és a molekula apoláris. Ezzel szemben a (B) tanulónak két válasza is jó. A válaszok mélyebb elemzése azonban azt mutatja, hogy igaz, hogy tudja, hogy a vízmolekulában a központi atomon két nemkötő elektronpár van, de fogalma sincs az elektronszerkezet és a molekulaalak összefüggéséről, valamint a molekulaalak és a polaritás összefüggéséről sem. Az ilyen feladatok értékelésére nincs igazán megbízható módszer. Egy megoldás lehetséges: ne használjunk láncfeladatokat az írásbeli számonkérés során.

Kérdés	Tanuló (A)	Tanuló (B)	Helyes válasz
A vízmolekulában a központi atomon található nemkötő elektronpárok száma	0	2	2
A vízmolekula alakja	lineáris	lineáris	V-alakú
A vízmolekula polaritása	apoláris	dipólus	dipólus
<i>Helyes találat</i>	<i>0</i>	<i>2</i>	

11. táblázat:

Példa a láncfeladatokkal kapcsolatos értékelési problémára

A másik gyakori probléma az ún. kiválasztásos feladatok esetén mérülhet fel. Ilyenek például a „válaszd ki a következőkből...”, „csoportosítsd a következőket...” vagy „írj példákat...” típusú feladatok. Ilyenkor az a probléma, hogy amennyiben csak a helyes válaszokat értékeljük, a hibásakat nem, akkor az a tanuló jár jól, aki gyakorlatilag mindent kiválaszt, mindent mindenhova beír, illetve mindenre sok példát ír. Zárt végű feladatok esetén (kiválasztás) viszonylag egyszerű a helyzet. Nem csak azt értékeljük, hogy hány jót választott ki, hanem azt is, hogy hány olyan van, amit nem választott ki a tanuló és nem is kellett volna kiválasztania. A nyílt végű feladatok esetén járható út a hibás válaszok számának levonása a jó válaszok számából.

A korábban már az 1.3.4.1. fejezetben részletesen tárgyalt összekapcsolt feleletválasztós tesztek nem csak diagnosztikai célra, hanem a formatív értékelésben is lehet használni.

A legújabb kutatások az on-line tesztelés alkalmazhatóságára irányulnak (lásd pl. Molnár és Magyar, 2015).

3. A kémiaoktatás kutatásának módszertani alapjai

Ebben a fejezetben röviden áttekintjük a kutatómódszertan alapjait, majd részletesebben foglalkozunk a viszonylag új területnek számító tudásszerkezet-vizsgálatokkal.

3.1. Kutatómódszertani alapok

3.1.1. A kémia szakmódszertan, mint tudomány

Tudomány-e a kémia szakmódszertan (kémia-didaktika, kémia tan-tárgy-pedagógia)? Amennyiben a tudományosság kritériumainak megfelelően műveljük, akkor igen.

A tudományosság kritériumai

Eybe és Schmidt (2001) a kémiaoktatás kutatásával kapcsolatos közlemények minőségi követelményei kapcsán a tudományosság három kritériumát fogalmazta meg:

1. A kutatás elméleti keretek között folyjék.
2. A kutatás tényeken alapuljon.
3. A kutatás általánosítható eredményekhez vezessen.

A tudományos megismerés és a mindennapi megismerés különbözőségei

A kétféle megismerés alapvetően négy dologban különbözik egymástól: a megfigyelés, a következtetés, az észlelés és az érvelés tudatosságában, ellenőrizhetőségében (Babbie, 2003).

Hétköznapi megfigyeléseink esetlegesen, rendszertelenek, többnyire nem tudatosak és az érzékelésen alapulnak. Számos példát lehetne hozni arra, hogy érzékszerveink mennyire becsaphatók, mennyire manipulálhatók. *A tudományos megfigyelés* tudatos, tervszerű, jól dokumentált tevékenység. Az emberi érzékelés mellett (olykor helyett) megfelelően kifejlesztett mérőeszközöket használunk, és így küszöbölhetjük ki a megfigyelés pontatlanságából adódó hibát.

Mind a mindennapi, mind a tudományos megismerésnek fontos lépése az összefüggések keresése a megfigyelt dolgok között, a következtetés. A hétköznapi következtetéseinkre jellemző a *túláltalánosítás*, azaz amikor egy vagy néhány megfigyelés alapján vonunk le következtetéseket. A

tudományos megismerés során kétféle módon kerülhetjük el a túláltalánosítás veszélyét. Az egyik lehetőség, hogy *kellően nagyszámú és reprezentatív* (a populációra – amelyből a minta származik – jellemző összetételű) mintán végzett *megfigyelések*. A másik fontos módszer a túláltalánosítás kivédésére a vizsgálat *megisméltése*.

Alapvetően különbözik a mindennapi megismerésben és a tudományos megismerésben az észlelés, a levont következtetések érvényességének ellenőrzése. A mindennapi megismerés során a túláltalánosítással nyert következtetések esetén nagyon gyakori, hogy csak azokat az eseményeket, helyzeteket vesszük észre, melyek összhangban vannak a túláltalánosítással nyert összefüggéssel, és figyelmen kívül hagyjuk a másféle tapasztalatokat. Ezt nevezzük *szelektív észlelésnek*. A tudományos megismerés során egyrészt előre *megtervezzük*, hogy hány és milyen megfigyelés alapján akarunk majd következtetéseket levonni, másrészt *hipotéziseket* állítunk fel a várható összefüggésre vonatkozóan. A hipotézisek olyan kijelentések, amelyek a kutató feltételezéseit fogalmazzák meg a vizsgált jelenséggel kapcsolatban. A vizsgálat eredménye a hipotézist vagy alátámasztja, vagy cáfolja.

A túláltalánosítással nyert következtetéseinkhez való ragaszkodás másik formája a szelektív észlelésen kívül az *illogikus gondolkodás*. Amennyiben megfigyeléseink ellentmondanak korábbi következtetéseinknek, a hétköznapi megismerésben gyakran azzal intézzük el a dolgot, hogy „a kivétel erősíti a szabályt”. A tudományos érvelésben nincs helye az illogikus gondolkodásnak, a *logikus érvelésnek* megvannak a maga szabályai és a tudósok azokat tudatosan alkalmazzák.

A kémiai kutatás és a kémiaoktatás kutatásának módszertani különbsége

Világosan látnunk kell, hogy a kémiaoktatás kutatása és a kémia kutatása között lényeges különbségek vannak. Ez a különbség megnyilvánul a vizsgált jelenség komplexitásában, megfigyelhetőségében, megismételhetőségében és mérhetőségében, a körülmények befolyásoló hatásában, a kutatás módszereiben és eszközeiben, valamint etikai vonatkozásaiban is. A kémiaoktatás kutatása (szakmódszertani kutatás) – módszereit tekintve – a társadalomtudományi kutatásokhoz hasonló. Ez különösen nagy problémát okozhat a természettudományok kutatási módszereinek nevelkedett kémia-, fizika-, biológia- és matematikatanároknak.

A kémiaoktatás kutatásának célja

A kémiaoktatás kutatásának célját – hasonlóan Falus Ivánnak (2004) a pedagógiai kutatás céljára adott megfogalmazásához – a következőképpen adhatjuk meg: *A kémiaoktatás kutatásának célja új ismeretek feltárásával, pontosabbá tételével, elmélyítésével, a meglévő ismeretek rendszerezésével hozzájárulni a kémia oktatásának, az oktatásán keresztül megvalósuló nevelésnek az eredményesebbé tételéhez.* A cél értelmezésénél azonban látnunk kell, hogy a kémiaoktatás kutatása általában túlmutat a szűkebben vett tantárgyhoz kapcsolódó oktatási és nevelési kérdéseken. Eredményei mind a rokon tantárgy-pedagógiák (szakmódszertanok) számára, mind az általános didaktika, a neveléstudomány és a pedagógiai pszichológia számára is hasznosak lehetnek.

A kémiaoktatás kutatásának jellege

Ahogy azt már korábban jeleztük, a kémiaoktatás kutatása sokkal több hasonlóságot mutat a társadalomtudományi kutatásokhoz, mint a természettudományi kutatásokhoz. A természettudományoktól való különbözőség megmutatkozik a vizsgált jelenségek komplexitásában, megfigyelhetőségében, megismételhetőségében és mérhetőségében is. Egy tanuló – pláne tanulócsoporthoz – tudásszerkezete sokkal összetettebb, mint egy lombikban lévő oldat vagy akár egy virág felépítése. A természettudományi kutatások túlnyomó többségében megfelelő műszerek segítségével gyűjtjük az információkat a vizsgált rendszerről. A tantárgy-pedagógiai kutatásokban mérőeszközökön általában kérdőíveket értünk. A természettudományos vizsgálat jelenségei általában determinisztikusak, míg a tantárgy-pedagógiában – a társadalomtudományokhoz hasonlóan – többnyire valószínűségi folyamatokkal találkozhatunk. Ellentétben a természettudományi megfigyelésekkel, kísérletekkel, a tantárgy-pedagógiai megfigyelések, kísérletek lényegében megismételhetetlenek, hiszen alanyai – a tanulók – állandóan változnak. Bár mérni tudunk bármit, ami létezik, könnyű belátni, hogy a tömeget, a hosszúságot vagy akár a koncentrációt is sokkal könnyebb megmérni, mint egy tanuló tudásszintjét, már csak azért is, mert a természettudományokban az a tulajdonság, amit mérni szeretnénk, sokkal jobban definiált, mint a tantárgy-pedagógiában, vagy általában a társadalomtudományban.

A kémiaoktatás kutatásának etikai vonatkozásai

A tudományos kutatásnak alapvető etikai törvényei vannak. Az egyik ilyen, hogy tilos az adatok és az eredmények tudatos meghamisítása. A kutató is ember, és számos olyan esetet jegyeztek már le a tudomány történetében, amikor a kutató annyira makacsul hitt elképzeléseiben, hogy még mérési eredményeit is képes volt meghamisítani, csak hogy kutatása az általa elvárt „eredményhez” vezessen (Beck, 1977). A másik etikai alaptörvény az, hogy tilos mások munkáját „ellopni”, részben vagy egészben sajátunkként feltüntetni (plagizálás). A plagizálás kiszűrése ma már sokkal egyszerűbb, mint néhány évtizede volt, hála a világhálónak és a számítógépes kereső- és szövegelemző programoknak.

Ezekhez az „alaptörvényekhez” társul – minden olyan tudományos kutatás esetében, melynek vizsgálódási tárgya élőlény (pl. orvostudomány, ökológia, társadalomtudományok) –, egy további etikai kérdés: a kutatás résztvevőivel – tantárgy-pedagógiai kutatások esetén a kutatásba bevont tanulókkal, pedagógusokkal – szembeni kötelezettség. Ez jelenti egyrészt, hogy maximálisan tekintettel kell lenni a kutatásba bevont pedagógusok és tanulók személyiségi jogaira (megfelelő tájékoztatás, önkéntes részvétel, anonimitás, bizonyos esetekben írásbeli nyilatkozat stb.). Természetesen, ha mondjuk egy iskolai témazáró dolgozatot szeretnénk valamilyen szempontból elemezni, ahhoz nem szükséges a tanulók beleegyezése, sőt még az előzetes tájékoztatásuk sem. Az anonimitásra azonban ekkor is figyelniük kell. Ha a kutatás során gyerekekről fénykép- vagy videofelvételeket akarunk készíteni, és ezt olyan szándékkal tesszük, hogy alkalmasint nyilvánosságra is hozzuk, ehhez mindenképpen be kell szerezniük a szülők beleegyező nyilatkozatát.

Fokozott odafigyelést és átgondolást igényelnek a pedagógiai kísérletek, például egy új tankönyv kipróbálása. Ilyenkor messzemenően mérlegelniük kell, hogy a várható előnyök meghaladják-e az esetleges hátrányokat. Egy tankönyv kipróbálásába tehát csak akkor szabad belevágni, ha alapos okunk van feltételezni, hogy az új tankönyv legalább annyira hasznos lesz a tanulók számára, mint a régi.

Általában minden, az iskolában folyó pedagógiai kutatást – legyen az vizsgálat vagy kísérlet – csak az iskolavezetés (igazgató) tudomásával szabad végezni.

3.1.2. A kémiaoktatás kutatásának folyamata

A kémiaoktatás kutatásának folyamata olyan, mint általában a tudományos kutatás folyamata. Fontosabb lépései a következők:

1. Témaválasztás.
2. A szakirodalom feldolgozása.
3. A kutatási cél megfogalmazása – hipotézisalkotás.
4. A módszerek és eszközök kiválasztása.
5. A minta kiválasztása.
6. A kutatás lebonyolítása.
7. Az adatok elemzése.
8. Az eredmények publikálása.

Terjedelmi okokból a következőkben csak a szakmódszertani kutatás néhány lépését tárgyaljuk.

A szakirodalom feldolgozása

Kezdő kutatók gyakran esnek abba a hibába, hogy a releváns szakirodalom ismerete nélkül végeznek kutatást, „fedezik fel a spanyolviaszt”. Minden tudományterületnek, így a kémia szakmódszertannak is vannak nemzetközileg jegyzett tudományos folyóiratai (Chemistry Education Research and Practice, Journal of Chemical Education, International Journal of Science Education, Journal of Science Education stb.)¹. Érdemes ezeket olvasgatni – bár az említettek közül csak az első szabadon hozzáférhető, de sokszor a címek, összefoglalók is rendkívül informatívak tudnak lenni – nem csak azért, hogy a szűkebben vett kutatásunk terén mi minden történt már a világban, hanem azért is, hogy képet alkothassunk a szakmódszertani kutatások aktuális irányzatairól. Ilyen cikkeket találhatunk például a Magyar Pedagógia és az Iskolakultúra, interneten is szabadon elérhető tudományos folyóiratokban.²

A szakirodalom feldolgozásának alapvetően kétféle módszere van: a folyamatos követés és a visszatekintő (retrospektív) irodalmazás. *Folya-*

¹ <http://pubs.rsc.org/en/journals/journalissues/rp#!recentarticles&all>
<http://pubs.acs.org/journal/jceda8>
<http://www.tandfonline.com/loi/tsed20#.VOMT7yxGSjY>
<http://www.accefyn.org.co/rec/portal/>

² <http://www.magyarpedagogia.hu/>
<http://www.iskolakultura.hu/>

matos követésről akkor beszélünk, ha egy adott kutatási témában több éve tevékenykedő kutató folyamatosan figyeli a téma szakirodalmát. Kezdő kutatók esetén – vagy új kutatási téma indításakor – a *retrospektív irodalmazást* kell használnunk. Azaz minél több, a témában korábban megjelent tudományos publikációt felderíteni és feldolgozni. Csak így tudjuk elkerülni, hogy kutatásunk eredménye ne triviális, a szakemberek által már jól ismert tény, összefüggés vagy törvényszerűség legyen. Így tudjuk kutatásunkat elhelyezni a nemzetközi kutatások körében, és így kaphatunk remek ötleteket mind a kutatás megvalósításához, mind az eredmények értékeléséhez. Fontos megjegyezni, hogy számos kutatási ötletet és kutatás-módszertani megoldást lehet kapni más tantárgy-pedagógiai (fizikai, biológiai, matematikai, nyelvészeti stb.) kutatásokból is.

A szakirodalom feldolgozásának technikája lehet ún. naplózó kivonat, illetve cédulázás. (Ezek az elnevezések még a papíralapú irodalmazás korszakából maradtak ránk, de – értelemszerűen – alkalmazhatók elektronikus környezetben is.) A *naplózó kivonatot* néhány forrásmunka esetén használjuk. Lényegében kijegyzeteljük az adott forrást, és a jegyzeteket saját megjegyzéseinkkel látjuk el. Nagyon nehéz ma már olyan kutatási témát elképzelni, amelynek csak néhány szakirodalmi forrása lenne. Ezért sokkal gyakoribb az ún. cédulázás. A *cédulázás* során tematikus jegyzeteket készítünk a feldolgozott szakirodalomból, jól elkülönítve a szó szerinti idézeteket, a tartalmi idézeteket és a saját megjegyzéseinket. Mindkét irodalmazási technika esetén fel kell jegyezni a forrásmű bibliográfiai adatait (szerző, cím, megjelenés helye, évszáma, szó szerinti idézet esetén pontos oldalszám, internetes forrás esetén az elérhetőség és az utolsó látogatás időpontja).

A szakirodalmi feldolgozásról részletesebben olvashatunk a Falus Iván által szerkesztett kutatás-módszertani tankönyvben (Falus, 2004).

A továbbiakban tárgyalásunkat a szakmódszertani kutatások többségére jellemző ún. empirikus kutatásokra szűkítjük.

Az empirikus kutatás

Az empirikus kutatás során megkülönböztetünk vizsgálatot és kísérletet. Az empirikus *vizsgálat* során nem mi változtatjuk a ráhatást. Például empirikus vizsgálat a különböző korú, vagy különböző iskolatípusban tanuló diákok kémiatudásának vizsgálata. Az empirikus (vagy pedagógiai) *kísérlet* során mi változtatjuk a ráhatást, és ezekben az esetekben ké-

pezhető kontrollcsoport is. Ilyen kísérlet például egy új tankönyv vagy egy új tanítási módszer kipróbálása, hatásvizsgálata. (Az empirikus vizsgálatról olvashatunk Falus és Ollé könyvében (2008) is.)

Az empirikus kutatás egyik alapkérdése az *alapsokaság (populáció)* és a *minta* viszonyának kérdése. Az alapsokaság (minta) azokat a személyeket, tárgyakat, jelenségeket jelenti, akikre vagy amelyekre vonatkozóan az empirikus kutatás eredményeiből következtetéseket kívánunk levonni. A minta az alapsokaság általunk kiválasztott része. Például alapsokaság a kémiát gimnáziumban tanuló 9. osztályos tanulók csoportja. Az a néhány gimnáziumi 9. osztály pedig, melyek bevonásával az empirikus kutatást végezzük, az ún. minta. A mintán kapott eredmények csak abban az esetben általánosíthatóak az egész populációra (alapsokaságra), ha a minta reprezentálja (leképezi) azt. Egy mintát akkor tekintünk *reprezentatívnak*, ha a kutatás szempontjából meghatározó tényezők (pl. nemek aránya, szülő iskolai végzettsége, az iskola kisvárosi vagy nagyvárosi jellege, a tanulók előképzettsége stb.) tekintetében ugyanolyan összetételű, mint az alapsokaság. Ezt leginkább a véletlenszerű mintavétellel tudjuk biztosítani, amelynek a gyakorlati megvalósítása azonban nagyon nehéz. A tantárgypedagógiai kutatások többsége az ún. nem-valószínűségi (nem-reprezentatív) mintavétellel végzett kutatások közé tartozik, azaz eredményei szigorúan véve csak a vizsgált mintára érvényesek.

Az empirikus kutatás leggyakoribb *eszközei* a kérdőívek, az interjúk és a megfigyelés. A kérdőívek – legyenek azok papíralapúak vagy online kérdőívek – zárt- és nyíltvégű kérdéseket egyaránt tartalmazhatnak. Az interjúk lehetnek nyíltak (pl. egy témakörrel beszélgetünk diákokkal vagy tanárokkal), félig strukturáltak (pl. a kiválasztott témakörrel szóló beszélgetés során előre elkészített kérdéseket is teszünk fel) vagy strukturáltak (a beszélgetés során szigorúan csak az előre megtervezett kérdéseket tesszük fel meghatározott sorrendben a válasz tartalmától függetlenül). A megfigyelés során bizonyos szempontok alapján figyelünk meg eseményeket (pl. egy tanítási órát) és jegyezzük fel a történéseket (pl. hány és milyen jellegű kérdés hangzott el stb.).

Kísérleti elrendezések

Egy pedagógiai kísérlet eredményének megbízhatóságát, az alapsokaságra (populációra) kiterjesztett következtetéseit erősíteni tudjuk a megfelelő kísérleti elrendezés megválasztásával. Az ún. álkísérletek tudomá-

nyos szempontból hiteltelenek. Ilyenek például az egyetlen mérést (pl. csak utómérést) tartalmazó kísérletek, az egycsoportos, elő- és utómérési kísérletek (nincs kontrollcsoport!), valamint a kétcsoportos utómérési kísérletek, pl. két osztály felmérése eredményeinek összehasonlítása (nincs biztosítva a véletlenszerű mintavétel!). A félempirikus kísérleti elrendezések eredményei már alkalmasak lehetnek megbízható következtetések levonására. Ilyen a megszakításos időbeli követés, amikor a minta kis elemszáma nem teszi lehetővé kontrollcsoport létrehozását, ezért csak kísérleti csoportunk van. Ilyenkor a kísérlet előtt és a kísérlet után is időben elhúzódva többször mérünk, és az eredmények összehasonlítása jelzi, hogy a kísérletnek van-e a természetes érzéshez képest kimutatható hatása. Másik lehetőség – pl. egy új tanítási módszer kipróbálásakor – az, hogy a tananyag egyes témaköreit felváltva a hagyományos és a kísérleti módszerrel tanítjuk, és minden témakör után mérjük a hatást. Ilyenkor a hagyományos tanítás után mért hatás és a kísérleti módszer után mért hatás összehasonlításából vonhatunk le többé-kevésbé megbízható információkat a kísérleti módszer eredményességére.

Megbízhatóság szempontjából a valódi empirikus kísérleti elrendezések a legjobbak. A *randomizált kétcsoportos utómérési kísérlet* megbízhatósága attól függ, mennyire sikerült biztosítani a kontrollcsoport és a kísérleti csoport hasonló összetételét. Osztályszinten ezt a problémát úgy szokták megoldani, hogy a két vagy több osztály tanulóit „összekeverik”, és véletlenszerű mintavétellel alakítják ki a kísérleti csoporto(ka)t és a kontrollcsoport(ka)t. Kis elemszám esetén – sajnos – ez sem ad megbízható eredményt. A pedagógiai kutatásban leggyakrabban használt és leginkább elfogadott kísérleti elrendezés a *kétcsoportos, elő- és utómérési kísérlet*. Ilyenkor – amennyiben a minta elemszáma ezt lehetővé teszi – a kontroll- vagy a kísérleti csoport utólagos összetételét változtathatjuk meg úgy, hogy az előmérés eredménye a két csoportban közel azonos legyen (ne legyen közöttük szignifikáns különbség). Ennek a kísérleti elrendezésnek egyetlen hibája, hogy az előmérés befolyásolhatja az utómérés eredményét.

Adatbázis-készítés. „Adatbázisnak nevezzük azt a rendezett információhalmazt, amelyben a vizsgált személyekre vonatkozó elemi információk változók szerinti rendezett formában állnak rendelkezésünkre.” (Falus és Ollé, 2008: 71.) Az adatbázis-készítéshez leggyakrabban az Excel

programot vagy az – elsősorban a társadalomtudományi kutatások számára kifejlesztett – SPSS programot szoktuk használni.

A pedagógiai kísérletek során nyert adatokat három csoportba sorolhatjuk. *Intervallumskála-adatokról* beszélünk minden olyan adat esetén, amelyeket egymással összeadhatunk, egymásból kivonhatunk és átlagolhatunk. Ilyen például egy felmérő dolgozat pontszáma. Az *ordinális, vagy rangskálán* mért adatokkal általában nem végezhetjük el az előbbi számtani műveleteket. Az ilyen skálák gyakori típusa az ún. Likert-skála. Ilyenkor rangsort kell felállítanunk bizonyos megállapításokkal kapcsolatban (pl. nem tetszik – teszük – nagyon tetszik; soha – ritkán – olykor – gyakran – mindig stb.), és azt egy három-, négy-, öt- vagy hétfokú skálán jelölni. Az oktatásban elterjedten használt ötfokú értékelés is ebbe a kategóriába tartozik. (Megjegyezzük, hogy a Likert-skálán kapott adatokat – elvileg – nem lehet átlagolni, a szakirodalomban mégis gyakran találkozunk ezzel az adatredukciós eljárással. Ez megtehető akkor, ha a Likert-skálán mért válaszok eloszlása követi a normális eloszlást.) Az adatok harmadik csoportját képezik a *nominális vagy megállapítható* adatok. Ilyen lehet például a válaszadó neme, legmagasabb iskolai végzettsége, vagy az, hogy az adott tantárgyból (pl. kémiából) érettségizett-e vagy sem. A nominális adatokkal szintén nem lehet a már említett műveleteket (összeadás, kivonás, átlagolás) elvégezni. Mind az intervallumskálán, mind a nominális adatok esetén gyakran használjuk az ún. dichotóm-skálát. Ebben az esetben a skála kétféle értéket vehet fel: 0 (pl. hibás válasz, nem érettségizett kémiából stb.), vagy 1 (jó válasz, érettségizett kémiából stb.).

A mérőeszköz standardizálása

Triviális, hogy a kémiai laboratóriumokban használt mérőműszereket használat előtt hitelesíteni (kalibrálni) kell. Valami hasonlót kell tennünk az empirikus pedagógiai kutatáshoz kidolgozott mérőeszközökkel (papíralapú vagy akár on-line kérdőívekkel, feladatlapokkal, tesztekkel) is, függetlenül attól, hogy mi fejlesztettük ki vagy mások „jól bevált” mérőeszközét vettük át. Minden mérőeszköznek három ún. jóságkritériuma van.

