

MŰHELY



Kérjük, hogy a MŰHELY című módszertani rovatba szánt írásaikat közvetlenül a szerkesztőhöz küldjék lehetőleg e-mail mellékletként vagy postán a következő címre: Dr. Tóth Zoltán, Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertan, 4010 Debrecen, Pf. 66. E-mail: tothzoltandr@yahoo.com, Telefon: 06 30 313 9753.

Tóth Zoltán - Sebestyén Annamária

A tanulók reakcióegyenletek rendezésében mutatott teljesítményének és tudásszerkezetének változása a gimnáziumi oktatás során

A kémiai változások leírására leggyakrabban reakcióegyenleteket használunk. Noha az első reakcióegyenletek már 7. osztályban megjelennek, a reakcióegyenletek rendezésének módszerét – az oxidációs szám változáson alapuló módszert – csak a 9. évfolyam végén tanítjuk. Legalább két év telik el tehát úgy, hogy reakcióegyenleteket írunk, használunk, tanítunk, anélkül, hogy tanulóinkat megtanítottuk volna a reakcióegyenlet-szerkesztés egyik fontos elemére, az egyenletrendezésre.

Korábbi vizsgálatainkból (Tóth, 1999, 2003, 2004) ismert, hogy a tanulók egy része – tanult módszer híján – kialakítja saját jó vagy rossz egyenletrendezési stratégiáját. Ezek között – a tanulókra leginkább jellemző próbálgatás mellett – megtaláljuk az egyenletrendezés két logikai eljárását, a láncszabályt (Tóth, 1997, 1999, 2003) és a kapcsolt részfolyamatok módszerét (Tóth, 1998, 1999, 2003) is.

Jelen tanulmányunkban arra a kérdésre keresünk választ, hogy

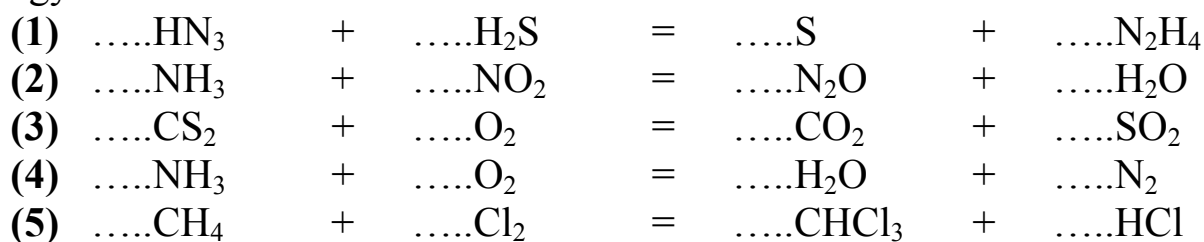
- (a) változik-e a kémiai tanulmányok előrehaladtával a tanulók reakcióegyenletek rendezésében elért teljesítménye, illetve
- (b) kimutatható-e az egyenletrendezéssel kapcsolatos ismeretek terén valamilyen tudásszerkezetbeli változás.

A vizsgálat körülményei

Vizsgálatunkban Debrecen egyik átlagos szintű gimnáziumának 9., 10. és 11. osztályos tanulói vettek részt, szám szerint 61 kilencedikes, 98 tizedikes és 83 tizenegyedikes tanuló. A tanulóknak több redoxiegyenletet tartalmazó feladatlapot kellett kitölteniük. Valamennyi esetben megadtuk a reakcióegyenletben szereplő anyagok vegyjelét, képletét, a sztöchiometriai együtthatókat viszont a tanulóknak kellett megállapítaniuk. A felmérés 1998 őszén, tehát még olyan időszakban készült, amikor a gimnáziumok 9. osztályában általános kémiát, 10. osztályában szerves kémiát, 11. osztályában elektrokémiát és szervetlen kémiát tanultak a diákok. A tesztlapok kitöltése szaktanári felügyelet mellett, tanórán történt.

A részletes vizsgálatra kiválasztott reakcióegyenletek

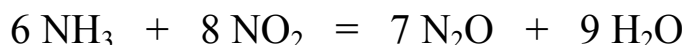
A több mint három tucat reakcióegyenlet közül kiválasztottuk azt az ötöt, amely az alkalmazható egyenletrendezési eljárások tekintetében egymástól eltérő, illetve rendezésük eltérő nehézségű. A következő öt reakcióegyenletről van szó:



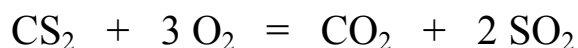
Az (1) reakcióegyenletet az oxidációs számok megváltozásának módszerén kívül viszonylag könnyen lehet rendezni a láncszabállyal (rendezési lánc: $\text{N} \rightarrow \text{H} \rightarrow \text{S}$) és a kapcsolt részfolyamatok módszerével is ($\text{N} - \text{H} - \text{S}$). A logikai úton való egyenletrendezés nehézsége, hogy a láncszabályt csak egyetlen atomból, a N-atomból kiindulva