Az első az *objektivitás*, azaz, hogy a mérőeszközzel kapott válaszok értékelése mennyire tekinthető az értékelést végző személyétől függetlennek. Objektívek a zártvégű kérdéseket tartalmazó feladatok, ugyanakkor számos tanulmány (például: Tóth, 1994) bizonyítja, hogy a nyílt végű

kérdések (esszék, problémafeladatok) válaszainak értékelése bizony egyáltalán nem tekinthető objektívnek.

Az *érvényesség (validitás)* megállapítása általában a vizsgált témakörben (pl. középiskolai kémiaoktatásban), valamint a pedagógiai kutatásokban is járatos szakértők segítségével történik. Amennyiben a szakértők szerint a mérőeszköz egésze és annak minden részkérdése („iteme”) alkalmas a megcélzott terület vizsgálatára, akkor a mérőeszközünk érvényesnek (validnak) tekinthető. Nem tekinthető érvényesnek például egy olyan kérdés (feladat), melynek megválaszolására a tanulók még nem lehetnek felkészülve (pl. elektrolízissel kapcsolatos számítás, vagy a Markovnyikov szabály alkalmazására vonatkozó kérdés általános iskolások vagy szakiskolában tanulók esetében).

A *megbízhatóság (reliabilitás)* azt mutatja meg, hogy – a vizsgált minta esetén – hogyan mér a mérőeszközünk. Ennek számszerű kifejezése a reliabilitásmutató (értéke 0 és 1 között változhat), melyet vagy az ún. tesztfelezéses eljárással, vagy – gyakrabban – az ún. Cronbach-féle alfa-val szoktak meghatározni, illetve megadni. A tesztfelezéses eljárás során azt vizsgáljuk, hogy mennyi a korreláció (r) a teszt páratlan és páros számú itemei között. A reliabilitásmutató (r_{tt}) számítása a következő képletel történik:

$$r_{tt} = \frac{2r}{1+r}$$

A Cronbach-féle alfa számítása:

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

ahol n : az itemek száma, s_i : az egyes itemek szórása, s_t : a teljes teszt (mérőeszköz) szórása.

Egy mérőeszköz általában akkor tekinthető jónak, ha a reliabilitásmutatója 0,8 vagy annál nagyobb. Gyakran előfordul, hogy a mérőeszköz reliabilitását növelni lehet egy-két olyan item kihagyásával, amely valamilyen oknál fogva nem jól mér.

Az eredmények statisztikai elemzése

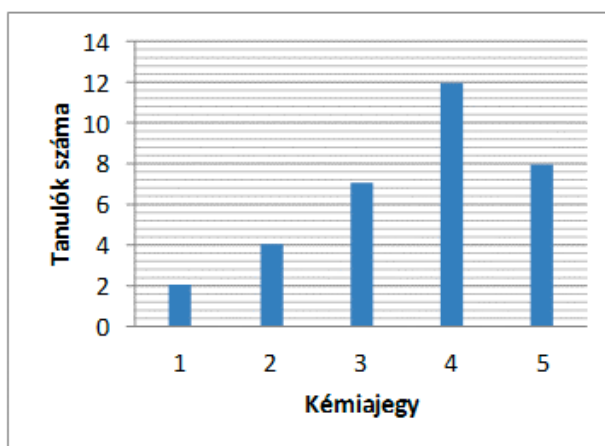
A mérés során kapott adatok, eredmények statisztikai elemzése általában három nagy csoportba sorolható: leíró statisztikai elemzések, összefüggés-vizsgálatok és különbözőségvizsgálatok.

A *leíró statisztikai elemzések* során a mintán kapott adatokat tesszük áttekinthetőbbé. A gyakorisági (leggyakrabban abszolút vagy relatív gyakorisági) eloszlásokat vagy táblázattal (kontingencia-táblázat), vagy grafikonnal (hisztogrammal) szokás megadni. Példaként egy osztály kémiajegyeinek (abszolút) eloszlását szemlélteti a 12. táblázat, illetve a 12. ábra:

Kémiajegy	Tanulók száma
1 (elégtelen)	2
2 (elégséges)	4
3 (közepes)	7
4 (jó)	12
5 (jeles)	8

12. táblázat:

Példa kontingencia-táblázatra



12. ábra:

Példa hisztogramra

A leíró statisztika következő fontos lépése a középérték képzése. Ilyenkor a nyers adatokat – a könnyebb kezelhetőség, összehasonlítható-

ság, szemléletesség miatt – egyetlen adatra redukáljuk. Háromféle középértéket különböztetünk meg: a módusz a leggyakoribb érték (példánkban a 4-es kémiajegy), a medián az az érték, amelynél az adatok legfeljebb 50%-a kisebb, és legfeljebb 50%-a nagyobb (példánkban szintén a 4-es), és az átlag vagy számtani közép (példánkban: 3,61). (Megjegyezzük, hogy az átlag különösen érzékeny az extrém értékekre!) Az intervallumskálán mért adatok esetén mind a három középértéket, a rangskálán mért adatok esetén csak a móduszt és a mediánt, a nominális változók esetén csak a móduszt szabad használni.

Amint már jeleztük a középértékképzés szükségképpen információvesztéssel jár. Két, nagyon eltérő eloszlást mutató minta esetén is kaphatunk egyező középértéket. Ennek a problémának az „enyhítésére” szoktuk megadni a középértéktől való eltérés mértékét, a szóródást. A leggyakrabban használt szóródási mérőszámok: az interkvartilis félterjedelem, a variancia, a szórás és a relatív szórás. Itt most csak a szórást és a relatív szórást mutatjuk be. A szórás nagyon jól használható hasonló átlagú minták szóródásának („homogenitásának”) összehasonlítására. Számítása a következő képlettel történik:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - x_i)^2}{n-1}}$$

ahol x az átlag, x_i a minta i -edik tagjának értéke, n a minta elemszáma. Példánkban $s = 1,17$.

A relatív szórás a szórás (s) és az átlag (x) hányadosa. Esetünkben: 0,325, azaz 32,5%.

Az *összefüggés-vizsgálatok* során két vagy több azonos típusú(!) változó közötti kapcsolatot tárunk fel egy adott minta esetében (pl. van-e összefüggés a tanulók matematikából elért eredménye és kémiából elért eredménye között). Legegyszerűbb esete a korrelációs számítás. A vizsgált változók közötti összefüggés erősségét a korrelációs együtthatóval (r) szoktuk jellemezni. Ennek előjele az összefüggés típusára, abszolút értéke (0-tól 1-ig terjedően) a két vizsgált változó közötti összefüggés erősségére utal. Amennyiben arra is kíváncsiak vagyunk, hogy ez az összefüggés mennyiben jellemzi az alapsokaságot is, vagyis mennyire nem a véletlen mintavétel következménye, akkor meg kell adnunk a korrelációs együttható szignifikanciaszintjét (valószínűségi szintjét) is. A szignifikanciaszint

0 és 1 között változhat ($0 \leq p \leq 1$). A pedagógiai kutatásokban általában akkor beszélünk szignifikáns összefüggésről (vagy különbözőségről), ha a $p \leq 0,05$. Ez – szemléletesen – azt jelenti, hogy száz mintavétel esetében legfeljebb 5 esetben találnánk a kapott összefüggéstől (korrelációs együtt-hatótól) eltérő értéket. Az összefüggés-vizsgálatok részletes leírása, Excel, illetve SPSS programmal történő végrehajtása megtalálható Falus és Ollé könyveiben (2000; 2008) is.

A *különbözőségvizsgálatok* segítségével meg tudjuk mondani, hogy két vagy több minta között van-e jelentős különbség egy adott változó tekintetében (pl. van-e különbség két osztály témazáró dolgozatának eredménye között). (Ha a különbözőségvizsgálatot szignifikancia-vizsgálattal is kiegészítjük, akkor a két minta által reprezentált alapsokaságra vonatkozóan is tudunk következtetéseket levonni.) Intervallumskálán értelmezett adatok esetén gyakran alkalmazzuk az egymintás *t*-próbát (pl. ugyanazon osztály kémiából elért félévi és évvégi eredményének összehasonlítása), a kétmintás *t*-próbát (pl. két osztály évvégi eredményének összehasonlítása), valamint a varianciaanalízist (pl. egy gimnázium négy különböző évfolyama tanulmányi eredményének összehasonlítása). Ordális és megállapítható adatok esetén pedig gyakran használt statisztikai eljárás az ún. *khi*-négyzet-próba. Ezek részletes leírása, Excel, illetve SPSS programmal történő végrehajtása megtalálható Falus és Ollé már idézett könyveiben (2000, 2008) is.

3.1.3. A kutatási eredmények publikálása

A tudományos munka elengedhetetlen része az eredmények publikálása. Az, hogy mi számít tudományos publikációnak, tudományterületenként különbözhet. Magyarországon a legtöbb tudományos műhelyben a Magyar Akkreditációs Bizottság (MAB) 2010-es meghatározását alkalmazzák.³ Eszerint:

³ Útmutató doktori iskola létesítési beadványához. http://www.mab.hu/web/index.php?option=com_content&view=article&id=440&Itemid=942&lang=hu Utolsó letöltés ideje: 2014. december 30.

„Tudományos publikációként elfogadható az olyan nyomtatott és/vagy elektronikus közlemény (folyóirat, egyetemi/főiskolai tankönyv, szakkönyv, tudományos monográfia, könyvrészlet, fordítás ókori klasszikus nyelvből stb.), amely:

- a) a szerző saját kutatási eredményeit mutatja be (könyv esetén ilyenekre tételesen is hivatkozik),
- b) pontos szakirodalmi hivatkozásokat tartalmaz,
- c) ISBN vagy ISSN számmal ellátott,
- d) lektorált,
- e) referált (közismert adatbázisban fellelhető),
- f) a tudomány/művészeti ág függvényében impakt faktoros,
- g) szakmai kiadványban vagy kiadványként jelent meg, s ez a kiadvány
 - a. nemzetközileg vagy legalább országosan jegyzett kiadónál,
 - b. lehetőleg szakmai körökben elterjedt idegen nyelven,
 - c. jelentős közkönyvtárakban fellelhető és hozzáférhető,
 - d. megrendelhető vagy megvásárolható.”

„Tudományos publikációként nem fogadhatók el a következők:

- napilapban vagy nem szakmai hetilapban megjelent írás (akkor sem, ha a témája szakmai jellegű),
- saját kiadásban megjelentetett mű (ha az sem nyelvileg, sem szakmailag nem lektorált),
- egyetemi, főiskolai jegyzet, segédanyag, handout, példatár, kompiláció, szerkesztés, szöveggondozás stb.
- rövid (egyoldalas) írás konferencia kiadványban vagy poszteren,
- (könyv)fordítás, kivéve az ókori klasszikusok fordítását szöveggondozással,
- recenzió (könyvismertetés) vagy kritika (kivéve a hosszabb műelemzést),
- pályázat keretében vagy megrendelésre készített kutatási jelentés,
- szakdolgozat, diplomamunka, disszertáció (dr.univ., PhD, DLA, CSc, DSc, székfoglaló),
- egyéb kézirat-jellegű értekezés, írás,
- tudománynépszerűsítő írás (pl. *Élet és Tudomány*-ban),
- nem kutatási célú és igényű interjú (sem riporterként, sem interjúalanyként),
- még meg nem jelent (tervezett), vagy közlésre még el nem fogadott írás.”

A MAB állásfoglalásában megtaláljuk néhány fontos fogalom meghatározását is. Eszerint: *folyóirat* a „rendszeresen, évente tipikusan legalább négyszer (de mindenképpen legalább kétszer), a szóban forgó periodika számára írt cikkekkkel megjelenő, kötet számmal jelölt kiadvány”. Ugyancsak itt olvashatjuk a „lektorált” és a „referált” publikáció közötti különbséget, mely szerint *lektorált* (peer reviewed, refereed) az a publikáció, amelyet „megjelenése előtt független lektor(ok) véleményezte(ék). A kivonat alapján történt konferencia-előadás elfogadása és konferencia-kiadványban megjelentetése nem jelent lektorálást.” Ezzel szemben *referált* (referenced) publikációról beszélünk, ha „a jelölt műve (tehát a könyvfejezetek kivételével minden más mű) a jelölt neve szerint megjelenik egy kereshető adatbázisban (pl. Web of Science, Science Citation Index, Scopus, Engineering Index stb.), vagy egy referáló folyóiratban.”

A publikálás során lehetőleg törekedni kell arra, hogy közleményünk eleget tegyen a tudományos publikációkkal szemben a MAB által támasztott követelményeknek.

A tudományos előadás és poszter

A tudományos konferenciák remek lehetőséget teremtenek egyrészt a hasonló témakörben dolgozó kutatók személyes találkozására, másrészt egy folyó-, vagy éppen lezárás alatt álló kutatás eredményeinek bemutatására, megvitatására. Milyen munkaformák jellemzik a konferenciákat? A plenáris előadások során általában egy-egy nagyobb terület eredményeit ismerhetjük meg a szakterület kiemelkedő szakemberének előadásában. A plenáris előadókat általában a konferencia tudományos bizottságának javaslata alapján a szervező bizottság kéri fel. A szekciókban hallhatjuk azokat az előadásokat, amelyeket szerzőik előadásra bejelentettek, és a tudományos bizottság azt – többnyire egy előzsűrizést követően – bemutatásra alkalmasnak találta. A tudományos eredmények írásos („plakátszerű”) bemutatására a poszterszekcióban van lehetőség. A poszterszekció lebonyolítása konferenciánként változhat. Van, ahol egy moderátor összegzi, értékeli a bemutatott posztereket, van, ahol a szerzőknek kell egy rövid (pár perces) szóbeli bemutatást tartani, és van olyan is, ahol csak annyit kérnek a szerzőktől, hogy meghatározott időben álljanak poszterük mellé, és fogadják az érdeklődőket. A „workshopok” (műhelyfoglalkozások) célja nem egyszerűen a bemutatás, hanem egy-egy új eredmény, módszer megtanítása, elsajátíttatása is. Milyen konferenciák jöhetnek

szóba egy kémia tantárgy-pedagógiai kutatással foglalkozó szakember számára? Elsősorban a kémia tantárgy-pedagógia nemzetközi konferenciái (European Conference on Research in Chemistry Education; International Conference on Chemistry Education; European Variety in Chemistry Education; European Conference of Chemistry Teachers). Számos olyan konferencia van, amelynek programjában oktatással – így a kémia oktatásával is – kapcsolatos kutatások szerepelnek (Országos Neveléstudományi Konferencia; Pedagógiai Értékelési Konferencia; Taní-Tani Konferencia; Biennial Conference for Research on Learning and Instruction; European Conference on Educational Research; International Symposium on Science and Technology Education; Conference of European Science Education Research Association; stb.).

A *tudományos előadás* valamely tudományos kutatás eredményeinek szóbeli bemutatása. Régebben – különösen a bölcsész tudományok terén – szokásos volt a tudományos eredmények (értekezések) felolvasása. Manapság a szabad előadás a jellemző, az esetek többségében elektronikus prezentációval (pl. PowerPoint) kísérve. A tudományos előadásra is érvényesek a szóbeli előadások alapvető követelményei: követhető, érthető beszéd, megfelelő hangsúlyozás, a közönség felé fordulás, a többszörösen összetett mondatok kerülése, a monotonitás tompítása (pl. kérdésfeltevéssel). Ezeken túlmenően a tudományos előadásnak meg kell őriznie tudományos jellegét, azaz felépítésében világosan el kell válnia a problémafelvetésnek, az elméleti keretek bemutatásának, a cél és a hipotézisek megfogalmazásának, a módszerek és eszközök ismertetésének, az eredmények tárgyalásának és az összefoglalásnak. A tudományos előadás során is élhetünk – módjával! – a figyelemfelkeltés, a hatásfokozás eszközeivel: fényképek, rajzok bemutatásával, rövid, humoros történetek közbeiktatásával, személyes megnyilvánulásokkal.

A tudományos előadásnak is megvannak a maga formai követelményei. Az előadást a hallgatóság megszólításával illik kezdeni: „Tisztelt Elnök Úr/Asszony! Tisztelt Hallgatóság! Hölgyeim és Uraim!”. Ha szükséges, pár szóban bemutatkozunk, de csak akkor, ha a hallgatók többsége számára ismeretlenek vagyunk, és az elnök előzetesen nem mutatott be bennünket. Ezután röviden (1-2 dia erejéig) felvezetjük a témát, majd összefoglaljuk a vonatkozó elméleti keretet, szakirodalmi előzményeket. Bemutatjuk munkánk célját, hipotéziseinket, és – nagyon röviden – a kutatás lebonyolítását. Az eredményeket néhány jól szerkesztett dián (főleg

ábrák, esetleg táblázatok formájában) szemléltetjük. Végül összefoglaljuk a mondottakat, és megköszönjük a hallgatóság figyelmét. Az előadást általában rövid vita, megbeszélés követi. Figyelmesen és türelmesen hallgassuk végig a hozzászólókat, ne vágjunk közbe megjegyzésekkel, reagálásokkal, és lehetőleg ne minősítsük a hozzánk intézett kérdést („Ez egy nagyon jó kérdés!” stb.). Válaszunk legyen tömör és tényeken alapuló. Egyet nem értésünket határozottan, de udvariasan fejezzük ki. A jó ötleteket, konstruktív hozzászólásokat köszönjük meg. Ha egy kérdésre nem tudjuk a választ, akkor azt ismerjük be, ne próbáljunk kitérő válaszokkal „ködösíteni”.

A tudományos konferenciák ma már elmaradhatatlan programja a *poszter szekció*. Létrejöttét az indokolta, hogy olyan mértékben megnőtt a konferenciákon bemutatásra benyújtott anyag, amelyet már pusztán szóbeli előadásokkal nem lehetett programba iktatni, még párhuzamos szekciók esetén sem. A poszter egy sajátos műfaja a tudományos publikálásnak, melynek megvannak a maga előnyei és hátrányai a szóbeli előadással szemben. A poszter felépítése követi a tudományos publikációk felépítésének általános sorrendjét. Elvileg több információt tudunk így közvetíteni, mint egy előadás során. Vegyük figyelembe azonban, hogy az emberek többsége néhány másodpercre áll meg a poszter előtt, és ha eközben nem kap olyan vizuális benyomást, ami felkelthetné az érdeklődését, már megy is tovább a következőhöz. A jó poszter tehát összefüggő szöveget alig – vagy egyáltalán nem – tartalmaz, helyette lényegyet kiemelő és figyelmet felhívó kérdések, vázlatpontok, táblázatok, de főleg ábrák jellemzik. A legtöbb konferencián ma már külön poszter szekciókat szerveznek, ahol egy levezető elnök (moderátor) irányításával a poszterek szerzői röviden (1-3 percen) bemutatják poszterüket. Mondanunk sem kell, hogy a poszter iránti érdeklődés felkeltésében mennyire meghatározó ez a néhány perces bemutató. Ezért nagyon fontos, hogy a bemutató során ne próbáljuk elmondani a poszter egész tartalmát, hanem koncentráljunk a bemutatott munka lényegére. Emeljük ki a kutatás fontosságát, célját és – a poszteren szereplő ábrák, táblázatok felhasználásával – foglaljuk össze az eredményeket. Formáját tekintve a poszter állhat különálló lapokból (pl. A/4-es lapokra nyomtatva), vagy egy nagy A/0-s, esetleg A1-es méretű plakátból. A poszter készítéséhez számos számítógépes program (pl. PowerPoint, Publisher) áll rendelkezésünkre.

A tudományos közlemény

A tudományos közlemény a tudományos eredmények írásban történő közzétételének leggyakoribb módja. Szigorúan meghatározott szerkezet és stílus jellemzi. A tudományos közleményt általában többes szám első személyben, tárgyilagos stílusban kell megírni, angol nyelvű közlemény esetében a passzív szerkezet előnyben részesítésével. Tartózkodni kell a szubjektív, tényekkel nem alátámasztott megjegyzésektől és érzelmi megnyilvánulásoktól. A tudományos közlemény címe rövid, a kutatás lényegét kifejező kell, hogy legyen. A bevezetésben röviden vázolni kell a kutatás célját és jelentőségét. Ezt követi a releváns szakirodalom bemutatása, kritikai áttekintése. (Ebben a fejezetben különösképpen vigyázzunk a korrekt és szakszerű hivatkozásokra, a plagizálás elkerülésére.) Az irodalmi áttekintést követi a kutatási kérdések, illetve hipotézisek megfogalmazása. Ezután a kutatás körülményeit kell bemutatni (mérőeszköz, minta, adatfelvétel, értékelési módszerek). Az eredmények és értékelésük részben kell bemutatni és részletezni a kapott eredményeket szövegesen, valamint szemléletes táblázatok és/vagy grafikonok formájában. Vigyázzunk arra, hogy ne adathalmazt tartalmazzon a fejezet, hanem az eredmények jól felépített, a szakirodalommal is kapcsolatba hozható kritikai feldolgozását. Az összefoglalásban térjünk ki az elért eredmények gyakorlati vonatkozásaira is, illetve utalhatunk további kutatásokra is. A tudományos közleményt megfelelő formában összeállított irodalomjegyzék zárja – általában az első szerző nevének abc-sorrendje alapján. A tudományos közleményhez többnyire tartozik egy- vagy többnyelvű absztrakt, valamint néhány, a témához kapcsolódó kulcsszó is. A közlemény megírása előtt célszerű elolvasni a megjelentetésre kiszemelt tudományos folyóirat szerzők számára készített útmutatóját, a közlemények formai követelményeit.

A kémia szakmódszertani kutatásokkal kapcsolatos tudományos közleményeket a következő fontosabb *tudományos folyóiratokban* – illetve alapvetően nem tudományos folyóiratok megfelelő rovataiban – célszerű megjelentetni: Magyar Pedagógia; Iskolakultúra; Új Pedagógiai Szemle; Középiskolai Kémiai Lapok; Magyar Kémikusok Lapja; Chemistry Education Research and Practice; Journal of Chemical Education; Journal of Science Education; International Journal of Science Education, Journal of Research in Science Teaching stb.

3.2. Tudásszerkezet-vizsgálatok

A tudás szerveződésének vizsgálatára gyakran használunk gráfelméleti modelleket, hálózatokat (Csapó, 1992; Dobi, 2002). A napi tanítási gyakorlatban is használható *fogalmi térképek* elsősorban az egyedi tanulók tudásreprezentációjának feltárására alkalmasak (Kiss és Tóth, 2002; Habók, 2008). A fogalmi térkép egy témakör legfontosabb fogalmainak kapcsolati rendszerét jeleníti meg. Az egymáshoz valamilyen módon közvetlenül kapcsolódó fogalmakat nyilakkal, a köztük lévő kapcsolatot a nyilakra írt rövid szöveggel fejezzük ki. Mind egyéni, mind csoportos tudásszerkezet-vizsgálatra alkalmas a *szóasszociációs módszer* (Cardellini, 2008; Kostova és Radoynovska, 2008; Nakiboglu, 2008; Kluknavszky és Tóth, 2009; Ercan, Tasdere és Ercan, 2010; Tóth és Sójáné, 2012). A módszer lényege, hogy bizonyos témakör kulcsfogalmait, mint hívószavakat alkalmazva, azt vizsgáljuk, hogy adott idő alatt a tanuló milyen más szavakra asszociál. Az egyes hívószavak közötti kapcsolat erősségére a közös válasz-szavakból tudunk következtetni. A *Galois-gráf* (Takács 1997, 2000, 2003; Fatalin, 2008) segítségével a véges számú objektum és tulajdonság közötti több-többértelmű összefüggést visszavezethetjük zárt objektumcsoportok és tulajdonságok közötti egy-egyértelmű összefüggésre úgy, hogy ezek ábrázolása megmutatja a köztük lévő hierarchiát és struktúrát is. Elsősorban fogalmi struktúrák és egyedi tanulók tudásszerkezetének vizsgálatára alkalmas (Fatalin, 2008). Bár történtek erőfeszítések kollektív elemzésekre is (Takács, 2000; 2003), ezek relevanciája erősen megkérdőjelezhető (Fatalin, 2008). Külföldi – és néhány éve hazai – kutatási eredmények szerint alkalmas a tudásszerkezet, a tudás szerveződésének és a tudásszerkezet változásának vizsgálatára a valószínűségi elemeket is figyelembe vevő sokdimenziós modell, a *tudástérelmélet* (knowledge space theory, rövidítve: KST), amelyben az ismeretek kognitív szerveződését egy jól tagolt tudástérrel próbáljuk leírni (Taagepera, Potter, Miller és Lakshminarayan, 1997; Tóth, 2005, 2012).

3.2.1. A szóasszociációs teszt

Osztálytermi körülmények között is viszonylag egyszerűen kivitelezhető a tudásszerkezet szóasszociációs teszttel történő vizsgálata. Nagy előnye továbbá, hogy a szóasszociációs módszerrel nyert tudásszerkezeteket mind egyéni szinten, mind csoportszinten lehet értelmezni és érté-

kelni. Az elméleti alapokat Daru és Tóth (2014a), a természettudományos tudás vizsgálatának irodalmát Tóth és Sójáné (2012) dolgozata alapján tekintjük át. A szóasszociációs tesztek értékelésének és eredményei bemutatásának lehetőségeit saját korábbi kutatásainkból (Kluknavszky és Tóth, 2009; Tóth és Sójáné, 2012) vett példákon szemléltetjük.

Elméleti alapok

Az asszociáció a XIX. századi pszichológia egyik nagy elméletének, az asszociációs pszichológiának kulcsfogalma (Atkinson, Atkinson, Smith, és Bem, 1997). Képviselői a veleszületett képességek helyett a hasonlóság, ellentét és érintkezés elve alapján összekapcsolódó ideákból vezették le a mentális működést, ahogyan azt Arisztotelész is elképzelte Platon ideatana nyomán (Pekár, 1902). A mentális lexikon felderítésére Galton (1879) alkalmazta elsőként a szóasszociációs módszert, amelyet Jung fejlesztett tovább a személyiség indulati elemeinek vizsgálatára. Galton nevéhez fűződik továbbá a korreláció technikájának kidolgozása, a későbbi korrelációs együttható kifejlesztése (Atkinson, Atkinson, Smith, és Bem, 1997). Mérföldkő volt a Kent–Rosanoff-féle (1910a, 1910b) asszociációs hívófogalom-lista. Ennek alapján a pszichés problémákkal küzdők válaszaiból a kutatók kategóriákat képeztek, majd diagnosztikus céllal alkalmazták a listát más személyek vizsgálatára (Weiner és Greene, 2011). A lélektani tartalmak felderítésén kívül számos területen használták már a szóasszociációs tesztet adatgyűjtési módszerként. Az eredményeket felhasználták a reklámparban (Kovács, 2011), a természettudományos kutatásokban, többek között képzések hatékonyságának mérésére (Sendur, Özbayrak és Uyulgan, 2011, Nakiboglu, 2008), a fogalmi háló (Kostova és Radoynovska, 2008, Kluknavszky és Tóth, 2009) és az esetleges tévképzetek (Kádár és Farsang, 2012) bemutatására.

A nyelvészeti kutatások szintén támaszkodnak a szóasszociáció módszerére. Lengyel (2008) és munkatársainak nagyszabású vállalkozása a Magyar Asszociációs Normák Enciklopédiája. Gósy és Kovács (2001) Cser (1939) kísérletére támaszkodva a mentális lexikon vizsgálatát tűzte ki célul, és asszociációs tipológiát állított fel. Kulturális különbségek felderítésére Isa és Maskill (1982), valamint Neuberger (2008) is kísérletet tett szóasszociációs vizsgálattal, utóbbi az óvodás korosztály szókincsfejlődését vette górcső alá. Ezt megelőzően Ervin (1961) vizsgálta a mentális lexikon tartalmát és terjedelmét óvodás kortól.

Rendkívül gazdag a kétnyelvű mentális lexikon kutatásának irodalma is. Wolter (2001) kidolgozta a mentális lexikon fejlődési modelljét, megállapította, hogy a nyelvtudás mértéke befolyásolja az egyes asszociáció-típusok (paradigmatikus, szintagmatikus, fonológiai) előfordulási gyakoriságát. Kétnyelvű személyek körében Navracsics (2007), tanulási zavarral küzdő nyelvtanulók körében Kohlmann (2012) végzett szóasszociációs vizsgálatokat.

Kovács (2009) a mentális lexikon hálózatait kutatva kimutatta, hogy a hívófogalmak közötti kapcsolatoknak irányuk van, vagyis a válaszcórt hívószóként alkalmazva nem váltódik ki törvényszerűen az eredeti ingerző.

A természettudományos tudás vizsgálata szóasszociációs módszerrel

A tanulók és tanulócsopottok természettudományos tudásának vizsgálata szóasszociációs módszerrel mintegy harminc éves múltra tekint vissza.

Isa és Maskill (1982; idézi Nakiboglu, 2008) vizsgálatai bizonyítják, hogy a szóasszociációs teszt képes különbséget tenni a maláj és skót diákok között alapvető természettudományos fogalmaik tekintetében. A maláj gyerekek jóval több asszociációt produkáltak, mint a skót gyerekek.

Chachapuz és Maskill (1987; idézi Nakiboglu, 2008) reakciókinetika témakörben vizsgálta a tanulók előzetes tudását szóasszociációs módszerrel. Kimutatták, hogy a tanulónak vannak ilyen jellegű előzetes ismeretei, és a tanítás eredményeként fogalmi rendszerük gazdagodott, komplexebb lett.

Bahar, Johnstone és Sutcliffe (1999) egyetemi hallgatók genetikai fogalmakkal kapcsolatos tudásszerkezetét térképezte fel szóasszociációs módszerrel. Javasolják, hogy az oktatók végezzenek ilyen mérést egy-egy témakör tanulása előtt és után is. Az eredményeket beszéljék meg a hallgatókkal is.

Cardellini és Bahar (2000; idézi Nakiboglu, 2008) elsőéves mérnök-hallgatókkal írtak szóasszociációs tesztet általános kémiai fogalmakkal (pl. egyensúly, pH, entalpia, redoxireakció, mol, kötés, halmazállapot, pálya, oldat, reakció) kapcsolatban. Véleményük szerint ezzel a módszerrel feltárhatók a fogalmakkal kapcsolatos hiányosságok és tévképzetek.

Hovardas és Korfiatis (2006) a fogalmi váltás kutatásában alkalmazta a szóasszociációs módszert. Megállapították, hogy az oktatás hatására megváltozhat az ugyanazon hívófogalmakhoz kapcsolódó asszociált fogalmak minősége és száma is. A módszer alkalmazható követéses vizsgálatokra is.

Nakiboglu (2008) az atom szerkezete témakör tanítása előtt és után felvett szóasszociációs tesztek segítségével vizsgálta a tanulócsoporthoz jellemző fogalmi struktúrájának változását. A hívószavak a következők voltak: proton, atompálya, elektron, atommag, neutron, kvantumszám, nukleon, héj és energiaszint.

Kostova és Radyonovska (2008) biológiatanárok és tanulócsoporthoz körében végzett szóasszociációs vizsgálatokat az élő sejt és a biodiverzitás témakörben. Eredményeik alapján ajánlásokat tettek a tankönyvek és a tanterv módosítására, valamint a fogalmi térképezés tanításában való felhasználására.

Kluknavszky és Tóth (2009) tanulócsoporthoz levegőszennyezéssel kapcsolatos fogalmi struktúráját vizsgálta szóasszociációs módszerrel. Hívófogalmaik a következők voltak: ózon, ózonlyuk, üvegházhatás, széndioxid, savas eső, kén-dioxid, nitrogén-oxidok. A 7-10. évfolyamos tanulók körében végzett vizsgálatuk azt mutatta, hogy az „ózon” és az „ózonlyuk” között minden évfolyamon – már 7. osztályban is – nagyon erős kapcsolat van. A „széndioxid” és az „üvegházhatás” közötti kapcsolat viszont csak 9. osztálytól jellemző. Ugyancsak 8. és 9. osztálytól jelenik meg a tudásszerkezetben a „nitrogén-oxidok” és a „savas eső”, valamint a „kén-dioxid” és a „savas eső” kapcsolat. A már 7. évfolyamon megjelenő, az oxidok („széndioxid”, „kén-dioxid”, „nitrogén-oxidok”) között fennálló kapcsolatnak valószínűleg szemantikai okai lehetnek. Minden évfolyam esetében tévképzetre utal az „ózonlyuk” és a „savas eső” kapcsolat. A kapcsolati hálók gazdagodása arra utal, hogy az oktatás előrehaladásával a tanulók tudásszerkezete egyre strukturáltabb lesz.

Altıparmak és Yazıcı (2010) biotechnológiai fogalmak és folyamatok témakörben a szóasszociációs módszerrel végzett vizsgálatokkal kimutatták, hogy a kooperatív módszerrel tanuló csoport fogalmi struktúrája sokkal gazdagabb, mint a hagyományos módon tanuló kontroll csoporté.

Ercan, Tasdere és Ercan (2010) 7. osztályos tanulók fogalmi rendszerét vizsgálta szóasszociációs módszerrel csillagászat témakörben.

Sendur, Özbayrak és Uyulgan (2011) az előzetes tudás feltérképezésére, valamint az oktatás hatásának kimutatására használta a szóasszociációs módszert első- és harmadéves kémia tanár-szakos hallgatók esetében a savak és bázisok témakörben. Hívófogalmaik a következők voltak: sav, bázis, pH, pOH, indikátor, titrálás, elektrolit, hidrolízis, puffer.

Tóth és Sójáné (2012) energiaforrásokkal kapcsolatos néhány fogalom (energiahordozók, nem megújuló energiaforrások, megújuló energiaforrások, szén, kőolaj, atomenergia) szerveződését vizsgálta különböző iskola-típusban (szakiskola, szakközépiskola, gimnázium) és különböző évfolyamon (7–12.) tanuló diákok körében. Megállapították, hogy a gimnáziumi tanulók fogalmi struktúrája jóval kapcsolatgazdagabb, mint a szakiskolásoké vagy a szakközépiskolásoké. A kapcsolati hálókból a legerősebb kapcsolat a „kőolaj” és a „nem megújuló energiahordozók” között van, ugyanakkor a „megújuló energiahordozók” és az „atomenergia” többnyire izolált elemként jelennek meg a tudásszerkezetben. Néhány tanulócsoport esetén tévképzetre utaló téves kapcsolatokat (pl. „atomenergia” – „megújuló energiahordozók”) is találtak.

Daru és Tóth (2014a, 2014b) óvodások időjárással kapcsolatos fogalmi hálóját vizsgálta a következő hívószavak segítségével: időjárás, eső, szél, csapadék, tavasz, nyár, ősz, tél. Kismintás vizsgálatuk során megállapították, hogy az iskolai oktatásban még nem részesülő kisgyermekek gazdag asszociációs hálóval rendelkeznek az időjárással kapcsolatban, képzeik gyakran a tudományosság felé közelednek. Megítélésük szerint a szóasszociációs módszer alkalmas óvodások vizsgálatára, amennyiben elfogadjuk, hogy nemcsak önálló szavakat, hanem szó szerkezeteket, mondattöredékeket vagy mondatokat kapunk, amelyeket tisztítani kell.

A szóasszociációs módszer kritikája

A tanulók tudásszerkezetének értelmezése és megjelenítése szempontjából néhány kutató a módszer kritikáját is megfogalmazta. Stewart (1979) szerint ez a módszer csak akkor használható, ha a kutató a fogalmak szemantikai közelsége iránt érdeklődik, egyéb esetekben használhatatlan. Szintén kritizálja Shavelsonnak azt a feltevését, hogy a hosszú távú memóriából előhívott válaszok sorrendje a fogalmakon belüli és fogalmak közötti struktúrának egy lényeges részét tükrözi. Azt állítja, hogy Shavelsonnak ez a feltevése logikailag tarthatatlan, ezért az adatok kutatók általi megjelenítése a következtetések során hatalmas logikai beavatkozásokat igényel. Nagy (1983) elutasítja Stewart kritikáit, és azt állítja, hogy a szemantikai közelséget kifejező adatok megjelenítésének módszerre nincs nagyobb hatással a tudásszerkezetre, mint a kutatók által alkalmazott más módszerek, és ezt a későbbi következtetések indokolják.

A szóasszociációs vizsgálat

A teszt elkészítése. A szóasszociációs teszt elkészítésének első lépése a megfelelő fogalmak (hívószavak) kiválasztása. Lehetőleg olyan fogalmakat válasszuk, amelyek egy jól körülhatárolható tudástér elemeit képezik. Ebben az esetben van ugyanis esélyünk arra, hogy a hívószavakra közös asszociációkat kapjunk. Nem feltétlenül követelmény, de jó, ha nemcsak azonos szófajokból (pl. jellemzően csak főnevekből) áll ez a lista. A hívószavak száma lehetőleg 3 és 10 között legyen (a felső határt – igazából – a kiértékelés munkaigényessége határozza meg).

A szóasszociációs vizsgálatot jellemzően írásban végezzük el. Bizonyos esetekben (pl. óvodások, iskolakezdők, fogyatékosok esetén) ettől eltérően, szóban is történhet a teszt felvétele.

A kiválasztott hívószavakat – véletlenszerű sorrendben – annyi kis füzetecske külön lapjára írjuk fel, ahány fős a vizsgált mintánk. A tanulók meghatározott időt (általában fél percet, maximum egy percet) kapnak arra, hogy a lap tetején olvasható hívó szóval kapcsolatos asszociációikat (szavak, rövid kifejezések formájában) egymás alá írva a lapra felírják. Az idő letelte után a következő lapra (hívó szóra) kell lapozniuk. Kitöltés közben visszalapozni nem lehet!

A válaszok értékelése. A válaszok kiértékelését először tanulónként végezzük el. A hívó szavakra kapott asszociációkat páronként összehasonlítjuk. A legtöbb fogalmat tartalmazó lista első fogalma – maga a hívófogalom – kapja a legnagyobb rangszámot, a többi fogalom pedig egyre csökkenő rangszámot kap, és a legutolsó asszociáció kapja az egyes rangszámot. Hasonlóképpen járunk el a másik lista esetén is, de a rangszámok kiosztását itt is az előbbi rangszámmal kezdjük, mivel a két lista viszonylatában a leghosszabb lista ennyi fogalmat tartalmaz. Ennek megfelelően maga a hívófogalom kapja a legnagyobb rangszámot, majd egyre csökkenő rangszámok következnek. Ezután a két listában közösen előforduló fogalmak rangszámait páronként összeszorozzuk és összegezzük, majd elosztjuk a teljes egyezésnek megfelelő szorzatösszeg eggyel csökkentett értékével. Az így kapott hányados 0 és 1 közé esik, és értéke minél nagyobb, annál szorosabb kapcsolat van a két vizsgált hívófogalom között. Ez a hányados, az ún. kapcsolati együttható (relatedness coefficient, RC) jellemzi a két hívó fogalom közötti kapcsolat erősségét. (13. táblázat)

<i>Asszociációk</i>	<i>Rang</i>	<i>Asszociációk</i>	<i>Rang</i>
hívófogalom (A) ENERGIAHORDOZÓK	6	hívófogalom (B) NEM MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK	6
megújuló energiaforrás	5	kőolaj	5
nem megújuló energiaforrás	4	földgáz	4
kőolaj	3	szén	3
földgáz	2		
szén	1		

$$RC = \frac{\bar{A} \cdot \bar{B}}{\sum n^2 - 1}$$

$$\bar{A} = [4 \ 3 \ 2 \ 1]$$

$$\bar{B} = [6 \ 5 \ 4 \ 3]$$

$$n = 6$$

$$RC = \frac{4 \cdot 6 + 3 \cdot 5 + 2 \cdot 4 + 1 \cdot 3}{6^2 + 5^2 + 4^2 + 3^2 + 2^2} = 0,56$$

13. táblázat:

*A kapcsolati együttható (RC) számítása
(Tóth és Sójáné, 2012)*

Megjegyezzük, hogy a kapcsolati együttható ilyen módon történő számítása először Garskof és Houston (1963) közleményében szerepelt. Bár azóta történtek kísérletek a rangszámok más módon történő kiosztására (White és Gunstone, 1992; idézi Cardellini, 2008), Cardellini (2008) tanulmányában kimutatja, hogy különösen nagyon eltérő hosszúságú asszociációs sorok esetén az eredeti Garskof-Houston-féle számítást érdemes követni.

További példák a tanulók energiaforrásokkal kapcsolatos tudásszerkezetének vizsgálatából (Tóth és Sójáné, 2012)

Az egyes tanulókra számolt kapcsolati együtthatók alapján megrajzolhatjuk a tanuló tudásszerkezetére jellemző kapcsolati hálót. A vizsgált csoportra jellemző kapcsolati hálót pedig az egyes tanulók esetén meghatározott kapcsolati együtthatók átlagának képzése után adhatjuk meg. A kapcsolati háló szemléletessé tétele érdekében a kapott kapcsolati együtthatókat 3-5 tartományba soroljuk (pl. gyenge, közepesen erős, erős, nagyon erős). A 14. táblázat egy ilyen besorolást és annak különböző vastagságú vonalakkal való jelölését mutatja.

	energiahordozók	megújuló energiaforrások	nem megújuló energiaforrások	kőolaj	szén	atomenergia
energiahordozók	-	0,09	0	0,04	0,01	0,03
megújuló energiaforrások		-	0	0	0	0,004
nem megújuló energiaforrások			-	0,4	0,07	0,01
kőolaj				-	0,03	0,005
szén					-	0
atomenergia						-

14. táblázat:

*A gimnáziumi 7. osztály tanulóinak átlagos kapcsolati együtthatói
(Tóth és Sójáné, 2012)*

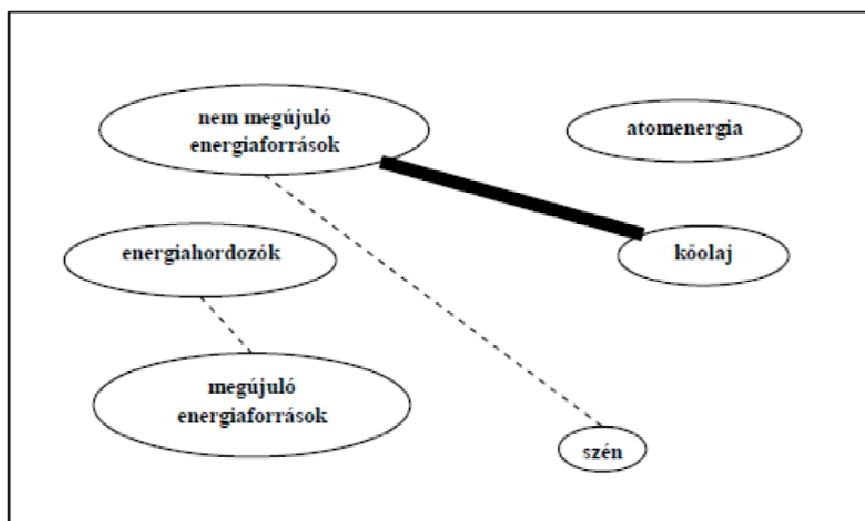
A kapcsolati együtthatók átlaga alapján számított kapcsolati erősség jelölésmódja a 15. táblázatban látható.

Kapcsolati együttható értéke	A kapcsolat erőssége	Jelölés
0,05-0,09	gyenge	-----
0,10-0,19	közepesen erős	-----
0,20-0,29	erős	=====
0,30 és ettől nagyobb érték	nagyon erős	=====

15. táblázat:

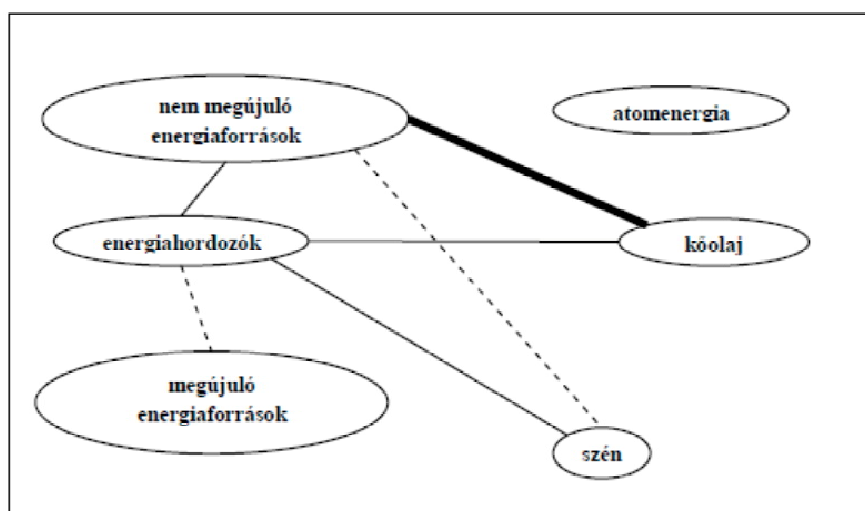
A kapcsolati együtthatók értéke, a kapcsolat erőssége és jelölésmódja a fogalmi hálókbán (Tóth és Sójáné, 2012)

Az azonos iskolatípusba járó tanulócsoportok kapcsolati hálójában az életkorral egyre gazdagabb lesz (13. és 14. ábra). Megfigyelhető, hogy kezdetektől fogva a „kőolaj” és a „nem megújuló energiaforrások” közötti kapcsolat a legerősebb. Az is figyelemre méltó, hogy mindkét csoport kapcsolati hálójában az „atomenergia” izolált fogalomként szerepel.



13. ábra:

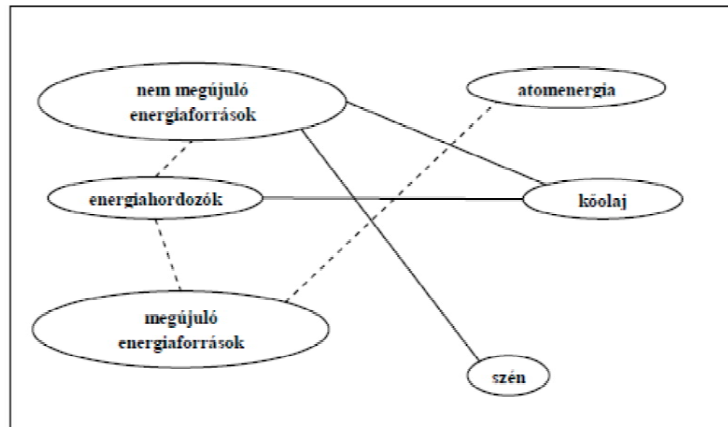
*A gimnáziumi 7. osztály jellemző fogalmi hálója
(Tóth és Sójáné, 2012)*



14. ábra:

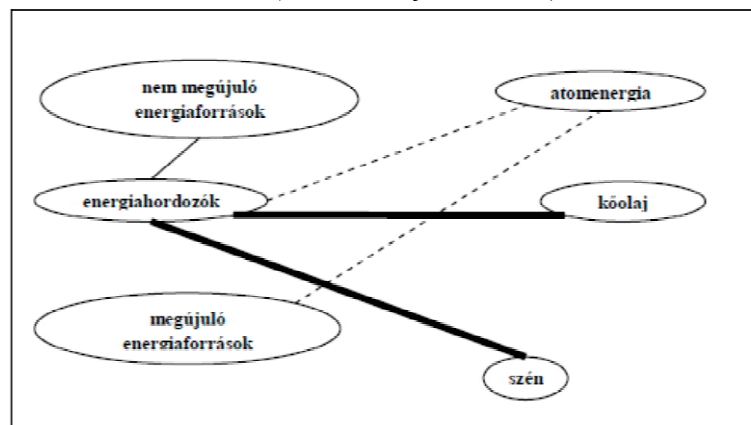
*A gimnáziumi 12. osztály jellemző fogalmi hálója
(Tóth és Sójáné, 2012)*

Az azonos korosztályhoz tartozó, de különböző iskolatípusba járó tanuló-csoportok fogalmi hálói között is markáns különbségek vannak (15–17. ábrák). Amíg a gimnazisták esetében a már említett „kőolaj” és „nem megújuló energiaforrások” között van az egyik legerősebb kapcsolat, és az „atomenergia” izolálódik, addig a szakiskolások és szakközépiskolások hálói-ban az előbbi kapcsolat nem kiemelkedő, ugyanakkor megjelenik egy tévképzetre utaló kapcsolat az „atomenergia” és a „megújuló energiaforrások” között.



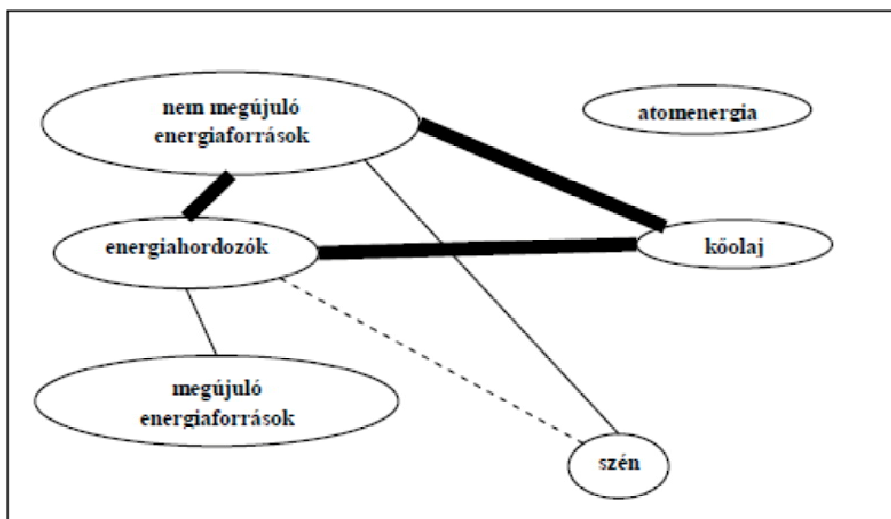
15. ábra:

*A szakiskolai 10. osztály jellemző fogalmi hálója
(Tóth és Sójáné, 2012).*



16. ábra:

*A szakközépiskolai 10. osztály jellemző fogalmi hálója
(Tóth és Sójáné, 2012).*



17. ábra:
A gimnáziumi 10. osztály jellemző fogalmi hálója
(Tóth és Sójáné, 2012).

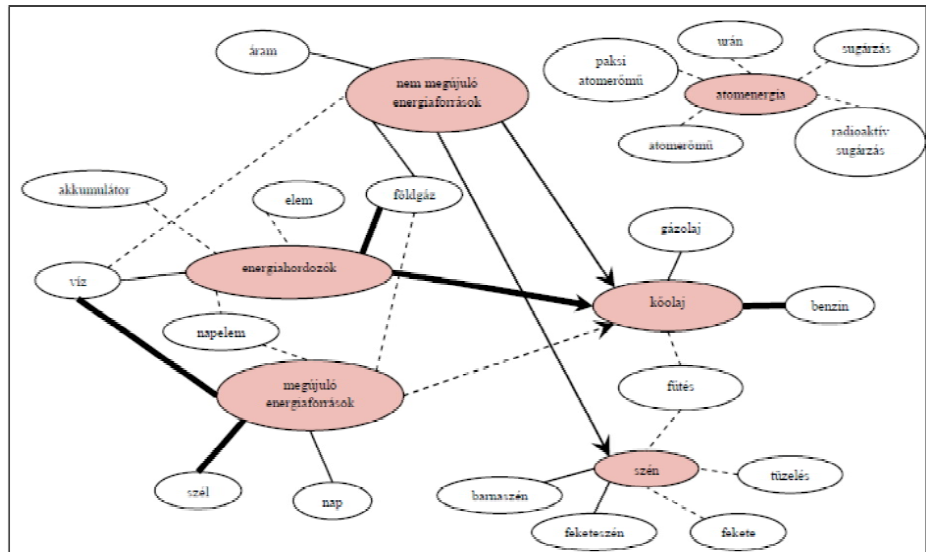
Informatív lehet az asszociációs térkép felrajzolása is. Az asszociációs térképen az egyes hívószavakra érkezett asszociációkat tüntetjük fel. Az összekötő vonal (nyíl) vastagsága szemlélteti az átlagos gyakoriságot.

A következőkben az asszociációs térképekből mutatunk be néhányat. Az asszociációk relatív gyakoriságának jelölését az 16. táblázat szemlélteti.

Az asszociációk relatív gyakorisága	A kapcsolat erőssége	Jelölés
5-10 %	nagyon gyenge	fogalmi hálóban nem ábrázolt
15-25 %	gyenge	-----
30-45 %	közepesen erős	_____
50-70 %	erős	—————
75 % - és fölötte	nagyon erős	—————

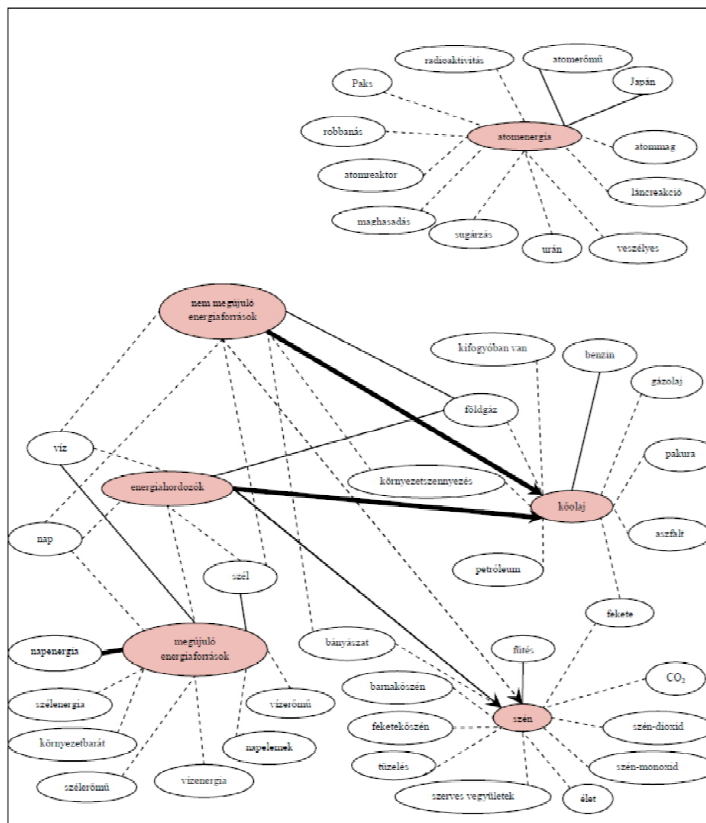
16. táblázat:
Az asszociációk relatív gyakorisága, és annak jelölése
(Tóth és Sójáné, 2012).

A 18–19. ábrák egy-egy csoport jellemző asszociációs hálóját mutatja. Látható, hogy a 12. osztályos gimnazistáké (19. ábra) jóval kapcsolódásosabb, mint a 10. osztályos szakiskolásoké.



18. ábra:

A 10. osztályos szakiskolás tanulócsoporthoz tartozó asszociációs hálója (Tóth és Sójáné, 2012).



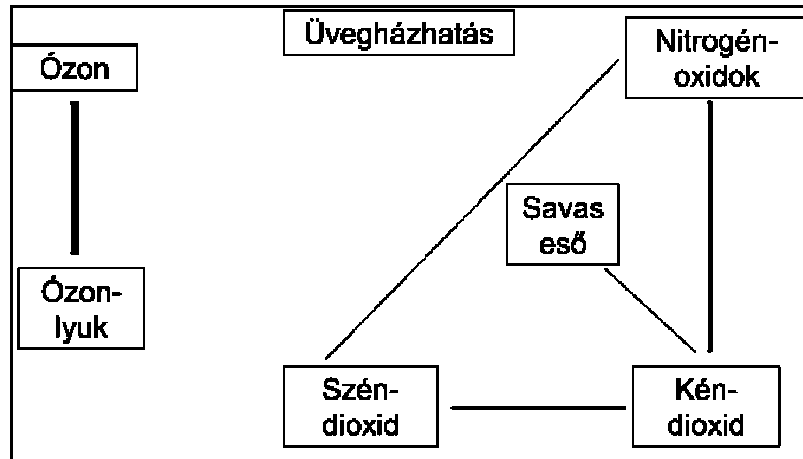
19. ábra:

A 12. osztályos gimnáziumi tanulócsoport asszociációs hálója (Tóth és Sójáné, 2012).

A fogalmi fejlődés és fogalmi váltás nyomon követése szóasszociációs módszerrel (Kluknavszky és Tóth, 2009)

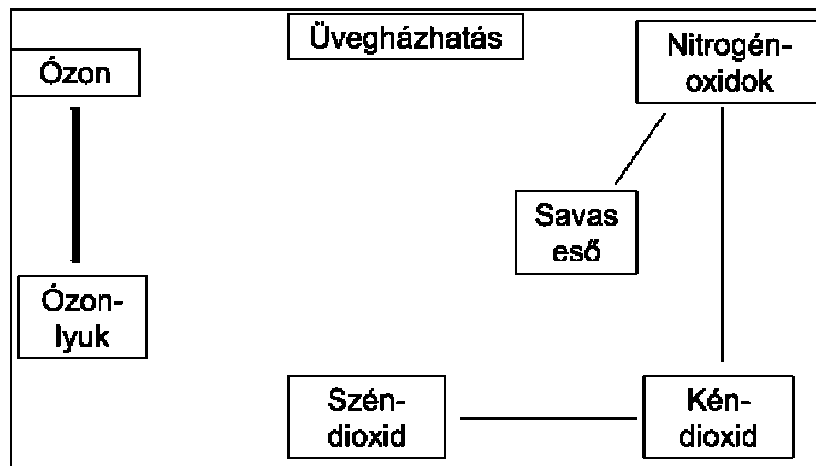
Egy korábbi tanulmányunkban néhány környezetvédelemmel és annak kémiai hátterével kapcsolatos fogalom fejlődését vizsgáltuk 7-10. osztályos tanulók körében. Megfigyelhető, hogy a fogalmi struktúra a tanulmányok előre haladtával egyre differenciáltabb lesz (20-33. ábrák). A leginkább kapcsolatdús a 9. osztályosok fogalmi hálója, de a kapcsolatok között számos téves kapcsolat is megjelenik (22. ábra). 10. osztályban viszont egy korrekt, erős kapcsolati hálót találunk (23. ábra). Ez tipikus a

fogalmi fejlődés és fogalmi váltás menetére. A kezdeti gazdagodás átcsap egy zavaros, téves kapcsolatokkal teli állapotba, majd letisztul egy, a korábbihoz képest eltérő fogalmi struktúra. (A 20-23. ábrákon a vonalak vastagságának jelentése – az ún. szakítási pontok –, vékony vonal (0,05 – 0,09), vastagabb vonal (0,10 – 0,19), legvastagabb vonal (0,2 –).)



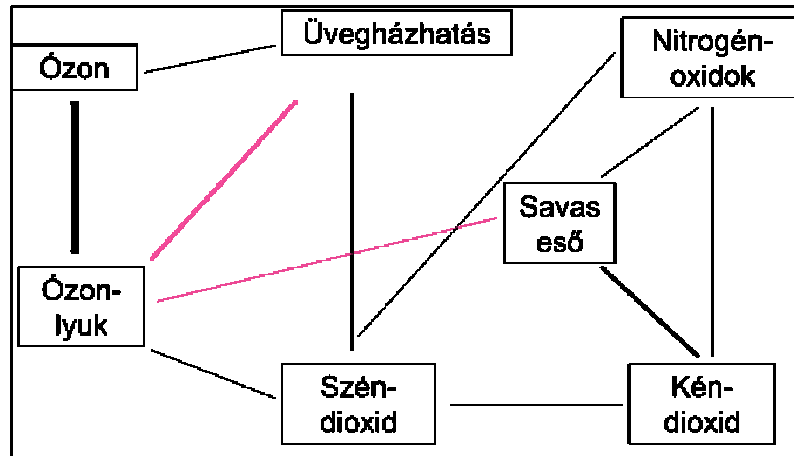
20. ábra:

A 7. osztályosok kapcsolati hálója
(Kluknavszky és Tóth, 2009)



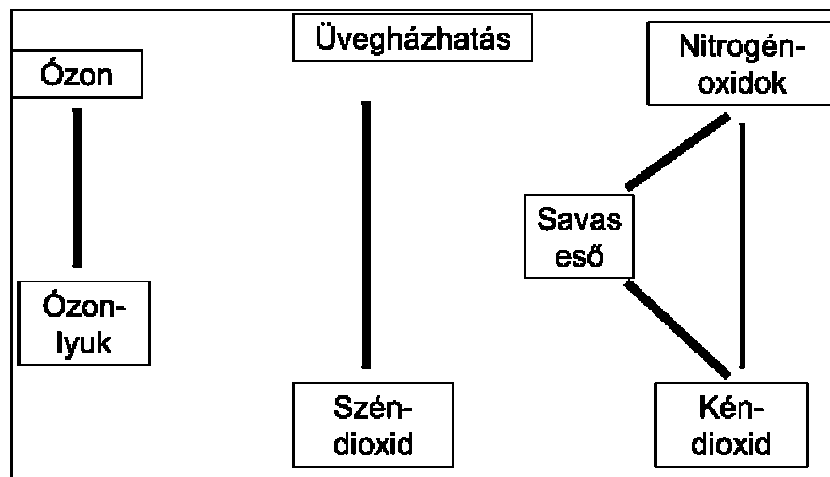
21. ábra:

A 8. osztályosok kapcsolati hálója
(Kluknavszky és Tóth, 2009)



22. ábra:

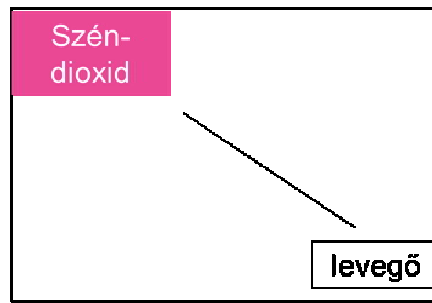
A 9. osztályosok kapcsolati hálója
(Kluknavszky és Tóth, 2009)



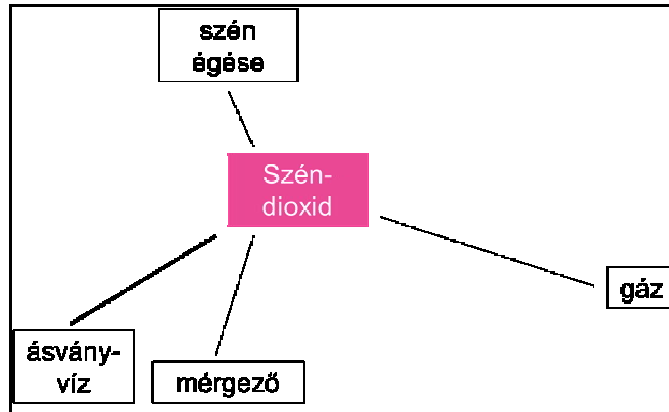
23. ábra:

A 10. osztályosok kapcsolati hálója
(Kluknavszky és Tóth, 2009)

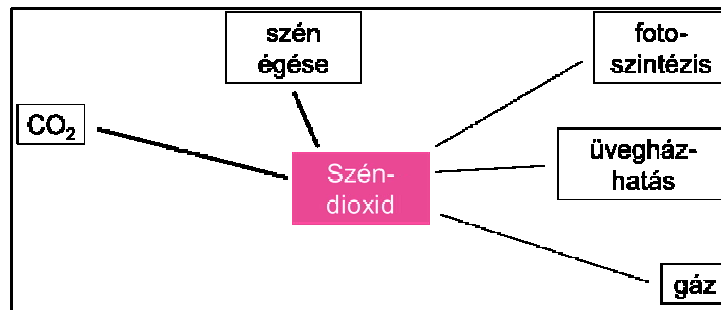
A 24–27. ábrák egy kiragadott hívószó, a „szén-dioxid” által kiváltott leggyakoribb asszociációkat mutatják be. (Szakítási pontok: 20% és 40%.) Szépen látható a folyamatos gazdagodás.



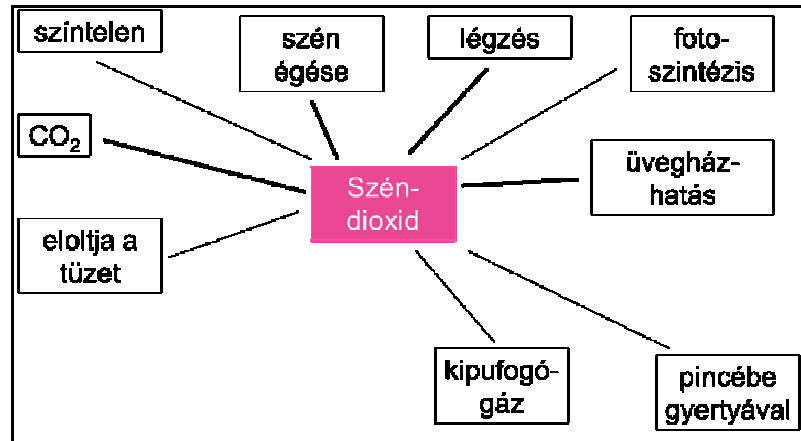
24. ábra: A 7. osztályosok szén-dioxiddal kapcsolatos asszociációs hálója (Kluknavszky és Tóth, 2009)



25. ábra: A 8. osztályosok szén-dioxiddal kapcsolatos asszociációs hálója (Kluknavszky és Tóth, 2009)



26. ábra: A 9. osztályosok szén-dioxiddal kapcsolatos asszociációs hálója (Kluknavszky és Tóth, 2009)



27. ábra:

A 10. osztályosok szén-dioxiddal kapcsolatos asszociációs hálója (Kluknavszky és Tóth, 2009)

3.2.2. A tudástérelmélet

3.2.2.1. A tudástérelmélet alapjai, legfontosabb fogalmai

A tudástérelméletet matematikai pszichológusok, elsősorban Jean-Paul Doignon és Jean-Claude Falmagne fejlesztették ki 1982-től kezdődően. A tudástérelmélet alapjait, legfontosabb fogalmait bemutató fejezetet elsősorban „Knowledge Spaces” című könyvük (Doignon és Falmagne, 1999), két közleményük (Falmagne, Doignon, Koppen, Villano és Johannesen, 1990; Falmagne, Doignon, Cosyn, és Thiéry, é. n.) és egy tematikus gyűjteményben (Albert, 1994) megjelent tanulmányuk alapján állítottuk össze. Magyar nyelven részletes leírás olvasható Tóth (2005, 2012) tanulmányaiban. (Megjegyezzük, hogy a tudástér-elmélettel kapcsolatban bőséges leírás és számos irodalmi hivatkozás található a következő két internet címen: wundt.uni-graz.at/kst.html és www.aleks.com.)

A tudástér és a tudásállapotok

A *tudástér* (knowledge space) egy adott témakör (pl. tantárgy) megértéséhez szükséges ismeretek összessége. A matematikában és a természettudományokban ez általában problémák (feladatok) olyan csoportját

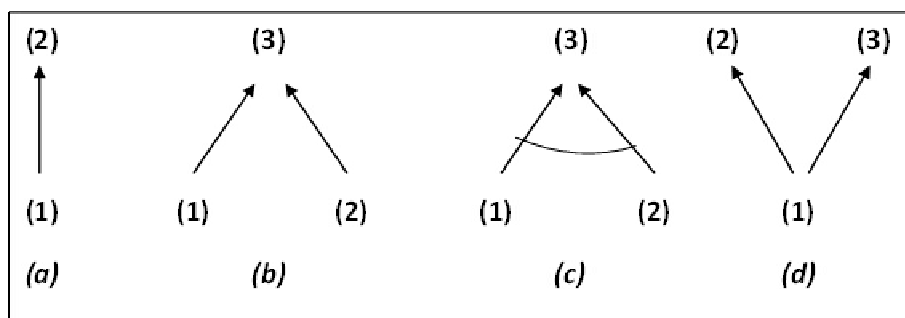
jelenti, amelyet a tanulónak ismeretei alapján tudnia kellene megoldani. Ezek a problémák, illetve a megoldásukhoz szükséges ismeretek többé-kevésbé hierarchikus rendszert képeznek. Vegyük például azt az egyszerű esetet, hogy a vizsgált tudástér mindössze öt elemet tartalmaz, és ennek megfelelően összeállítottunk egy öt feladatból álló tesztet, és ezt használjuk fel a tanulók tudásának mérésére. A hagyományos értékelés szerint a tanulók tudását egyetlen mérőszámmal, a helyesen megoldott feladatok számával jellemezzük. A tudástér-elmélet alapján viszont árnyaltabb képet alkothatunk a tanulók tudásáról, amennyiben megadhatjuk az egyes tanulók tudásállapotát. A *tudásállapot* (knowledge state) azon problémák összessége, amelyeket a tanuló helyesen oldott meg. Egy adott tudásállapot tehát a feladatok részhalmaza: $K \subseteq Q$, ahol K egy lehetséges tudásállapot, Q pedig a feladatok halmaza. Első közelítésben úgy tűnhet, hogy egy öt feladatból álló tudástérben $2^5 = 32$ tudásállapot lehetséges. A tapasztalat viszont az, hogy a tényleges tudásállapotok száma általában ennél jóval kisebb, és ennek oka a feladatok hierarchiájából adódó előfeltétel-kapcsolat.

A tudástérelmélet alapfeltevése: az előfeltétel-kapcsolat

A tudásteret lefedő feladatok hierarchiájának és a tudástérben lehetséges tudásállapotoknak a meghatározásához pontosan ismernünk kell a feladatok halmazán az előfeltétel-kapcsolatokat. Az a és b feladat közötti előfeltétel-kapcsolatot (surmise relation) $a \rightsquigarrow b$ módon jelöljük és a következőképpen értelmezzük: amennyiben helyesen tudjuk megoldani a b feladatot, akkor az a feladatot is meg tudjuk oldani, vagy – ami ezzel egyenértékű – ha nem tudjuk megoldani az a feladatot, akkor a b feladatot sem tudjuk megoldani.

A feladatok között lévő előfeltétel-kapcsolatok alapján megállapíthatjuk a feladatok hierarchiáját. Ezt a hierarchiát szemléletesen egy ún. Hasse-diagramon ábrázolhatjuk. A *Hasse-diagram* egy irányított gráf, melynek csomópontjai a feladatok, a köztük fennálló előfeltétel-kapcsolatot a csomópontokat összekötő irányított élek fejezik ki. A Hasse-diagramok legfontosabb építőelemeit szemlélteti az 28. ábra. Olvasata: (a) a (2)-es feladat megoldásának előfeltétele az (1)-es feladat megoldása; (b) a (3)-as feladat megoldásának előfeltétele az (1)-es és a (2)-es feladat megoldása; (c) a (3)-as feladat megoldásának előfeltétele az (1)-es vagy a (2)-

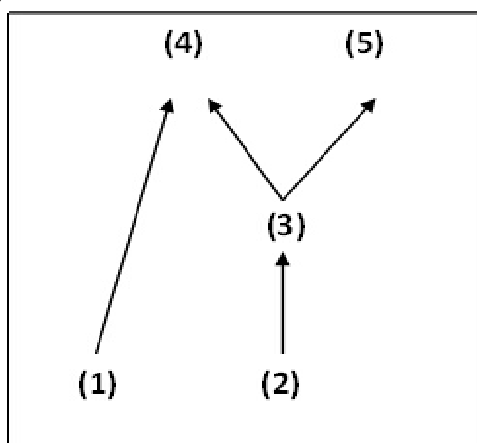
es feladat megoldása; *(d)* az (1)-es feladat megoldása előfeltétele mind a (2)-es, mind a (3)-as feladaténak.



28. ábra:

A feladatok hierarchiáját leíró Hasse-diagram építőelemei

Tételezzük fel, hogy az egyes feladatok megoldásához szükséges ismeretek alapján az öt feladat a 29. ábrán látható hierarchikus rendszert képezi. Erről a Hasse-diagramról leolvashatjuk például, hogy az (1)-es feladat megoldásához szükséges tudás az (1)-es feladat megoldásán kívül csak a (4)-es feladat megoldásához szükséges. Ugyanakkor a (2)-es feladat megoldásához szükséges ismeretre épül a (3)-as, a (4)-es és az (5)-ös feladat megoldása is, stb.



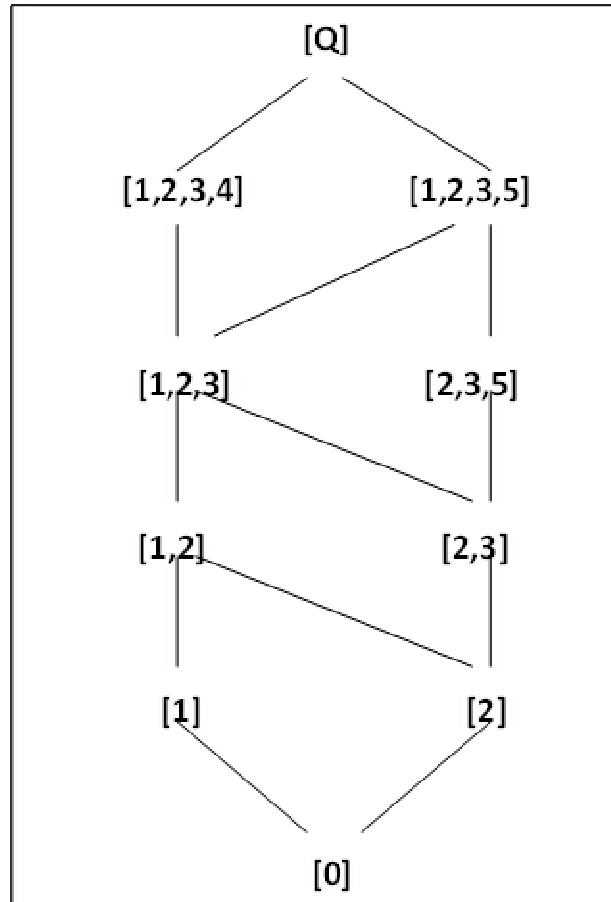
29. ábra:

A feladatok hierarchiáját szemléltető Hasse-diagram

A tudástér-elmélet *alappeltevése* szerint: *ha egy tanuló meg tud oldani egy, a hierarchiában magasabb szinten álló feladatot, akkor várható, hogy minden olyan feladatot meg tud oldani, amely a hierarchiában e feladat alatt helyezkedik el.* A 29. ábrán bemutatott példánk esetében: ha egy tanuló meg tudja oldani a (4)-es feladatot, akkor birtokában van mindazon ismereteknek, amelyek az (1)-es, a (2)-es és a (3)-as feladatok megoldásához szükségesek. Várható tehát, hogy a (4)-es feladaton kívül megoldja az (1)-es, a (2)-es és a (3)-as feladatokat is. (Nem szükségszerű azonban, hogy meg tudja oldani az (5)-ös feladatot, hiszen az ennek megoldásához szükséges ismeret csak annyiban egyezik meg a (4)-es feladattal, hogy mindkettő épül a (2)-es és a (3)-as feladat megoldásához szükséges ismeretekre.)

A tudásszerkezet

A tudásállapotok rendezett rendszerét *tudásszerkezetnek* (knowledge structure) nevezzük. A tudásszerkezetben csak olyan tudásállapotok fordulhatnak elő, amelyeket az előfeltétel-kapcsolatból lehet levezetni. A 29. ábrán látható Hasse-diagram alapján levezethető tudásállapotokat (azaz a tudásszerkezetet) mutatja a 30. ábra. Az előfeltétel-kapcsolatból következik, hogy a tudásszerkezet csak olyan tudásállapotokat tartalmazhat, amelyek mindegyike része egy hierarchikus hálónak, azaz összeköttetésben van legalább egy felette, és legalább egy alatta lévő tudásállapottal (kivéve a tudásszerkezet legalsó [0] és legfelső [Q] pontját). Ez azt jelenti, hogy a tudásszerkezet minden esetben jól tagolt (well-graded) kell, hogy legyen.

**30. ábra:**

A 29. ábrán látható Hasse-diagramnak megfelelő tudásszerkezet

Vegyük észre, hogy a 30. ábrán látható tudásállapotok egy része előál-
lítható a többi tudásállapot összegzéseként (pl. $[1] + [2] = [1,2]$ vagy
 $[1,2,3] + [2,3,5] = [1,2,3,5]$ stb.). Ez azt jelenti, hogy a tudástér elemeit
gazdaságos módon tárolhatjuk az ún. *alapformák* (bases) halmazában
(Abari és Máth, 2010). A 30. ábrán látható 10 tudásállapot tárolásához
mindössze öt alapformát ($[1]$, $[2]$, $[2,3]$, $[2,3,5]$, $[1,2,3,4]$) kell tárolnunk.

A tudásszerkezet egy lehetséges meghatározása az előfeltétel-kapcsolat alapján

A tudásszerkezet egy lehetséges – a szakirodalomban leginkább elfogadott – meghatározási eljárásának lényege, hogy a feladatokra páronként megvizsgáljuk a következő állítás igaz vagy hamis voltát: „*Igaz-e, hogy ha a tanuló nem tudja megoldani az a feladatot, akkor biztosan nem tudja megoldani a b feladatot sem?*” (Falmagne, Doignon, Koppen, Villano és Johannesen, 1990;). Amennyiben a válasz igen, akkor a feladatok egymással való kapcsolatát feltüntető relációtáblázatba „1”-est, amennyiben nem, akkor „0”-t írunk. Egy ilyen relációtáblázatot mutat az 17. táblázat.

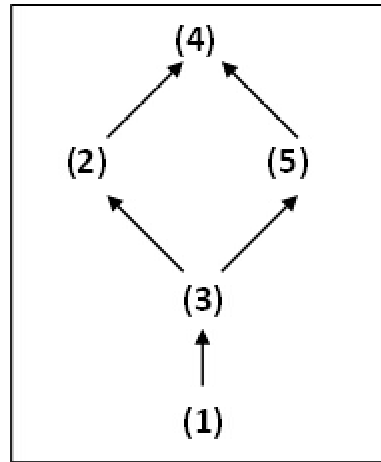
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1)	1	1	1	1	1
(2)	0	1	0	1	0
(3)	0	1	1	1	1

17. táblázat:

*Egy öt feladtból álló tudástér
lehetséges relációtáblázata*

A relációtáblázat alapján a következőképpen szerkeszthetjük meg a feladatok hierarchiáját: Összeadjuk az egyes oszlopokban szereplő (pont)értékeket. Az 1-es pontértékű feladat (példánkban az (1)-es feladat) szerepel a hierarchia legalsó szintjén. Eggyel magasabb szintre kerül a 2-es pontértékű (3)-as feladat, még magasabbra a 3-as pontértékű (2)-es és (5)-ös feladat. A hierarchia csúcsán pedig az 5-ös pontértékű (4)-es feladat lesz (31. ábra). Az egyes szintek közötti pontkülönbségnek is van információ-tartalma: azt mutatja meg, hogy az adott szinten lévő feladat hány másik alsóbb szinten lévő feladattal van közvetlen kapcsolatban. Így – esetünkben – látható, hogy a (3)-as feladat csak egyetlen alatta lévő feladattal (az (1)-es feladattal) van kapcsolatban. Ugyancsak egy alsóbb szinten lévő feladattal van kapcsolata a harmadik szinten lévő (2)-es és (5)-ös felada-

toknak. A hierarchia legmagasabb szintjén helyet foglaló (4)-es feladat viszont két alatta lévővel, a (2)-es és az (5)-ös feladattal is kapcsolatban áll.



31. ábra:

A 17. táblázat adataiból származtatott tudásszerkezet Hasse-diagramja

Az előfeltétel-kapcsolat megállapítása

Amennyiben nem szakértői előfeltétel-kapcsolatról van szó, hanem arra vagyunk kíváncsiak, hogy a mérési adataink szerint van-e A és B elemek (pl. feladatok) között előfeltétel-kapcsolat, vagy nincs, akkor a következőképpen járhatunk el: Tétélezzük fel, hogy A , B és C három feladatot jelent. Mindhárom feladatot ugyanaz a 100 tanuló írta meg. A válaszokat mindhárom feladat esetében dichotóm skálán (0, 1) kódoljuk. Ezután páronként kontingencia-táblázatot szerkesztünk, amelyben feltüntetjük azon tanulók számát, akik sem az A , sem a B feladatot nem tudták megoldani (00), csak az A feladatot tudták megoldani, a B -t nem (10), csak a B feladatot tudták megoldani, az A -t nem (01), illetve azon tanulók számát, akik mindkét feladatot meg tudták oldani (11) (18. táblázat):

		B feladat	
		0	1
A feladat	0	25	10
	1	60	5

18. táblázat:

Az A és B feladatok előfeltétel-kapcsolatának megállapítására szolgáló kontingencia-táblázat

A 18. táblázat alapján megállapítható, hogy a tanulók túlnyomó többsége az *A* feladatot meg tudta oldani, de a *B*-t nem. Ez alapján megállapítható, hogy az *A* feladat előfeltétele a *B* feladatnak.

A 19. táblázatban az *A* és *C* feladatok megoldási sikerességével kapcsolatos kontingencia-táblázatot látjuk. Bár az *A* feladatot kétszer annyian oldották meg, mint a *C* feladatot, mégis – a 00 és 11 állapotok nagy száma miatt – *A*-t és *C*-t egymástól függetlennek kell tekintenünk.

		C feladat	
		0	1
A feladat	0	30	5
	1	10	55

19. táblázat:

Az A és C feladatok előfeltétel-kapcsolatának megállapítására szolgáló kontingencia-táblázat

A 20. táblázat adataiból pedig megállapítható, hogy a *C* feladat is előfeltétele a *B* feladatnak. Az előfeltétel-kapcsolatok ismeretében – az előző alfejezetben látható módon – megállapítható a három feladat hierarchiáját leíró Hasse-diagram.

		C feladat	
		0	1
B feladat	0	40	45
	1	0	15

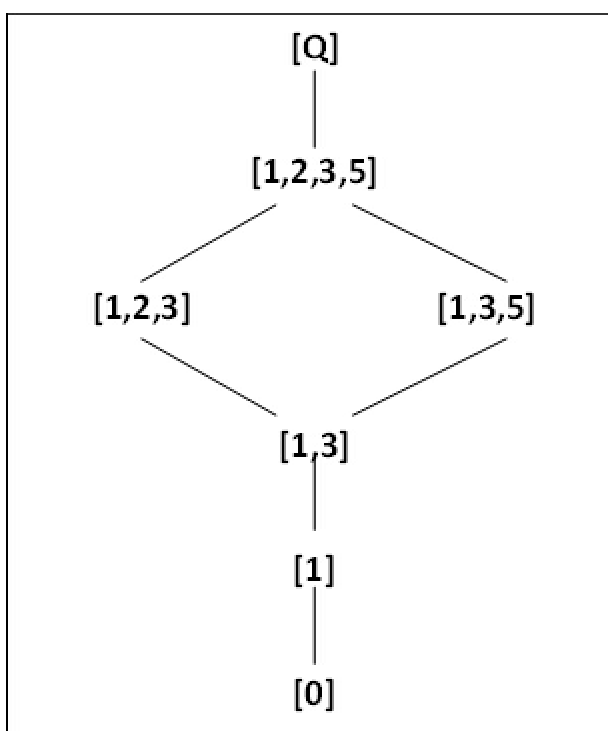
20. táblázat:

A B és C feladatok előfeltétel-kapcsolatának megállapítására szolgáló kontingencia-táblázat

Tanulási utak

A tudásszerkezet ismeretében kijelölhetjük a megismerési folyamat alternatív lehetőségeit is. Egy-egy ilyen, a [0] tudásállapottól a [Q] tudásállapotig vezető utat *tanulási útnak* (learning pathway) nevezünk. Ezek az utakon valósul meg az a pedagógiai elvárás, hogy az ismeretek fokozatosan és logikusan épüljenek egymásra. A tanulási utak ismerete tehát fontos a tanítási-tanulási folyamat – az ismeretelsajátítás sorrendje – tervezéséhez.

Látható például, hogy a 30. ábrán összesen hétféle tanulási utat lehet kijelölni, a 31. ábrán feltüntetett Hasse-diagramból levezethető tudásszerkezetben (32. ábra) viszont csak kétféle tanulási út létezik.



32. ábra:

A 31. ábrán látható Hasse-diagramnak megfelelő tudásszerkezet

3.2.2.2. A tudástérelmélet néhány alkalmazása

Ebben az alfejezetben néhány irodalmi példán keresztül bemutatjuk a tudástérelmélet eddig ismert alkalmazási területeit.

A tanulók tudásállapotának meghatározása

Az egyes tanulók tudásállapotának meghatározása alapján két fontos kérdésre kaphatunk választ:

1. Mit tud már a tanuló az adott témakörből?
2. Milyen új ismeretek elsajátítására van már felkészülve eddigi tudása alapján?

A kérdés az, hogyan lehet viszonylag egyszerűen és gyorsan meghatározni azt, hogy egy több száz elemből álló tudástérben elképzelhető több tízezer tudásállapot közül melyik rendelhető nagy valószínűséggel az adott tanulóhoz. Az eljárás lényegét egy egyszerű példán mutatjuk be.

Vegyünk egy öt elemből (feladatból) álló tudásteret, és tételezzük fel, hogy az elemek közötti hierarchikus kapcsolatot a 31. ábrán látható *Hasse*-diagram írja le. Az ebből a hierarchiából levezethető szakértői tudásszerkezet összesen hét tudásállapotot tartalmaz (32. ábra). Kérdés, hogy legfeljebb hány feladat megoldásával – vagy hány kérdés feltevésével – lehet eldönteni ideális esetben, hogy a lehetséges tudásállapotok közül melyik jellemzi a tanulót.

Könnyű belátni, hogy a tesztelést azzal a feladattal kell kezdeni, amely a lehetséges tudásállapotoknak körülbelül a felében fordul elő. Nagyon kockázatos lenne például az (1)-es feladattal kezdeni, hiszen ha ezt meg tudja oldani a tanuló – amire jó esélye van a tudásszerkezet alapján –, akkor csak egy tudásállapotot ([0]) zárhatunk ki, és még mindig maradhat lehetséges tudásállapot. Ugyanilyen oknál fogva nem lenne célszerű a (4)-es feladattal indítani, hiszen nagy valószínűséggel azt nem tudja megoldani a tanuló, és így ismét csak egy tudásállapotot ([Q]) tudnánk kizárni. A tesztelést tehát az (5)-ös feladattal célszerű kezdeni, ez ugyanis három tudásállapotban szerepel és négyben nem.

Tételezzük fel, hogy az (A) tanuló meg tudja oldani az (5)-ös feladatot. Ezzel az a négy tudásállapot ([0], [1], [1,3], [1,2,3]), amely nem tartalmazza az (5)-ös feladatot kiesett. A maradék (három) tudásállapot számára a szűkítésére most vagy a (2)-es, vagy a (4)-es feladatot célszerű megoldatni, erre a célra mindkét feladat egyformán jó. Tételezzük fel, hogy a (2)-es feladattal folytatjuk, és a tanuló azt is meg tudja oldani. Ezek után

már csak két tudásállapot ([1,2,3,5], [Q]) maradt. A kettő között a (4)-es feladattal tudunk különbséget tenni. Tételezzük fel, hogy a tanuló nem boldogult a (4)-es feladattal, így ki kell ejtenünk a (4)-es feladatot is tartalmazó [Q] tudásállapotot. Így, három feladat megoldatása után egyetlen egy tudásállapot maradt, az [1,2,3,5], tehát a tanuló jellemző tudásállapota ez lesz (21. táblázat).

A 22. táblázat egy olyan esetet szemléltet, amikor a (B) tanuló nem tudta megoldani az elsőnek adott (5)-ös feladatot. Ilyenkor a (3)-as feladattal célszerű folytatni a tudásállapot meghatározását. Tételezzük fel, hogy a tanuló ezt meg tudta oldani. A maradék két tudásállapot között a (2)-es feladattal tudunk különbséget tenni. Minthogy ezt a tanuló helyesen oldotta meg, ezért tudásállapota: [1,2,3]. A tudásállapot itt bemutatott meghatározását *adaptív kérdezésnek* is nevezik. Az adaptív kérdezés alapján lehetőségünk van a szóbeli vizsgáztatás gazdaságossá tételére. Ehhez azonban ismernünk kell a vizsgálni kívánt tudástér elemeire vonatkozó szakértői tudásszerkezetet.

<i>A feladat</i>		<i>Tudásállapot</i>						
<i>száma</i>	<i>megoldása</i>	[0]	[1]	[1,3]	[1,2,3]	[1,3,5]	[1,2,3,5]	[Q]
(5)	jó	kiesett	kiesett	kiesett	kiesett	maradt	maradt	maradt
(2)	jó					kiesett	maradt	maradt
(4)	rossz						maradt	kiesett

21. táblázat: Az (A) tanuló tudásállapotának meghatározása

<i>A feladat</i>		<i>Tudásállapot</i>						
<i>száma</i>	<i>megoldása</i>	[0]	[1]	[1,3]	[1,2,3]	[1,3,5]	[1,2,3,5]	[Q]
(5)	rossz	maradt	maradt	maradt	maradt	kiesett	kiesett	kiesett
(3)	jó	kiesett	kiesett	maradt	maradt			
(2)	jó			kiesett	maradt			

22. táblázat: A (B) tanuló tudásállapotának meghatározása

Amennyiben a tanulók tudásállapotát ismerjük, a tudásszerkezet alapján meg tudjuk mondani, hogy melyik tanuló, melyik feladat megoldásához szükséges tudás elsajátítására van már felkészülve. Tudásának fejlesztését azzal célszerű folytatni. Példánkban az *(A)* tanuló tudásállapota [1,2,3,5]. A 31. ábrán látható tudásszerkezetből következik, hogy az *(A)* tanuló a (4)-es feladat megoldásához szükséges új tudásra van előkészítve. (Az más kérdés, hogy ebben az esetben ezt a tudásszerkezet ismerete nélkül is meg lehet állapítani...). A *(B)* tanuló [1,2,3] tudásállapota csak az [1,2,3,5] „felső” tudásállapottal kapcsolódik, tehát a *(B)* tanuló tudásának fejlesztését az (5)-ös feladat megoldásához szükséges tudással célszerű folytatni, ugyanis előismeretei alapján erre van felkészülve, és nem a (4)-es feladathoz kapcsolható tudás befogadására.

Példánkban egy olyan idealizált esetet vizsgáltunk, ahol eltekintettünk a tudás instabilitásából adódó bizonytalanságtól, azaz úgy vettük, hogy ha a tanuló egyszer nem tudott megoldani egy adott feladatot, akkor azt később sem tudja megoldani, illetve az egyszer sikeresen megoldott feladatok megoldását a későbbiekben sem fogja soha elhibázni. A valóságos esetekre kifejlesztett eljárások figyelembe veszik az instabilitásból adódó bizonytalanságot is. Ez abban jelenik meg, hogy az egyes feladatok megoldásának értékelése után nem „esnek ki” bizonyos tudásállapotok, csak a valószínűségük csökken, míg a „maradt” tudásállapotok valószínűsége pedig nő. Ezen az elven működik az egyik legismertebb interaktív tesztelő és tanító program, az *ALEKS* (www.aleks.com).

Az *ALEKS* (*Assessment and LEarning in Knowledge Spaces*) internetes programot *Falmagne és munkatársai* hozták létre a University of California at Irvine-en. Ez az értékelő és oktató program az általános és középiskolai matematika (K-12 Mathematics) egyes fejezeteit (aritmetika, geometria, algebra, trigonometria, statisztika), a felnőttek számára szóló alkalmazott matematika (Adult and Continuing Professional Education) néhány területét (üzleti matematika, statisztika a viselkedéstudományban) és a kémia egyes témaköreit dolgozza fel.

Az program főbb részei: A program először megtanítja a válaszadás mi-kéntjét, törtek, képletek, grafikonok szerkesztését, képletek, reakció-egyenletek írását (Interactive Tutorial, Answer Editor). Ezt követően a kiválasztott témakörben és szinten 15-25 feladatot kell a tanulónak megoldania (Assessment). A tanuló válaszai alapján a program egy részletes értékelést készít (Report), amelyben – többek között – grafikonokon

szemlélteti az elért eredményeket (MyPie), és megfogalmazza, hogy tudásállapota alapján milyen új ismeretek befogadására van a tanuló felkészülve (Ready to Learn). A tanuló ez alapján, interaktív módon el is kezdheti a további ismeretek tanulását (Learning Mode). Ez az oktatóprogram tartalmaz – többek között – definíciógyűjteményt (Dictionary with definitions), gyakorló feladatokat a megoldás részletes magyarázatával, illetve a tanuló válaszána értékelésével (Problems with explanation and answer/error-analysis). Található még a programban egy, a tanuló eddigi eredményeit dokumentáló rész (Student's History), amelybe a szülő is betekinthet (Parent Modul).

Ez a program – az előző részben leírtak alapján – alkalmasan megválasztott 15-25 feladattal meghatározza a tanuló tudásállapotát egy olyan tudástérben, amely több száz elemből épül fel. Amint már azt korábban jeleztük, a tanuló egy-egy feladatra adott helyes vagy hibás válaszánaól függően egyes tudásállapotok valószínűsége csökken, másoké nő. A program minden feladat után kiszámolja a tudásállapotok valószínűsége alapján a tudásszerkezet jellemző entrópiáját (lényegében a tudásállapotok valószínűségszorzatának logaritmusát), és addig folytatja az újabb és újabb feladatok generálását, amíg ez az entrópia egy kritikus érték alá nem csökken. Ez akkor következik be, ha a tudásszerkezetet felépítő több ezer tudásállapot közül néhánynak a valószínűsége kiugró mértékben megnő. Ezek közül a legvalószínűbb tudásállapot lesz a tanuló jellemző tudásállapota (Falmagne, Doignon, Cosyn, és Thiéry, é. n.).

A tudástérelmélet kompetencia-performance alapú kiterjesztése

Amint láttuk, a tudástérelmélet alapvetően a feladatok megoldásához szükséges tudás felhasználását teszteli és nem a problémakör feladatainak megoldásához szükséges kompetenciákat (készségeket, képességeket). A Korossy (1999) által kidolgozott *kompetencia-performance alapú kiterjesztés* (competence performance approach) lehetővé teszi a problémakörhöz tartozó elemi kompetenciák feltérképezését, az egyes tanulók kompetenciaállapotának meghatározását. A kompetencia alapú tudástér létrehozásának lépései (Abari és Máth, 2010):

1. A tárgykör meghatározása.
2. A tárgykör felbontása elemi kompetenciákra.
3. A kompetenciák közötti előfeltétel-kapcsolat meghatározása.
4. A tárgykörhöz tartozó problémák (kérdések) meghatározása.

5. A problémák (kérdések) elemzése a megválaszoláshoz szükséges kompetencia-állapotoknak megfelelően.
6. A problémátér meghatározása és a problémák közötti előfeltétel-kapcsolatot leíró Hasse-diagram megrajzolása.

A módszer egyik kulcskérdése a kompetenciák közötti előfeltétel-kapcsolat rendszerének kidolgozása. Abari és Máth (2010) tanulmányukban a történelmi tudás mérésére dolgoztak ki egy adaptív kikérdezési eljárást a tudástérelmélet kompetencia-performancia alapú kiterjesztésének felhasználásával. A történelemtudás elsajátításának szintjei alapján a következő ún. mélységi előfeltétel-kapcsolatokat vizsgálták:

1. A témakörhöz való tartozás tudása.
2. A történelmi fogalmak többféle szempontú ismerete.
3. A tudáselemek közötti kapcsolatok.
4. A tudáselemek közötti mélyebb összefüggések, következtetések.

Feltételezték, hogy aki az egyik szinten nem tudja a választ, az ezzel kapcsolatos témában a föllette lévő szinteken sem fogja tudni. Megemlítik azonban, hogy a mélységi előfeltétel-kapcsolatokon kívül más előfeltétel-kapcsolat-típusok is szerepet kaphatnak a történelmi tudás kapcsolatrendszerében. Legújabb közleményükben Máth és Abari (2011) azt vizsgálta, hogy a történelmi tudás esetén, a tudástérelmélet alapján felállított modellek mennyire jól írják le az adatokat.

Bernholt és Parchmann (2011) a kémiai tudás komplexitásának leírására dolgoztak ki és teszteltek – jó eredménnyel – egy modellt, mely szerint a tanulók válaszait egy ötszintű hierarchia segítségével sikerült leírni:

1. Mindennapi tapasztalatok. „Nevez meg néhány hétköznapi éghető anyagot!”
2. Tények. „Mi szükséges ahhoz, hogy egy anyag égjen?”
3. Folyamatok. „Mi történik az égő anyaggal az égés során?”
4. Lineáris ok-okozatiság. „Miből lesz a korom a gyertya égésekor?”
5. Többszörös kapcsolatok. „Hogyan lehet meghatározni egy égési folyamat energiaváltozását?”

Úgy tűnik – és ez a módszer egyik nehézsége –, hogy a kompetencia-szintek meghatározása a különböző tudásterületeken más és más módon történik.

A fenomenográfiával kombinált tudástérelmélet

Az általunk kifejlesztett, fenomenográfiával kombinált tudástérelméletet sikeresen alkalmaztuk – többek között – tanulói definíciók elemzésére (Tóth és Ludányi, 2007a, 2007b; Ludányi, 2008). A módszer lényege, hogy a tanulók válaszaiból összeállított kategóriák hierarchiáját határozzuk meg a tudástérelmélet alapján.

A *fenomenográfia* (phenomenography) egy olyan kutatási módszer, amely azoknak a minőségileg különböző utaknak az azonosításával és leírásával foglalkozik, amelyek során az emberek a körülöttük lévő világ jelenségeit próbálják megérteni (Marton, 1981; 1986). A fenomenográfia alapvetése, hogy bár az egyének rendkívül különböző tapasztalatokat szereznek a környező világról, a minőségileg megkülönböztethető leírások száma véges. Az elemzéshez a vizsgált csoport válaszait össze kell gyűjteni, majd többször értékelni és csoportosítani, hogy azonosítsuk a minőségileg különböző leírásokat. Az azonosítás során a következő 3 fő elvre kell tekintettel lenni:

1. A kategóriákat a tanulói válaszokból kell képezni.
2. A kategóriák nem lehetnek kölcsönösen kizáró vagy egymásban foglaló kapcsolatban, de egymástól különbözőnek kell lenniük.
3. A válaszok kellően konkrétak legyenek ahhoz, hogy kategóriákba sorolhatók lehessenek.

A fenomenográfiás elemzés menete a következő:

1. A minőségileg különböző meghatározásokból kategóriák képzése, majd
2. a kapott kategóriák sorba rendezése a megértés növekvő szintje szerint.

Feltevésünk szerint a fenomenográfiás elemzés során nyert kategóriák közötti hierarchikus kapcsolatok leírására alkalmazható a tudástér-elmélet formalizmusa is. Ebben az esetben tudástér helyett a témakörrel kapcsolatos tanulói elképzelések leírásából létrehozott *katégoriateret* használjuk. A fenomenográfiával kombinált tudástérelméletben tehát a „tudástér” elemeit nem egy szakértő állapítja meg, hanem azok a tanulói válaszokból következnek. A tudástérelmélettel ellentétben az értékelés során nem a válaszok helyes vagy helytelen voltát értékeljük dichotóm skálán, hanem azt, hogy az adott kategória megjelenik-e a tanuló válaszában vagy sem. A fenomenográfiás értékelés során kapott kategóriák közötti hierarchiát viszont – ellentétben a fenomenográfiával – nem egy szakértő állapítja

meg, hanem a tudástérelmélet formalizmusa alapján határozzuk meg. A tudástérelmélet, a fenomenográfia és a kombinált elmélet legfontosabb jellemzőinek összehasonlítását láthatjuk a 23. táblázatban.

Tudástérelmélet	Fenomenográfiával kombinált tudástérelmélet	Fenomenográfia
A tudástér elemeit egy szakértő állítja össze.	A „tudástér” elemeit a tanulói válaszokból kapott kategóriák alkotják.	
A válaszok értékelése: jó (1) vagy rossz (0).	A válaszok értékelése: az adott kategóriát tartalmazza (1) vagy sem (0).	
	A kategóriák hierarchiáját a tanulói válaszokat legjobban leíró modell adja.	A kategóriákat egy szakértő rendezi hierarchiába.

23. táblázat:

A tudástérelmélet, a fenomenográfia és a fenomenográfiával kombinált tudástérelmélet fontosabb jellemzőinek összehasonlítása

A tudástérelmélet alkalmazása kollektív elemzésekre

Az eddig ismertetett alkalmazások vagy a szakértői hierarchia megalkotásával, vagy egy-egy tanuló tudásállapotának meghatározásával kapcsolatosak. Legalább ennyire fontos és érdekes egy-egy, valamilyen szempontból összetartozó tanulócsoporthoz jellemző tudásszerkezetének feltárása és elemzése.

Egy-egy tanulócsoporthoz jellemző tudásszerkezetének meghatározása számos vizsgálatra ad lehetőséget. Tanulmányozhatjuk különböző tényezők (pl. életkor, nem, iskolatípus, tanítási módszer) hatását a tudásszerkezet megváltozására, a tudás szerveződésére. A tanulócsoporthoz jellemző tudásszerkezetének a szakértői tudásszerkezettől való eltérése alapján fontos információkat kaphatunk az ismeretanyag tanításának optimális sorrendjére. Ezekben az elemzésekben nagy segítséget jelent a tudásszer-

kezet alapján megszerkeszthető jellemző tanulási út (critical learning pathway) és a feladatok hierarchiáját kifejező Hasse-diagram is.

Az ilyen jellegű kezdeti vizsgálatok a matematikai tudás mérésére vonatkoztak. A természettudományok – és főleg a kémia – terén Mare Taagepera (University of California, Irvine) és munkatársai végeztek úttörő jellegű vizsgálatokat az Egyesült Államokban.

Első tanulmányuk (Taagepera, Potter, Miller és Lakshminarayan, 1997) általános iskolás tanulók három alapvető fogalommal, a nyomással, a sűrűséggel és az anyagmegmaradás törvényével kapcsolatos fogalmi változásáról szól. Az egyenként 5-5 feladatból álló tesztek adatait a tudástérelmélet alapján is értékelték. Megállapították, hogy a témakör tárgyalását követő utóteszt alapján a tanulócsoportok tudásszerkezete egységesebbé vált az előteszthez képest. Valamennyi esetben meghatározták a tanulócsoportok jellemző tudásszerkezetét és a jellemző tanulási utat. A tudástérelmélet alapján elvégzett elemzésekben, valamennyi esetben figyelembe vették a tudás instabilitását.

A tudásszerkezet és a tudásállapot meghatározásánál ugyanis tekintettel kell lennünk azok *instabilitására*, a körülményektől függő változására is. Előfordulhat, hogy a tanuló elhibázza egy, a hierarchiában alacsonyabb szintén lévő feladatnak a megoldását, viszont meg tud oldani egy másik, a hierarchiában magasabb szinten lévő feladatot. Ez a tény – a tudástérelmélet szerint – nem az alapfeltevés megkérdőjelezését jelenti, hanem a tudás bizonyos fokú instabilitásának következménye.

Milyen tényezők, milyen körülmények okozhatják ezt az instabilitást? Ismeretes, hogy ha egy tanuló nagyon sokáig nem foglalkozott egy adott tudásterülettel, akkor ezeknek az ismereteknek a felidézése nehézségekbe ütközik. Ez különösen nagy hatással lehet az első feladatok megoldásának eredményességére. Ilyenkor gyakran előfordul, hogy a feladatsorban előrehaladva egyre inkább felszínre kerülnek a megoldáshoz szükséges ismeretek, egyre könnyebbé válik azok felidézése, egyre eredményesebbé válik a feladatmegoldás. Az is előfordulhat, hogy a tanuló helyes választ ad egy kérdésre annak ellenére, hogy nincs tisztában a kérdés helyes megválaszolásához szükséges ismeretekkel. Ennek a *szerecsés találatnak* (lucky-guess) a valószínűsége különösen nagy lehet a zárt végű (feleletválasztásos) tesztek esetén. Ugyanakkor még nyílt végű feladatok (pl. numerikus problémák) hibás megoldása is adhat helyes végeredményt. Az instabilitás leggyakoribb megjelenési formája a *véletlen hiba* (careless-

error), amelynek rengeteg oka lehet (figyelmetlenség, fáradtság, időhiány, külső zavaró tényezők stb.).

Taagepera és munkatársai számos tanulmányt közöltek tanulócsoporthoz kémiai ismeretekkel kapcsolatos tudásszerkezetéről. Vizsgálták egyetemi hallgatók szerves kémiával (Taagepera és Noori, 2000), kémiai kötésekkel (Taagepera, Arasasingham, Potter, Soroudi és Lam, 2002), sztöchiometriával (Arasasingham, Taagepera, Potter és Lonjers, 2004), a webalapú kémiatanítás hatásaival (Arasasingham, Taagepera, Potter, Martorell és Lonjers, 2005), és az atompályákkal (Vaarik, Taagepera és Tamm, 2008) kapcsolatos tudásszerkezetét. Újabban pedig a szimmetria és a sztereokémia területén végzett kontrollcsoportos kísérletek értékelésében használták a tudástér-elméletet (Taagepera, Arasasingham, King, Potter, Martorell, Ford, Wu és Kearney, 2011). Elemzéseik szinte kivétel nélkül a tudásállapotok számának összehasonlításából, a tanulók jellemző tudásszerkezetének meghatározásából, a jellemző tanulási út szakértői tanulási úttal történő összevetéséből állnak. Sohasem vállalkoztak azonban a tudásszerkezet modellezésére, a tudáselemek hierarchikus kapcsolatát leíró Hasse-diagram megkeresésére. (Megjegyezzük, hogy az esetek többségében ez érthető, hiszen 12-16 item esetén szinte reménytelen a válaszokhoz legjobban illeszkedő Hasse-diagram megtalálása.) Számításaik során minden esetben figyelembe vették a tudás instabilitását a szerencsés találat és a véletlen hiba valószínűségének becslésével. A tudásszerkezet modellezésére kidolgoztak egy visual-basic programot, amely segítségével meghatározható egy-egy feltételezett tudásszerkezet illeszkedésének jósága a tanulócsoporthoz (Potter, 2004).

A tanulók kémiai fogalmakkal kapcsolatos fogalmi fejlődésének, fogalmi váltásának és fogalmi megértési nehézségeinek vizsgálata során számos esetben mi is alkalmaztuk a tanulócsoporthoz jellemző tudásszerkezetének modellezésére a tudástér-elméletet. Eredményeink – bár a kémia területére vonatkoznak – bizonyítják, hogy a tudástér-elmélet és kiterjesztései alkalmasak a tudásszerkezet modellezésére, a tudásszerkezetben bekövetkező változások vizsgálatára, és ezért eredményesen használható a fogalmi fejlődés és a fogalmi váltás kutatásában valamennyi tantárgy esetében (Tóth, 2012).

A tudástér-elmélet alkalmazásával és az elmélet továbbfejlesztésével kapcsolatos legfontosabb eredményeinket a következők:

- Két különböző gimnázium tanulóinak alapvető fizikai és kémiai ismereteivel kapcsolatos felmérésünk során a tanulócsoporthok jellemző tudásszerkezetének meghatározásával sikerült kimutatnunk, hogy a memorizálási technikával tanult ismeretek izolált elemként jelennek meg a tudásszerkezetben. A két gimnázium tanulóinak nem csak tudásszerkezetükben, hanem a kritikus itemben is különböznek egymástól (Tóth, 2005; 2006; 2007; 2012).
- A 7–11. osztályos gimnáziumi tanulóakra jellemző tanulási utak elemzése során megállapítottuk, hogy a részecskeábrák értelmezéséhez szükséges ismeretek – amelyek a kémia olyan fontos alapfogalmait érintik, mint az anyag halmazállapotai, fizikai és kémiai összetétele – terén a tanulók tudásszerkezetében kimutatható változások többnyire időlegesen, gyakran a következő tanévben megindul a tudásszerkezet visszarendeződése. Különösen szembetűnő ez a visszarendeződés 11. évfolyamon, ahol a tanulók többsége már nem tanult kémiát (Tóth és Kiss, 2006; Kiss, 2008; Tóth, 2012).
- A 7–11. osztályos gimnáziumi tanulók különböző szinten (makroszinten, részecskeszinten és szimbólumszinten) leírt fizikai és kémiai változások azonosításával kapcsolatos tudásának elemzése során kiderült, hogy a tanulócsoporthok jellemző tanulási útja alapvetően különbözik a szakértői tanulási úttól. Ez arra utal, hogy a tankönyvekben szokásos fizikai változás → oldódás → kémiai változás tárgyalási sorrendet valószínűleg meg kellene változtatni: csak a fizikai és kémiai változások alapos, minden szintre kiterjedő megismerése után célszerű az oldódási folyamatokat elemezni (fizikai változás → kémiai változás → oldódás) (Tóth és Kiss, 2007; Kiss, 2008; Tóth, 2012).
- Ugyancsak a 7–11. osztályos gimnáziumi tanulók különböző szinten leírt fizikai és kémiai változások azonosításával kapcsolatos tudásának elemzése során kimutattuk, hogy a kémiai ismeretek gyarapodásával egyre inkább előtérbe kerül a folyamatok azonosítása szempontjából leghasználhatóbb részecskeszintű értelmezés a kezdeti makroszintű értelmezés helyett. Ez a változás megfigyelhető volt mind a különböző évfolyamra járó tanulócsoporthok, mind a kémiából jól és rosszul teljesítő csoportok tudásszerkezetének összehasonlítása esetén (Tóth és Kiss, 2007; Kiss, 2008; Tóth, 2012).

- A 7–11. osztályos gimnáziumi tanulók fizikai és kémiai változások különböző szintű (makroszintű és részecskeszintű) leírásával kapcsolatos tudásszerkezetének elemzése során kiderült, hogy ez a két szint vagy egymástól elkülönülve jelenik meg a tudásszerkezetben, vagy esetleg a részecskeszint a makroszintre épül rá. Ez arra utal, hogy a 7. osztályban tanult makroszintű leírást a későbbi kémiai tanulmányok sem tudják összekapcsolni a részecskeszintű értelmezéssel, vagy ha igen, akkor ez a kapcsolat nem a tudományos modellnek megfelelően jön létre. A tanulók jellemzően nem a részecskeszintű értelmezésre vezetik vissza a makroszkopikus leírást, hanem a makroszintű értelmezést vetítik le a folyamatok részecskeszintű tárgyalására (Tóth és Kiss, 2009; Kiss, 2008; Tóth, 2012).
- Kimutattuk, hogy a különböző feladatmegoldási módszert használó tanulóknak a feladat megoldásához kapcsolódó tudásszerkezete is különböző. A reakcióegyenlet alapján történő számításokat mólmódszerrel megoldó tanulók jellemző tudásszerkezetében az indikátorfeladat első-sorban az egyenes arányosságra és a moláris tömegre épül, a hármasszabályt használó tanulók tudásszerkezetében viszont csak az egyenes arányosságra épül (Tóth és Sebestyén, 2009; Tóth, 2012).
- A különböző megoldási stratégiát használó tanulók jellemző tudásszerkezete alapján megállapítottuk, hogy a tanulók a tanult megoldási módszereket (algoritmusokat) általában mechanikusan, az összetett feladat (indikátorfeladat) megoldásához szükséges fogalmi ismeretek mozgósítása nélkül alkalmazzák. A megoldási módszert nem ismerő tanulók esetében az összetett feladat megoldásához valamennyi fogalmi ismeret mozgósítására szükség van (Tóth és Sebestyén, 2009; Tóth, 2012).
- Két különböző, egymástól független vizsgálat során is azt kaptuk, hogy a tanulócsoporthoz jellemző tudásszerkezetében mindig az iskolában először tanult moláris mennyiségre, a moláris tömegre épül egy másik fontos moláris mennyiség, a moláris térfogat (Tóth, 2005, 2006, 2012; Tóth és Sebestyén, 2009).
- Egy általunk kifejlesztett új módszerrel, a fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélettel sikerült kimutatni a fogalmi fejlődés és a fogalmi váltás tudásszerkezetben megjelenő hatásait egy 7-11. osztályos gimnazisták körében az atom, a molekula és az ion meghatározásával kapcsolatban végzett kutatásunk során. Az iskolai oktatás

- hatására bekövetkező fogalmi fejlődés először a kezdeti, viszonylag egységes modell differenciálódásával, a tudásszerkezet diffúzzá válásával jár, majd egy letisztulási folyamat eredményeként újra egy viszonylag egységes modell alakul ki, amely vagy különbözik a kiindulási modelltől (fogalmi váltás), vagy nem. Az atom és az ion esetén kimutatható volt a fogalmi váltás, a molekula esetén nem (Tóth és Ludányi, 2007a, 2007b; Ludányi, 2008; Tóth, 2012).
- A tudástérelmélet segítségével sikerült megállapítanunk a tanárjelöltek kémiai számítási feladatok megoldására használt módszereinek előzetes tudásszerkezetét, és kimutattuk, hogy a néhány órás szakmódszertani képzés csak kismértékű tudásszerkezet-változást eredményez (Tóth, 2012).
 - A 7–11. osztályos gimnáziumi tanulók levegő összetételével kapcsolatos tudásszerkezetében kimutattuk azt az ismert tévképzetet, hogy a levegőbe kerülő víz hidrogénre és oxigénre bomlik. Ez nyomon követhető a különböző évfolyamra járó tanulók jellemző tanulási útjában a hidrogén helyzetének változásával és az alkotók ismereteivel kapcsolatos tudásszerkezetekben is. Biztató, hogy a 11. osztályosok egyik jellemző tudásszerkezetében már nem jelenik meg a fenti tévképzethez köthető oxigén → hidrogén → víz hierarchia (Ludányi, 2008; Tóth, 2012).
 - A 7–11. osztályos gimnáziumi tanulók levegő összetételével kapcsolatos válaszait abból a szempontból is elemeztük, hogy a bennük kimutatható három kategória (tapasztalati, molekuláris és pszeudotudományos) milyen kapcsolatban van egymással. Megállapítottuk, hogy a kezdetben egymástól elkülönülő kategóriák a kémiaoktatás hatására egyre inkább kapcsolati rendszert alkotnak. A 8. évfolyamtól jellemző modellben a pszeudotudományos kategória kizárólag a molekuláris (tudományos) kategóriára épül. Ez azzal értelmezhető, hogy a kémiában a pszeudotudományos tudás kialakulásának legfőbb oka a molekuláris ismeretek felszínes elsajátítása, és nem pedig a tapasztalati és a molekuláris értelmezés keveredése (Ludányi, 2007, 2008; Tóth, 2012).
 - Budapesti, debreceni és rostocki elsőosztályos tanulók vízzel kapcsolatos tudásszerkezetének elemzésével kimutattuk, hogy a tanulók előismeretei kissé különböznek attól függően, hogy milyen környezetből érkeznek az iskolába. Általában a párolgás értelmezése található a jellemző tanulási utak végén, illetve a feladathierarchia csú-

csán. A párolgás értelmezése esetén lehet a legkevésbé támaszkodni a tapasztalati tudásra, és a párolgás értelmezése igényli leginkább az anyag részecskemodelljének ismeretét. Ugyancsak a párolgás értelmezése bizonyult a kritikus feladatnak valamennyi tanulócsoport esetében (Tóth, Dobó-Tarai, Revák-Markóczy, Schneider és Oberländer, 2007; Dobóné, 2008; Tóth, 2012).

- Kimutattuk, hogy az ún. Rostocki Modell alapján tervezett és megvalósított tanítási program hatására az elsősztályos tanulók vízzel kapcsolatos ismereteinek leírása a kezdeti mindennapi fogalmak szintjéről elmozdult a tudományos fogalmak irányába. A tudásszerkezet-elemzés azonban azt mutatja, hogy a gyerekek többsége még a fogalmi fejlődés kezdetén van, amelyre az jellemző, hogy egymástól függetlenül, egymás mellett él a mindennapi és a tudományos fogalmi rendszer (Dobóné, 2008; Tóth, Revák-Markóczy, Schneider, Oberländer és Dobó-Tarai, 2008; Tóth, 2012).
- Új eljárásokat dolgoztunk ki a tanulócsoportokra jellemző tanulási utak meghatározására. Ezek előnye az eddig használttal szemben, hogy nem igénylik a tudásszerkezet előzetes meghatározását (Tóth, 2005, 2012).
- Először alkalmaztuk tanulócsoportokra esetén a kritikus item (kritikus feladat) fogalmát. A kritikus item azt a feladatot jelenti, amelynek megoldásához szükséges ismeretekre a tanulócsoport többsége van felkészülve (Tóth, 2005, 2012).
- Példákat mutattunk arra, hogy a tudástérelmélet kiterjesztésével lényegében minden olyan válaszkategória-tér elemezhető, amelyben a válaszkategóriák nem zárják ki egymást, és közöttük előfeltételkapcsolat létezhet (Tóth, 2012).

*

A szakkönyv összeállítását az OTKA (K-105262) is támogatta.

Szakirodalom

- Abari Kálmán és Máth János (2010): A történelmi tudás mérése a tudás-tér-elmélet segítségével. In: Münnich, Á. és Hunyady, Gy. (szerk.): *A nemzeti emlékezet vizsgálatának pszichológiai szempontjai*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 191–216.
- Acar, B. és Tarhan, L. (2008): Effects of cooperative learning on students' understanding of metallic bond. *Research in Science Education*, 38, 401–420.
- Adey, P. (1999): Gondolkodtató természettudomány. A természettudomány az általános gondolkodási képesség kapuja. *Iskolakultúra*, 9 (10), 33–45.
- Akkus, H. Kadayifci, H. és Atasoy, B. (2011): Development and application of a two-tier diagnostic test to access secondary students' understanding of chemical equilibrium concepts. *Journal of Baltic Science Education*, 10 (3), 146–155.
- Albert, D. (Ed.) (1994): *Knowledge Structures*. (www.uni-graz.at/public-docs/publications/albert1994.pdf)
- Altiparmak, M. és Yazici, N. N. (2010): Easy biotechnology: Practical material designs within team activities in learning biotechnological concepts and processes. *Procedia Social Behavioral Sciences*, 2, 4115–4119.
- Arasasingham, R., Taagepera, M., Potter, F. és Lonjers, S. (2004): Using knowledge space theory to assess student understanding of stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 81, 1517–1523.
- Arasasingham, R., Taagepera, M., Potter, F., Martorell, I. és Lonjers, S. (2005): Assessing the effect of web-based learning tools on student understanding of stoichiometry using knowledge space theory. *Journal of Chemical Education*, 82, 1251–1262.
- Arányiné Haman Ágnes (2004): *Kooperatív tanulási és tanítási technikák alkalmazása a kémiaoktatásban*. Flaccus Kiadó, Budapest.
- Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., Smith, E. E. és Bem, D. J. (1997): *Pszichológia*. Osiris, Budapest
- Babbie, E. (2003): *A társadalomtudományi kutatás gyakorlata*. Hatodik, átdolgozott kiadás. Balassi Kiadó, Budapest.

- Bahar, M., Johnstone, A. H. és Sutcliffe, R. G. (1999): Investigation of students' cognitive structure in elementary genetics through word association tests. *Journal of Biological Education*, 33 (3), 134–141.
- Bárány Zsolt Béla és Tóth Zoltán (2015): A p-primek mint a fogalmi megértési problémák forrásai a kémiában. *Középiskolai Kémiai Lapok* (megjelenés alatt)
- Barke, H.-D. (1993): Chemical education and spatial ability. *Journal of Chemical Education*, 70 (12), 968–971.
- Barke, H.-D. (1997): The structure-oriented approach: Demonstrated by interdisciplinary teaching of spatial abilities. In: Graeber, W., Bolte, C. (szerk.): *Scientific Literacy*. IPN, Kiel. 377–390.
- Barke, H.-D. és Engida, T. (2001): Structural chemistry and spatial ability in different cultures. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2 (3), 227–239.
- Barke, H.-D., Hazari, A. és Yitbarek, S. (2009): *Misconceptions in chemistry*. Addressing perceptions in chemical education. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bayrak, B. K. (2013): Using two-tier test to identify primary students' conceptual understanding and alternative conceptions in acid base. *Mevlana International Journal of Education*, 3 (2), 19–26.
- Beck Mihály (1977): *Tudomány – áltudomány*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Benda József (2002a): A kooperatív pedagógia szocializációs sikerei és lehetőségei Magyarországon I. *Új Pedagógiai Szemle*, 2002. szeptember <http://www.oki.hu/upsz>
- Benda József (2002b): A kooperatív pedagógia szocializációs sikerei és lehetőségei Magyarországon II. *Új Pedagógiai Szemle*, 2002. október <http://www.oki.hu/upsz>
- Bennett, S. W. (2008): Problem solving: can anybody do it? *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 60–64.
- Bernholt, S. és Parchmann, I. (2011): Assessing the complexity of students' knowledge in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 12 (2), 167–173.
- Bodner, G. M. (2003): Problem solving: the difference between what we do and what we tell students to do. *University Chemistry Education*, 7, 37–45.

- Bodner, G. M. és Domin, D. S. (2000): Mental models: The role of representations in problem solving in chemistry. *University Chemistry Education*, 4, 24–30.
- Bohdaneczky Lászlóné (2015a): Kooperatív technikák alkalmazása a kémia tanításában és tanulásában. In: Bohdaneczky, Sarka és Tóth: *Kémia tanárok szak módszertani továbbképzése*. SZAKTÁRNET-könyvek, Debreceni Egyetem, Debrecen, 33–44.
- Bohdaneczky Lászlóné (2015b): A projekt módszer alkalmazása a kémia tanításában. In: Bohdaneczky, Sarka és Tóth: *Kémia tanárok szak módszertani továbbképzése*. SZAKTÁRNET-könyvek, Debreceni Egyetem, Debrecen, 45–58.
- Bohdaneczky Lászlóné (2015c): Számítógépes programok a kémia tanár szolgálatában. In: Bohdaneczky, Sarka és Tóth: *Kémia tanárok szak módszertani továbbképzése*. SZAKTÁRNET-könyvek, Debreceni Egyetem, Debrecen, 59–72.
- Bolte, C., Streller, S. és Hofstein, A. (2013): How to motivate students and raise their interest in chemistry education In: Eilks és Hofstein (szerk.) *Teaching Chemistry – A Studybook*, Sense Publishers, 67–95.
- Cachapuz, A. F. C. és Maskill, R. (1987): Detecting changes with learning in the organization of knowledge: use of word association test to follow the learning of collision theory. *International Journal of Science Education*, 9 (4), 491–504.
- Cachapuz, A. F. C. és Maskill, R. (1989): Using word association in formative classroom tests: Following the learning of Le Chateiler's principle. *International Journal of Science Education*, 11, 235–246.
- Cardellini, L. és Bahar, M. (2000): Monitoring the learning of chemistry through word association tests. In: Fogliani (Ed.): *Australian Chemistry Resource Book*, Vol. 19. Melbourne, The Royal Australian Chemical Institute, 59–69.
- Cardellini, L. (2006): Fostering creative problem solving in chemistry through group work. *Chemistry Education Research and Practice*, 7, 131–140.
- Cardellini, L. (2008): A note on the calculation of the Garskof-Houston relatedness coefficient. *Journal of Science Education*, 9 (1), 48–51.
- Cassels, A. és Johnstone, A. H. (1980): Understanding of non-technical words in science. Idézi: Prophet, B. és Towse, P. (1999): Pupils'

- understanding of some non-technical words in science. *School Science Review*, 81 (295), 79.
- Cathcart, L. A., Stieff, M., Marbach-Ad, G., Smith, A. C és Frauwirth, K. A. (2010): Using knowledge space theory to analyze concept maps. In: *Proceedings of 9th International Conference of the Learning Sciences*, Vol. 1.
- Cetin-Dindar, A. és Geban, O. (2011): Development of a three-tier test to access high school students' understanding of acids and bases. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 15, 600–604.
- Chambliss, M. J. (2002): The characteristics of well-designed science textbooks. In: J. Otero, J. A. Leon és A. C. Graesser, eds: *The Psychology of Science Text Comprehension*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, 51–72.
- Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F. és Mocerino, M. (2007): The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education: Research and Practice*, 8 (3), 293–307.
- Chinn, C. A. és Brewer, W. F. (1993): The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63 (1), 1–49.
- Cokelez, A. és Dumont, A. (2005): Atom and molecule: upper secondary school French students' representations in long term memory. *Chemistry Education: Research and Practice*, 6 (3), 119–135.
- Cooper, G. (1998): *Research into cognitive load theory and instructional design at UNSW*. <http://dwb4.unl.edu/Diss/Cooper/UNSW.htm> Utolsó letöltés: 2015. 08. 11.
- Cooper, M. M., Cox, C. T. Jr., Nammouz, M. és Case, E. (2008): An assessment of the effect of collaborative groups on students' problem-solving strategies and abilities. *Journal of Chemical Education*, 85, 866–872.
- Cracolice, M. S., Deming, J. C. és Ehlert, B. (2008): Concept learning versus problem solving: A cognitive difference. *Journal of Chemical Education*, 85, 873–878.
- Csapó Benő (1992): *Kognitív pedagógia*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Csapó Benő (2000): A tantárgyakkal kapcsolatos attitűdök összefüggései. *Magyar Pedagógia*, 100 (3), 343–366.

- Csapó Benő és Szabó Gábor (szerk.) (2012): *Tartalmi keretek a természettudomány diagnosztikus értékeléséhez*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, <http://www.ntk.hu/823> Utolsó letöltés: 2015. 05. 04.
- Cser János (1939): *A magyar gyermek szókincse*. Gyakorisági és korszótár. Magyar Pedagógiai Társaság, Budapest.
- Csíkos Csaba (2007): *Metakogníció. A tudásra vonatkozó tudás pedagógiája*. Műszaki Kiadó, Budapest.
- Danili, E. és Reid, N. (2006): Cognitive factors that can potentially affect pupils test performance. *Chemistry Education Research and Practice*, 7 (2), 64–83.
- Daru Katalin és Tóth Zoltán (2014a): Óvodások időjárással kapcsolatos szóasszociációinak elemzése. In: Kozma T. és Juhász E. (szerk.): *Oktatáskutatás határon innen és túl*. Szeged, Belvedere Meridionale, 39–57.
- Daru Katalin és Tóth Zoltán (2014b): A szóasszociációs módszer alkalmazhatósága óvodások időjárással kapcsolatos tudásszerkezetének vizsgálatára. In: Bárdos J., Kis-Tóth L. és Racsko R. (szerk.): *Új kutatások a neveléstudományokban*. Líceum Kiadó, Eger, 51–62.
- de Jong, O. (1997): *Problem-posing experiments in chemistry classrooms: a study of teaching dilemmas*. 4th ECRICE, York. 1997.
- de Jong, O. (2006): *Context-based chemical education: How to improve it?* <http://old.iupac.org/publications/cei/vol8/0801xDeJong.pdf> Utolsó letöltés: 2015. 08. 18.
- di Sessa, A. A. (1983): *Phenomenology and the evolution of intuition*. http://edutech.csun.edu/eduwiki/index.php/DiSessa,_1983 utolsó látogatás: 2015. július 15.
- di Sessa, A. A. (1993): Towards an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2-3), 105–225.
- di Sessa, A. A. (1988): Knowledge in pieces. In: G. Forman and P. Pufall (Eds.), *Constructivism in the Computer Age*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 49–70.
- Dobi János (2002): Megtanult és megértett matematikatudás. In: *Az iskolai tudás* (Szerk.: Csapó B.), 2. kiadás, Osiris Kiadó, Budapest, 177–199.
- Dobóné Tarai Éva (2004a): Az oldódás – ahogy a gyerekek látják. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 31 (4), 352–361.
- Dobóné Tarai Éva (2004b): Gyermektudományos elméletek az égéssel kapcsolatban. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 31 (2), 186–194.

- Dobóné Tarai Éva (2008a): *Általános iskolai tanulók anyagszerkezettel és anyagi változásokkal kapcsolatos fogalmainak fejlődése*. Doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem, Kémia Doktori Iskola, Debrecen.
- Dobóné Tarai Éva (2008b): *Általános iskolai tanulók anyagszerkezettel és anyagi változásokkal kapcsolatos fogalmainak fejlődése. Középiskolai Kémiai Lapok*, 36 (1), 75–89.
- Doignon, J.-P. és Falmagne, J.-C. (1999): *Knowledge Spaces*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Domin, D. S. (1999): A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education*, 76 (4), 543–547.
- Doymus, K. (2007): Effect of a cooperative learning strategy on teaching and learning phases of matter and one-component phase diagrams. *Journal of Chemical Education*, 84 (11), 1857–1860.
- Doymus, K. (2008): Teaching chemical equilibrium with jigsaw technique. *Research in Science Education*, 38, 249–260.
- Dóra László (2015): 3 és 5 – a problémamegoldás hatékonyságának csoportlétszáma. *Iskolakultúra*, 25 (1), 35–50.
- Drechsler, M. és Schmidt, H.-J. (2005a): Upper secondary school students' understanding of models used in chemistry to define acids and bases. *Science Educational International*, 16 (1), 39–53.
- Drechsler, M. és Schmidt, H.-J. (2005b): Textbooks' and teachers' understanding of acid-base models used in chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 6 (1), 19–35.
- Eilks, I. (2002): Teaching 'Biodiesel': A sociocritical and problem-oriented approach to chemistry teaching and students' first views on it. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3 (1), 77–85.
- Ercan, F., Tasdere, A. és Ercan, N. (2010): Observation of cognitive structure and conceptual changes through word association tests. *Journal of Turkish Science Education*, 7 (2), 155–157.
- Ervin, S. M. (1961): Changes with Age in the Verbal Determinants of Word-Association, *American Journal of Psychology*, 74:3 (1961: Sept.) p. 361. <http://dyna2.nc.hcc.edu.tw/dyna/data/user/hs1283/files/201102121306211.pdf> (Letöltés: 2013. 08. 02.)
- Eybe, H. és Schmidt, H.-J. (2001): Quality criteria and exemplary papers in chemistry education research. *International Journal of Science Education*, 23 (2), 209–225.

- Eybe, H. és Schmidt, H.-J. (2004): Group discussions as a tool for investigating students' concepts. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5 (3), 265–280.
- Eysenck, M. W. és Keane, M. T. (1997): *Kognitív pszichológia* (Hallgatói kézikönyv), Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Falus Iván (szerk.) (2004): *Bevezetés a pedagógiai kutatás módszereibe*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Falus Iván és Ollé János (2000): *Statisztikai módszerek pedagógusok számára*. Okker Kiadó, Budapest.
- Falus Iván és Ollé János (2008): *Az empirikus kutatások gyakorlata. Adatfeldolgozás és statisztikai elemzés*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Faraday M. (é.n.): *A gyertya természetrajza, I-VI*. <http://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/teazo/karacson/gyertya.html> Utolsó látogatás: 2014. 02. 04.
- Fatalin László (2008): *Hierarchikus fogalmi struktúrák vizsgálata gráfokkal*. PhD értekezés. DE Matematikai és Számítástechnikai Doktori Iskola, Debrecen.
- Falmagne, J.-C., Doignon, J.-P., Cosyn, E. és Thiéry, N. (évszám nélkül): *The assessment of knowledge, in theory and in practice*. www.aleks.com/aleks/science_Behind_ALEKS.pdf
- Falmagne, J.-C., Doignon, J.-P., Koppen, M., Villano, M. és Johannesen, L. (1990): Introduction to knowledge spaces: How to build, test, and search them. *Psychological Review*, 2. 201–224.
- Falus Iván (2006): *A tanári tevékenység és a pedagógusképzés új útjai*. Gondolat Kiadó, Budapest.
- Felder, R. M. (1996): Active, inductive, cooperative learning: An instructional model for chemistry?" *Journal of Chemical Education*, 73 (9), 832–836.
- Forgács József (2010): *Kémia érettségi feladatsorok*. Műszaki Kiadó, Budapest
- Gabel, D. (1999): Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76 (4), 548–554.
- Gabnai Edit és Németh Veronika (2007): A kőolaj és földgáz tanítása csoportmunkával. *A Kémia Tanítása*, 15 (5), 7–13.

- Galton, F. (1879): Psychometric experiments. *Brain*, 2, 149-62. <http://galton.renoster.com/essays/1870-1879/galton-1879-brain-psychometric-experiments/galton-1879-brain-psychometric-experiments.pdf> Letöltés: 2013. 07. 20.
- Garnett, P., Garnett P. és Hackling, M. (1995): Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25 (1), 69.
- Garskof, B. E. és Houston, J. P. (1963): Measurement of verbal relatedness: An idiographic approach. *Psychological Review*, 70 (3), 277–288.
- Gathercole, S. E. és Alloway, T. P. (2007): *Understanding working memory. (A classroom guide)* Working Memory and Learning, London. <http://www.york.ac.uk/res/wml/Classroom%20guide.pdf> utolsó letöltés: 2015. 08. 10.
- Gilbert, J. K. és Treagust, D. (szerk.) (2009): Multiple representations in chemical education. The Netherlands, Springer.
- Gósy Mária és Kovács Miklós (2001): A mentális lexikon a szóasszociációk tükrében. *Magyar Nyelvőr*, 125 (3), 330–354.
- Gussarsky, E. és Gorodetzky, M. (1988): On the chemical equilibrium concept: Constrained word associations and conception. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 319–333.
- Gussarsky, E. és Gorodetzky, M. (1990): On the concept „chemical equilibrium”: The associative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 194–204.
- Habók Anita (2008): Fogalmi térképek. *Magyar Pszichológiai Szemle*, 63 (3), 519–546.
- Hammer, D. (1996): Misconceptions or p-primes: How may alternative perspectives of cognitive structure influence instructional perceptions and intentions? *The Journal of the Learning Sciences*, 5 (2), 97–127.
- Harrison, A. G. és Treagust, D.F. (1996): Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80 (5), 509–534.
- Hinton, M. E. és Nakhleh, M. B. (1999): Students' microscopic, macroscopic, and symbolic representations of chemical reactions. *Chemical Educator*, 4 (4), 158–167.

- Horton, C. (2007): *Student preconceptions and misconceptions in chemistry* (Student alternative conceptions in chemistry).
www.daisley.net/hellevator/misconceptions/misconceptions.pdf
- Horváthné Zilahy Ágnes (2004): Hatékony tanulás. *Új Pedagógiai Szemle*, 2004. december <http://www.oki.hu/upsz>
- Hovardas, T. és Korfiatis, K.J. (2006): Word associations as a tool for assessing conceptual change in science education. *Journal of Learning and Instruction*, 16, 416–432.
- Hynd, C. R. és Guzzetti, B. (1998): When knowledge contradicts intuition: Conceptual change. In: C. R. Hynd, ed.: *Learning From Text Across Conceptual Domains*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, 139–163.
- Isa, A. M. és Maskill, R. (1982): A comparison of science word meaning in the classrooms of two different countries: Scottish integrated science in Scotland and in Malaysia. *British Journal of Educational Psychology*, 52, 188–198.
- Jacob, C. (2001): Analysis and synthesis: Interdependent operations in chemical language and practice. *International Journal of Philosophy of Chemistry*, 7 (1), 31–50. <http://www.hyle.org/journal/issues/7/jacob.htm> (Utolsó látogatás: 2015. 08. 14.)
- Johnson, P. M. (1998): Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory. *International Journal of Science Education*, 20 (4), 393–412.
- Johnstone, A. H. (1982): Macro- and micro-chemistry. *School Science Review*, 64, 377–379.
- Johnstone, A. H. (1991): Why is science difficult to learn? Things are seldom like they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.
- Johnstone, A. H. (1993): Introduction. In: Wood és Sleet: *Creative problem solving in chemistry*. The Royal Society of Chemistry, London. iv-vi.
- Johnstone, A. H. (2000a): A kémia természete. *Magyar Kémikusok Lapja*, 55 (8–9), 298.
- Johnstone, A. H. (2000b): Chemical Education Research: Where from here? *University Chemistry Education*, 4 (1), 34–38.
- Johnstone, A. H. (2001): Can problem solving be taught? *University Chemistry Education*, 5, 69–73.

- Johnstone, A. H. (2010): You can't get there from here. *Journal of Chemical Education*, 87 (1), 22–29.
- Johnstone, A. H. és Otis, K. H. (2006): Concept mapping in problem based learning: a cautionary tale. *Chemistry Education Research and Practice*, 7, 84–95.
- Johnstone, A. H., Sleet, R. J. és Vianna, J. F. (1994): An information processing model of learning: its application to an undergraduate laboratory course in chemistry, *Studies in Higher Education*, 19, 77–88.
- Johnstone, A. H., Watt, A. és Zaman, T. U. (1998): The students' attitude and cognition change to a physics laboratory. *Physical Education*, 33, 22–29.
- Kagan, S. (2001): *Kooperatív Tanulás*. Önkonet Kft., Budapest.
- Kádár Anett és Farsang Andrea (2012): *Általános és középiskolai tanulók földrajz tantárgyhoz köthető tévképzetei*. http://geography.hu/mfk2012/pdf/Kadar_Farsang.pdf (Letöltés: 2013. 03. 23.)
- Kárpáti Andrea (2002): A vizuális műveltség. In: Csapó Benő (szerk.): *Az iskolai műveltség*. Osiris Kiadó, Budapest. 91–133.
- Kárpáti Andrea (2003): Mélni a mérhetetlent. Teljesítményértékelés a vizuális nevelésben. *Iskolakultúra*, 13 (8) 95–106.
- Kárpáti Andrea és Ollé János (2007): Tanárok informatikai képességeinek és pedagógiai stratégiáinak integrált fejlesztése. *Iskolakultúra*, 17 (4), 14–23.
- Kent, H. H. és Rosanoff, A. J. (1910a): A study of association in insanity. *American Journal of Insanity*, 67 (1), 37–96.
- Kent, H. H. és Rosanoff, A. J. (1910b): A study of association in insanity. *American Journal of Insanity*, 67 (2), 317–390.
- Kind, V. (2004): *Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas*. www.chemsoc.org/learnnet/miscon.htm
- Kirschner, P. A., Sweller, J. és Clark, R. E. (2006): Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experimental, and inquiry-based learning. *Educational Psychology*, 41 (2), 75–86.
- Kiss Edina és Tóth Zoltán (2002): Fogalmi térképek a kémia tanításában. In: *Módszerek és Eljárások*, 12. (Szerk.: Tóth Z.), DE TTK Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen, 63–69.
- Kiss Edina, Soltész György és Tóth Zoltán (2005): A Barke-féle természetleleti teszt. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 32 (2), 141–154.

- Kiss Edina (2008a): *A tanulók tévképzeteinek és fogalmi fejlődésének vizsgálata a kémia néhány alapfogalma területén*. Doktori (PhD) értekezés. Debreceni Egyetem, Kémia Doktori Iskola, Debrecen.
- Kiss Edina (2008b): A tanulók tévképzeteinek és fogalmi fejlődésének vizsgálata a kémia néhány alapfogalma területén. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 35 (5), 374–387.
- Kiss Edina és Németh Ágnes Éva (2002): Gyűrűk jelölése a triciklodekánok perspektivikus ábráiban. Tanulói megoldások értékelése. In: Tóth Zoltán (szerk.): *Módszerek és eljárások*, 12., Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen. 150–158.
- Kiss Edina és Soltész György (2000): Gyűrűk megkeresése a triciklodekán-izomerek képleteiben. A tanulók megoldási algoritmusai. In: Tóth Zoltán (szerk.): *Módszerek és eljárások*, 11., Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen. 29–36.
- Kluknavszky Ágnes és Tóth Zoltán (2009): Tanulócsoporthoz kapcsolatos fogalmak vizsgálata szóasszociációs módszerrel. *Magyar Pedagógia*, 109 (4) 321–342.
- Knausz Imre (é.n.): Kooperatív tanulás. In: *A tanítás mestersége*. <http://mek.oszk.hu/01800/01817/01817.htm#16>
- Kohlmann Ágnes (2012): Németül tanuló diszlexiások idegen nyelvi szóasszociációs mintázatai. VI. Alkalmazott Nyelvészeti Doktorandusz-konferencia Konferenciakötet, 89–101. (<http://www.nytud.hu/alknyelvdok12/proceedings12/index.html>) (Letöltés: 2015. 08. 16.)
- Korom Erzsébet (1997): Naiv elméletek és tévképzetek a természettudományos fogalmak tanulásában. *Magyar Pedagógia*, 97 (1), 19–41.
- Korom Erzsébet (2003): A fogalmi váltás kutatása. Az anyagszerkezeti ismeretek változása 12-18 éves korban. *Iskolakultúra*, 13 (8), 84–94.
- Korom Erzsébet és Nagy Lászlóné (2012): A fizikai és kémiai fogalmak megértését segítő oktatási módszerek alkalmazásának tapasztalatai a természetismeret tantárgy tanításában, *A Kémia Tanítása*, 20 (1), 3–15.
- Korom Erzsébet (2005): *Fogalmi fejlődés és fogalmi váltás*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Korossy, K. (1999): Modeling knowledge as competence and performance. In: Albert, D., Lukas, J. (eds.): *Knowledge Spaces: Theories, Empirical Research, and Applications*. Mahwah – Lawrence Erlbaum Associates. 1999. 103–132.

- Kostova, Z. és Radoynovska, B. (2008): Word association test for studying conceptual structures of teachers and students. *Bulgarian Journal of Science and Education Policy*, 2 (2), 209–231.
- Kovács László (2009): Irányított kapcsolatok a mentális lexikonban. *Modern Nyelvoktatás*. 15 (1-2), 29–40.
- Kovács László (2011): Asszociációs vizsgálatok alkalmazási lehetőségei márkák kutatásában. In: (szerk. n.) *XXI. Magyar Alkalmazott Nyelvészeti Kongresszus*, Szombathely, 231-236. old. www.kjf.hu/manye/2011_szombathely/kotet/27_kovacs_laszlo.pdf (Letöltés: 2013. 08. 18.)
- Kovácsné Csányi Csilla (2004): A szén és vegyületei. Projekt 8. osztályban. *A Kémia Tanítása*, (2).
- Kulcsár Zsolt (é.n.): *A negyedik út: konnektivizmus*. <http://www.scribd.com/doc/11504796/A-negyedik-ut-konnektivizmus> (Utolsó letöltés: 2011. 04. 21.)
- Lazarowitz, R. és Tamir, P. (1994): Research on using laboratory instruction in science. In: Gabel, D. (szerk.): *Handbook of research on science teaching and learning*. MacMillan, New York. 94–128.
- Lee, K. W. (1985): Cognitive variables in problem solving in chemistry. *Research in Science Education*, 15, 43–50.
- Lee, K. W. L. és Fensham, P. J. (1996): A general strategy for solving high school electrochemistry problems. *International Journal of Science Education*, 18, 543–555.
- Lee, K. W. L., Goh, N. K., Chia, L. S. és Chin, C. (1996): Cognitive variables in problem solving in chemistry: A revisited study. *Science Education*, 80, 691–710.
- Lee, K-W. L., Tang, W-U., Goh, N-K. és Chia, L-S. (2001): The predicting role of cognitive variables in problem solving in mole concept. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2, 285–301.
- Lee, O. (2001): Culture and language in science education: What do we know and what do we need to know? *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (5), 499–501.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D. és Blakeslee, T. D. (1993): Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (3), 249–270.

- Lengyel Zsolt (2008): *Magyar Asszociációs Normák Enciklopédiája*. Tinta Könyvkiadó.
- Ludányi Ágota, Ludányi Lajos, Szabó Krisztián és Tóth Zoltán (2015a): *Kémia 9. Kísérleti tankönyv*. Oktatókutató és Fejlesztő Intézet, Budapest.
- Ludányi Ágota, Ludányi Lajos, Szabó Krisztián és Tóth Zoltán (2015b): *Kémia 10. Kísérleti tankönyv*. Oktatókutató és Fejlesztő Intézet, Budapest.
- Ludányi Lajos (2007a): A levegő összetételével kapcsolatos tanulói koncepciók vizsgálata. *Iskolakultúra*, 17 (10), 50–63.
- Ludányi Lajos (2007b): Kémiai Babel. *Iskolakultúra*, 17 (1), 3–18.
- Ludányi Lajos (2007c): Tábla és kréta vagy PowerPoint? Középiskolai Kémiai Lapok, 34 (2), 154–168.
- Ludányi Lajos (2008): *A tanulók kémiai részecskékkal kapcsolatos fogalmi rendszere*. Doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem, Kémi Doktori Iskola, Debrecen.
- Ludányi Lajos (2009a): *A tanulók kémiai részecskékkal kapcsolatos fogalmi rendszere*. Középiskolai Kémiai Lapok, 36 (2), 148–165.
- Ludányi Lajos (2009b): Tanári tévképzetek kémiából. *Iskolakultúra*, 19 (7-8), 26–35.
- Maeyer, J. és Talanquer, V. (2010): The role of intuitive heuristics in students' thinking: Ranking chemical substances. *Science Education*, 94, 963–984.
- Marton, F. (1981). Phenomenography – describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10, 177–200.
- Marton, F. (1986). Phenomenography – a research approach to investigating different understanding of reality. *Journal of Thought*, 21, 29–39.
- Maskill, R. és Cachapuz, A. F. C. (1989): Learning about the chemistry topic of equilibrium: The use of word association tests to detect developing conceptualizations. *International Journal of Science Education*, 11, 57–69.
- Masson, S. és Legendre, M. F. (2008): Effects of using historical microworlds on conceptual change: A p-prim analysis. *International Journal of Environmental and Science Education*, 3 (3), 115–130.
- Mazur, E. (2014): *Peer Instruction* (<http://mazur.harvard.edu/education/educationmenu.php>) (Utolsó látogatás: 2015. 08. 14.)

- Máth János és Abari Kálmán (2011): Knowledge spaces and historical knowledge in practice. *Applied Psychology in Hungary*, 124–150.
- Mbajjorgu, N. és Reid, N. (2006): *Factors influencing curriculum development in chemistry*. The Higher Education Academy Physical Sciences Centre, Hull. https://www.heacademy.ac.uk/sites/default/files/ps0074_factors_influencing_curriculum_development_in_chemistry_nov_2006.pdf (Utolsó letöltés: 2015. 08. 16.)
- McCalla, J. (2003): Problem solving with pathways. *Journal of Chemical Education*, 80, 92–98.
- Meheut, M., Saltiel, E., Tiberghien, A. (1985): Pupils' (11-12 year olds) conceptions. *International Journal of Science Education*, 7, 83–93.
- Minner, D. D., Levy, A. J. és Century, J. (2010): Inquiry-based science instruction – What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47 (4), 474–496.
- Molnár Gyöngyvér és Magyar Andrea (2015): A számítógép alapú tesztelés elfogadottsága pedagógusok és diákok körében. *Magyar Pedagógia*, 115 (1), 47–64.
- Mojzes János (1984): *Módszerek és eljárások a kémia tanításában*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Molnár József (2010): Miről mesél a pezsgőtabletta? *Középiskolai Kémiai Lapok*, 37 (2), 132–148.
- Mutlu, A. és Sesen, B. A. (2014): Development of a two-tier diagnostic test to access undergraduates' understanding of some chemistry concepts. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 17, 629–635.
- Nagy Lászlóné (2006): *Az analógiás gondolkodás fejlesztése*. Műszaki Kiadó, Budapest.
- Nagy Lászlóné (2010): A kutatásalapú tanulás/tanítás („inquiry-based learning/teaching”, IBL) és a természettudományok tanítása. *Iskolakultúra*, (2), 31–51.
- Nagy Péter (1983): Assessing cognitive structure: a response to Stewart. *Science Education*, 67, 25–36.
- Nahalka István (1998a): Konstruktivista pedagógia – egy új paradigma a láthatáron, I. *Iskolakultúra*, 7 (2), 21–33.
- Nahalka István (1998b): Konstruktivista pedagógia – egy új paradigma a láthatáron, II. *Iskolakultúra*, 7 (3), 22–44.

- Nahalka István (1998c): Konstruktivista pedagógia – egy új paradigma a láthatáron, III. *Iskolakultúra*, 7 (4), 3–20.
- Nahalka István (2002a): A fizika-szakmódszertan modelljei. In: Radnóti Katalin; Nahalka István (szerk.): *A fizikatanítás pedagógiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 22–36.
- Nahalka István (2002b): *Hogyan alakul ki a tudás a gyerekekben? Konstruktivizmus és pedagógia*. Nemzeti tankönyvkiadó, Budapest.
- Nahalka István és Poór István (2002): Problémák és feladatok megoldása a fizika tanulása során. In: Radnóti, K., Nahalka, I., Poór, I. és Wagner, É. (2002): *A fizikatanítás pedagógiája*. (Szerk.: Radnóti, K. és Nahalka, I.), Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Nakhleh, M. B. (1993): Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? *Journal of Chemical Education*, 70, 52–55.
- Nakhleh, M. B. és Mitchell, R. C. (1993): Concept learning versus problem solving: There is a difference. *Journal of Chemical Education*, 70, 190–192.
- Nakiboglu, C. (2008): Using word associations for assessing non major science students' knowledge structure before and after general chemistry instruction: the case of atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice*, 9 (4), 309–322.
- Navracsics János (2007): *A kétnyelvű mentális lexikon*. Balassi Kiadó
- Neisser, U. (1984): *Megismerés és valóság*. Gondolat Kiadó, Budapest.
- Nelson, P. G. (2002): Teaching chemistry progressively: from substances to atoms and molecules to electrons and nuclei. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3, 215–228.
- Neuberger Tilda (2008): A szókincs fejlődése óvodáskorban. *Anyanyelv-pedagógia* (3–4). <http://www.anyanyelv-pedagogia.hu/cikkek.php?id=86> (Letöltés: 2015. 08. 16.)
- Németh Ágnes Éva és Soltész György (2002): Triciklodekán pálcikamodell azonosítása perspektivikus ábrák alapján. In: Tóth Zoltán (szerk.): *Módszerek és eljárások*, 12., Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen. 139–144.
- Németh Ágnes Éva, Kiss Edina és Soltész György (2002): Triciklodekán izomerek térszerkezetének vizsgálata egyéni modellezéssel. In: Tóth Zoltán (szerk.): *Módszerek és eljárások*, 12., Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen. 145–149.

- Németh Veronika és Gebei Laura (2007): Tapasztalatok a csoportmunkáról. *A Kémia Tanítása*, 15 (1), 23–28.
- Novak, J. D. és Gowin, G. B. (1984): *Learning how to learn*. Cambridge University Press, New York.
- Nurrenbern, S. C. és Pickering, M. (1987): Concept learning versus problem solving: is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64, 508–510.
- Nyakóné Juhász Katalin, Sitkuné Görömbei Cecília és Teperics Károly (2011): IKT eszközök a természettudományos nevelésben. In: Revákné és Nyakóné (szerk.): *A természettudományok tanításának elméleti alapjai*. RE-PE-T_HA-könyvek, Debreceni Egyetem TEK, Debrecen. 193–221.
- Odom, A. L. és Barrow, L. H. (1995): Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 45–61.
- Ollé János (2012): *Virtuális környezet, virtuális oktatás*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- Ollé János, Papp-Danka Adrienn, Lévai Dóra, Tóth-Mózer Szilvia és Virányi Anita (2013): *Oktatásinformatikai módszerek*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- Osborne, J. (1996): Untying the Gordian Knot: diminishing the role of practical work. Idézi: Prophet, B. és Towse, P. (1999): Pupils' understanding of some non-technical words in science. *School Science Review*, 81 (295), 79.
- Osborne, J. (2015): Practical work in science: misunderstood and badly used? *School Science Review*, 96 (357), 16–24.
- Óhidy Andrea (2005): Az eredményes tanítási óra jellemzői. Kooperatív tanulási formák a gyakorlatban. *Új Pedagógiai Szemle*, 2005. december (<http://www.oki.hu/upsz>)
- Pásztor-Kovács Anita (2015): Kollaboratív problémamegoldó képesség: egy új, integratív elméleti keret. *Iskolakultúra*, 25 (2), 3–16.
- Pekár Károly (1902): *A filozófia története*. Athenaeum Irodalmi és Nyomdai RT. http://mtdaportal.extra.hu/books/pekar_karoly_a_filozofia_tortenete.pdf (Letöltés: 2015. 08. 16.)
- Peterson, R. F., Treagust, D. F. és Garnett, P. (1989): Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12

- students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 301–314.
- Piaget, J. (1970): *Válogatott tanulmányok*. Gondolat Kiadó, Budapest.
- Potter, F. (2004): *Simplified version of KST analysis*. (chem.ps.uci.edu/~mtaagepe/KSTBasic.html) (Utolsó látogatás: 2011. 05. 27.)
- Prophet, B. és Towse, P. (1999): Pupils' understanding of some non-technical words in science. *School Science Review*, 81 (295), 79.
- Radnóti Katalin (2000): Az induktív módszer zavarai az oktatásban. *Iskolakultúra*, 10 (10), 34–44.
- Radnóti Katalin (2002): A fizikatanítás tudományelméleti háttere. In: Radnóti Katalin; Nahalka István (szerk.): *A fizikatanítás pedagógiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 109–127.
- Radnóti Katalin (szerk.) (2014): *A természettudomány tanítása. Szakmódszertani kézikönyv és tankönyv*. Mozaik Kiadó, Szeged.
- Reid, N. (2008): A scientific approach to the teaching of chemistry. (What do we know about how students learn sciences, and how can we make our teaching match this to maximise performance? *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 51–59.
- Reid, N. (2012): Successful chemistry education. In: *La Chimica nella Scuola*, (Proceedings ICEE-ECRICE, Rome), 34 (3), 290–297.
- Reints, A. és Wilkens, H. (2014): What determines the quality of digital materials? *Know What Works and Why* (English Edition) http://archieff.kennisnet.nl/fileadmin/contentelementen/kennisnet/1_deze_map_gebruiken_voor_bestanden/4w/KNS_4W_1-2012_Reints_FINAL_web.pdf (Utolsó letöltés: 2015. 08. 23.)
- Revákné Markóczi Ibolya (2011a): Metakogníció és természettudományos nevelés. In: Revákné és Nyakóné (szerk.): *A természettudományok tanításának elméleti alapjai*. RE-PE-T_HA-könyvek, Debreceni Egyetem TEK, Debrecen.
- Revákné Markóczi Ibolya (2011b): Problémamegoldó gondolkodás a természettudományok tanításában és tanulásában. In: Revákné és Nyakóné (szerk.): *A természettudományok tanításának elméleti alapjai*. RE-PE-T_HA-könyvek, Debreceni Egyetem TEK, Debrecen. 51–84.
- Revákné Markóczi Ibolya (szerk.) (2011): *Projekt módszer, projektoktatás*. RE-PE-T_HA-könyvek, Debreceni Egyetem TEK, Debrecen.

- Réti Mónika és Iker János (2015): A közoktatás tartalmi és módszertani megújítása, a tudáskonceptió változása. In: Kispálné (szerk.): *Módszertani irányok a pedagógusképzés fejlesztésében Nyugat-Dunántúlon*. Nyugat-magyarországi Egyetem, Regionális Pedagógiai Szolgáltató és Kutató Központ, Szombathely, 7–28.
- Sarka Lajos és Tóth Zoltán (2015): Új lehetőségek a tanórai kísérletezésben. In: Bohdaneczky, Sarka és Tóth: *Kémia tanárok szakmódszertani továbbképzése*. SZAKTÁRNET-könyvek, Debreceni Egyetem, Debrecen, 95–124.
- Schmidt, H.-J. (1990): Secondary school students' strategies in stoichiometry. *International Journal of Science Education*, 12, 457–471.
- Schmidt, H.-J. (1991): A label as a hidden persuader: Chemists' neutralisation concept. *International Journal of Science Education*, 13 (4), 459–471.
- Schmidt, H.-J. (1994): Stoichiometric problem solving in high school chemistry. *International Journal of Science Education*, 16, 191–200.
- Schmidt, H.-J. (1995): Applying the concept of conjugation to the Brønsted theory of acid-base reactions by senior high school students from Germany. *International Journal of Science Education*, 17 (6), 733–741.
- Schmidt, H.-J. (1997a): Does the periodic table refer to chemical element? In: *Book of Abstracts*. 4th European Conference on Research in Chemical Education. York, 45.
- Schmidt, H.-J. (1997b): Students' misconceptions – Looking for a pattern. *Science Education*, 81 (2), 123–135.
- Schmidt, H.-J. (1997c): An alternate path to stoichiometric problem solving. *Research in Science Education*, 27, 237–249.
- Schmidt, H.-J. és Jignéus, C. (2003): Students' strategies in solving algorithmic stoichiometry problems. *Chemistry Education: Research and Practice*, 4, 305–317.
- Sendur, G., Özbayrak, Ö. és Uyulgan, M.A. (2011): A study of determination of pre-service chemistry teachers' understanding about acids and bases. *Procedia Computer Science*, 3 (1), 52–56.
- Séra László, Kárpáti Andrea és Gulyás János (2002): *A térszemlélet szerkezete, fejlődése és fejlesztése a közoktatásban*. Comenius Kiadó, Pécs.
- Siemens, G. (2008): *Connectivism and connective knowledge*. <http://lrc.umanitoba.ca/connectivism/?p=101> (Letöltés: 2011. 05. 02.)

- Sirhan, G., Gray, C., Johnstone, A. H. és Reid, N. (2000): Preparing the mind of the learner. *University Chemistry Education*, 3, 43–46.
- Sirhan, G. és Reid, N. (2001): Preparing the mind of the learner – Part 2. *University Chemistry Education*, 5, 52–58.
- Soltész György (1988–2003): Feladatok mindenkinek. Szerves kémiai feladatok. *Középiskolai Kémia Lapok*, 15–30, 1–2. és 4–5. sz.
- Soltész György (2003): Térletással kapcsolatos kémiai gyakorló feladatok. Triciklodekán vázmodellek azonosítása. In: Buda András és Holik Ildikó (szerk.): *III. Országos Neveléstudományi Konferencia. Program. Tartalmi összefoglalók*. MTA Pedagógiai Bizottság, Budapest. 65.
- Soltész György és Kiss Edina (2000): Triciklodekán-izomerek szénvázának modellezése. A lehetséges izomerek megkeresése pálcikamoddell. In: Tóth Zoltán (szerk.): *Módszerek és eljárások, 11.*, Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen. 22–28.
- Southerland, S. A., Abrams, E., Cummins, C. L. és Anzelmo, J. (2001): Understanding students' explanation of biological phenomena: Conceptual framework or p-prims? *Science Education*, 85, 328–348.
- Stewart, J. (1979): Content and cognitive structure: critique of assessment and representation techniques used by science education researchers. *Science Education*, 63, 395–405.
- Sweller, J. (1994): Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction*, 4, 295–312.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. és Paas, F. (1998): Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10 (3), 251–296.
- Taagepera, M., Potter, F., Miller, E. G. és Lakshminarayan, K. (1997): Mapping students' thinking patterns by the use of the knowledge space theory. *International Journal of Science Education*, 19 (3), 283–302.
- Taagepera, M. és Noori, S. (2000): Mapping students' thinking patterns in learning organic chemistry by the use of knowledge space theory. *Journal of Chemical Education*, 77, 1224–1229.
- Taagepera, M., Arasasingham, R., Potter, F., Soroudi, A. és Lam, G. (2002): Following the development of the bonding concept using knowledge space theory. *Journal of Chemical Education*, 79, 756–762.
- Taagepera, M., Arasasingham, R. D., King, S., Potter, F., Martorell, I., Ford, D., Wu, J. és Kearney A.M. (2011): Integrating symmetry in

- stereochemical analysis in introductory organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 322–330.
- Taber, K. (2001a): Building the structural concepts of chemistry: Some considerations from educational research. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2 (2), 123–158.
- Taber, K. (2001b): Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure. Volume I: theoretical background. Volume II: classroom resources. Royal Society of Chemistry, London.
- Taber, K. S. (2008): Conceptual resources for learning science: issues of transience and grain-size in cognition and cognitive structure. *International Journal of Science Education*, 30 (8), 1027–1053.
- Takács Viola (1997): *A tudásszerkezet mérése*. Az Iskolakultúra 1997/6-7. számának melléklete.
- Takács Viola (2000): *A Galois-gráfok pedagógiai alkalmazása*. Iskolakultúra-könyvek, 6. (Sorozatszerk.: Géczy János), Pécs.
- Takács Viola (2003): *Baranya megyei tanulók tudásstruktúrái*. Iskolakultúra-könyvek, 20. (Sorozatszerk.: Géczy János), Pécs.
- Talanquer, V. (2006): Commonsense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83 (5), 812–816.
- Talanquer, V. (2007): Explanations and teleology in chemistry education. *International Journal of Science Education*, 29 (7), 853–870.
- Talanquer, V. (2008): Students' predictions about the sensory properties of chemical compounds: Additive versus emergent frameworks. *Science Education*, 92 (1), 96–114.
- Talanquer, V. (2009): On cognitive constraints and learning progressions: The case of „structure of matter”. *International Journal of Science Education*, 15 (1), 2123–2136.
- Talanquer, V. (2011): Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry „triplet”. *International Journal of Science Education*, 33 (2), 179–195.
- Tobin, K. (1987): Secondary science laboratory activities. *European Journal of Science Education*, 8, 199–211.
- Tomperi, P. és Aksela, M. (2014): In-service teacher training project on inquiry based practical chemistry. *LUMAT*, 2 (2), 2015–226.
- Toomey R., DePierro E. és Garafalo A. (2001): Helping students to make inferences about the atomic realm by delaying the presentation of

- atomic structure. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2, 183–202.
- Tóth Zoltán (1993): A reakciósebesség és a kémiai egyensúly tanítása (Mérőkísérletek). *Iskolakultúra (Természettudomány)*, 3 (9), 67–71.
- Tóth Zoltán (1994): Egységes megmérés – egységes értékelés? (Gondolatok a kémia felvételi feladatok kapcsán). *Iskolakultúra – Természettudomány*, 4 (4), 29–33.
- Tóth Zoltán (1998a): Az oxidációs szám tanításáról (Megjegyzések Lemle Éva cikkeihez). *A Kémia Tanítása*, 6 (5), 9–13.
- Tóth Zoltán (1998b): Egy kémiai tévképzés nyomában – az egyensúlyi állandó bevezetésének lehetőségei és problémái. In: Tóth Z. (szerk.): *Módszerek és Eljárások, 10.* KLTE Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen, 54–66.
- Tóth Zoltán (1999a): Egy kémiai tévképzés nyomában: Az egyensúlyi állandó bevezetésének lehetőségei és problémái. *Iskolakultúra*, 9 (2) 108–112.
- Tóth Zoltán (1999b): A kémia tankönyvek mint a tévképzések forrásai. *Iskolakultúra*, 9 (10) 103–108.
- Tóth Zoltán (1999c): A meghatározó reagens. *Módszertani Lapok – Kémia*, 6, 1–6.
- Tóth Zoltán (2000a): „Bermuda-háromszögek” a kémiában. *Iskolakultúra*, 10 (10), 71–76.
- Tóth Zoltán (2000b): Az oxidáció és a redukció tanításának problémái és lehetőségei a kémiaoktatás kutatásának tükrében. I. Az oxidáció és redukció különböző szintű tanításának problémái. *Módszertani Lapok – Kémia*, 7 (1-2), 8–13.
- Tóth Zoltán (2001a): A kémiai fogalmak tanításának tartalmi és módszertani kérdései. *A Kémia Tanítása*, 9 (2), 3–7.
- Tóth Zoltán (2001b): Az oxidáció és a redukció tanításának problémái és lehetőségei a kémiaoktatás kutatásának tükrében. II. Az oxidáció és redukció tanításának egy lehetséges stratégiája. *Módszertani Lapok – Kémia*, 8 (1-2), 4–12.
- Tóth Zoltán (2002a): A kémiai fogalmak természete. *Iskolakultúra*, 12 (4), 92–95.
- Tóth Zoltán (2002b): Tanulói stratégiákon alapuló feladatmegoldás kémiaórán. In: *Módszerek és Eljárások, 12.* (Szerk.: Tóth Z.), DE TTK Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen, 106–122.

- Tóth Zoltán (2003a): Miért nem helyes? (Kémiai tévképzetek) – A redoxi-reakciók értelmezése. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 30 (2), 140–146.
- Tóth Zoltán (2003b): Miért nem helyes? (Kémiai tévképzetek) – Az anyag szerkezete. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 30 (4), 312–318.
- Tóth Zoltán (2003c): Miért nem helyes? (Kémiai tévképzetek) – Az égés értelmezése. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 30 (1), 53–58.
- Tóth Zoltán (2004a): A konstruktivista pedagógia lehetőségei a kémia tanításában. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 31 (4), 362–368.
- Tóth Zoltán (2004b): Az anyag részecskemodelljével kapcsolatos tanulói elképzelések. *(Új) Középiskolai Kémiai Lapok*, 31 (1), 84–90.
- Tóth Zoltán (2004c): Exploring students ideas on particles. *Education in Chemistry*, 41 (1), 10.
- Tóth Zoltán (2004d): Students' strategies and errors in balancing chemical equations. *Journal of Science Education*, 5, 33–37.
- Tóth Zoltán (2005): A tudásszerkezet és a tudás szerveződésének vizsgálata a tudástér-elmélet alapján. *Magyar Pedagógia*, 105 (1), 59–82.
- Tóth Zoltán (2006): Középiskolás tanulók alapvető fizikai és kémiai mennyiségek ismeretével és alkalmazásával kapcsolatos tudásszerkezetének vizsgálata a tudástér-elmélet segítségével. *A Kémia Tanítása*, 14 (2), 12–21.
- Tóth Zoltán (2007): Mapping students' knowledge structure in understanding density, mass percent, molar mass, molar volume and their application in calculations by use of the knowledge space theory. *Chemistry Education Research and Practice*, 8 (4) 376–389.
- Tóth Zoltán (2008): Kémia józan ésszel (Egy modellt a tévképzetek megértésére). *A Kémia Tanítása*, 16 (5), 3–6.
- Tóth Zoltán (2009): Kémiai tévképzetek. *Természet Világa*, 140 (1), 25–27.
- Tóth Zoltán (2010): A szén-monoxid-érzékelő, mint tanításművészeti darab (Egy példa a problémaközpontú tanításra). *Középiskolai Kémiai Lapok*, 37 (5), 368–378.
- Tóth Zoltán (2012a): „S ki viszi át fogában tartva” a kutatási eredményeket „a túlsó partra”? (Tantárgy-pedagógiai doktori képzés Magyarországon – Helyzetkép). In: „A tanárok tanárának lenni...” *Tanulmányok Szabó László Tamás 70. születésnapjára* (Szerk.: Pusztai G., Fenyő I., Engler Á.), CHERD, Debrecen, 40–53.
- Tóth Zoltán (2012b): *Alkalmazott tudástérelmélet*. Gondolat Kiadó, Budapest.

- Tóth Zoltán (2013): Janus-arcú axiómáink: a p-primek. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 40 (4), 297–304.
- Tóth Zoltán (2014): *Mindennapok tudománya: Kémia 10*. Maxim Kiadó, Szeged.
- Tóth Zoltán (2015a): A módszertani megújulás lehetőségei a kémia oktatásában. In: Kispálné (szerk.): *Módszertani irányok a pedagógusképzés fejlesztésében Nyugat-Dunántúlon*. Nyugat-magyarországi Egyetem, Regionális Pedagógiai Szolgáltató és Kutató Központ, Szombathely, 115–137.
- Tóth Zoltán (2015b): Az alapvető kémiai számítások tanításának módszertani kérdései. In: Bohdaneczky, Sarka és Tóth: *Kémia tanárok szakmódszertani továbbképzése*. SZAKTÁRNET-könyvek, Debreceni Egyetem, Debrecen, 125–154.
- Tóth Zoltán és Csatári Nóra (2008): A tanulók tapasztalati feltételezéseken alapuló tévképzeteinek vizsgálata. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 35 (4) 318–324.
- Tóth Zoltán, Dobó-Tarai Éva, Revák-Markóczi Ibolya, Schneider, I.K. és Oberländer, F. (2007): 1st graders prior knowledge about water: knowledge space theory applied to interview data. *Journal of Science Education*, 8, 116–119.
- Tóth Zoltán és Bodnár Magdolna (2004): Kísérletek a kémia tankönyvekben. *Iskolakultúra*, 14 (1), 106–112.
- Tóth Zoltán, Revák-Markóczi Ibolya, Schneider, I. K., Oberländer, F. és Dobó-Tarai Éva (2008): Effect of instruction on 1st graders' thinking patterns regarding the description of water with every day and scientific concepts. *Practice and Theory in Systems of Education*, 3 (1), 45–54.
- Tóth Zoltán, Kiss Edina és Hans-Dieter Barke (2003): Egy kémiatanításban használható térszemléleti teszt hazai adaptációja. *Magyar Pedagógia*, 103 (4), 459–479.
- Tóth Zoltán, Kiss Edina és Búzásné Nagy Gabriella (2004): Egy térszemlélet mérésére alkalmas teszt hazai adaptációja. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 31 (5), 432–450.
- Tóth Zoltán és Kiss Edina (2005): Hungarian secondary school students' strategies in solving stoichiometric problems. *Journal of Science Education*, 6, 47–49.

- Tóth Zoltán és Kiss Edina (2007): A fizikai és kémiai változások azonosításával kapcsolatos tudásszerkezet. *Iskolakultúra*, 17 (1), 19–30.
- Tóth Zoltán és Kiss Edina (2009): Modelling students' thinking patterns in describing chemical change at macroscopic and sub-microscopic levels. *Journal of Science Education*, 10 (1), 24–26.
- Tóth Zoltán és Ludányi Lajos (2007a): Combination of phenomenography with knowledge space theory to study students' thinking patterns in describing an atom. *Chemistry Education Research and Practice*, 8 (3), 327–336.
- Tóth Zoltán és Ludányi Lajos (2007b): Using phenomenography combined with knowledge space theory to study students' thinking patterns in describing an ion. *Journal of Baltic Science Education*, 6 (3), 27–33.
- Tóth Zoltán és Ludányi Lajos (2011): *Út a tudáshoz: Kémia 9*. Maxim Kiadó, Szeged.
- Tóth Zoltán és Ludányi Lajos (2012): *Út a tudáshoz: Kémia 10*. Maxim Kiadó, Szeged.
- Tóth Zoltán és Ludányi Lajos (2013): *Mindennapok tudománya: Kémia 9*. Maxim Kiadó, Szeged.
- Tóth Zoltán, Ludányi Lajos és Somogyiné Ambrus Erika (2013): *Út a tudáshoz: Kémia 9*. Maxim Kiadó, Szeged.
- Tóth Zoltán, Ludányi Lajos és Somogyiné Ambrus Erika (2014): *Út a tudáshoz: Kémia 10*. Maxim Kiadó, Szeged.
- Tóth Zoltán, Pusztai Gabriella, Chrappán Magdolna, Kovács Edina (2011): Tudomány a végeken – a tantárgy-pedagógia. *Mediárium*, 5 (3) 72–79.
- Tóth Zoltán és Radnóti Katalin (2009): Elsőéves BSc-hallgatók sikeresége egy meghatározó reagenssel kapcsolatos számítási feladat megoldásában. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 36, 375–390.
- Tóth Zoltán és Sebestyén Annamária (2009): Relationship between students' knowledge structure and problem-solving strategy in stoichiometric problems based on the chemical equation. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 1 (1), 8–20.
- Tóth Zoltán és Sójáné Gajdos Gabriella (2012): Tanulócsoportok energiaforrásokkal kapcsolatos tudásszerkezetének vizsgálata szóasszociációs módszerrel. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 39 (1) 58–69.

- Tóth Zoltán és Sója-Gajdos Gabriella (2012): Using a word association method to study students' knowledge structure related to energy sources. In: „*Current research in the field of disciplinary didactics*” Special issue of Hungarian Educational Research Journal (Eds.: Pusztai G., Tóth Z., Csépes I.), Budapest, 2012. 38–48.
- Treagust, D.F. (1988): Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10 (2), 159–169.
- Treagust, D., Duit, R. és Nieswandt, M. (2000): Sources of students' difficulties in learning chemistry. *Educación Química*, 11 (2), 228–235.
- Tsaparlis, G. (1997): Atomic and molecular structure in chemical education – a critical analysis from various perspectives of science education. *Journal of Chemical Education*, 74, 922–925.
- Tsaparlis, G. és Papaphotis, G. (2002): Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3, 129–144.
- Turányi Tamás és Tóth Zoltán (2011): Egyetemi hallgatók tévképzetei fizikai kémiából. *Magyar Kémikusok Lapja*, 66 (4), 122–129.
- Turányi Tamás és Tóth Zoltán (2013): Hungarian university students misunderstandings in thermodynamics and chemical kinetics. *Chemistry Education Research and Practice*, 14 (1), 105–116.
- Unal, R. és Zollman, D. (1999): *Students' description of an atom: a phenomenographic analysis*. <http://perg.phys.ksu.edu/papers/vqm/AtomModels.PDF> (Utolsó látogatás: 2011. 05. 27.)
- Vaarik, A., Taagepera, M. és Tamm, L. (2008): Following the logic of student thinking patterns about atomic orbital structures. *Journal of Baltic Science Education*, 7 (1), 27–36.
- Villányi Attila (2003): *Kémia a kétszintű érettségire*. Kemavill Bt. Budapest.
- Wagner Éva (2002): Tanulásszervezési lehetőségek a fizikaórán. In: Radnóti Katalin; Nahalka István (szerk.): *A fizikatanítás pedagógiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 207–243.
- Weiner, I.B. és Greene, R.L. (2011): *Handbook of Personality Assessment*. <http://books.google.hu/books?isbn=1118045599> (Letöltés: 2013. 08. 01.)
- White, R. és Gunstone, R. (1992): *Probing understanding*. The Falmer Press, London.
- Wolter, B. (2001): Comparing the L1 and L2 mental lexicon. *Studies in Second Language Acquisition*, 23, 41–69.

- Wood, C. (2006): The development of creative problem solving in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 7, 96–113.
- Yang, M. J. (2000): *Problem solving in chemistry at secondary school*. PhD Thesis, University of Glasgow. <http://theses.gla.ac.uk/2161/> (Utolsó letöltés: 2015. 08. 22.)
- Zágon Bertalan és Nagy Ilona (é.n.): A kooperatív módszer. In: *Tanári kézikönyv, Szociális kompetencia 1-12. évfolyam*. (http://www.sulinov-adatbank.hu/index.php?akt_menu=481)

SZÉCHENYI 



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE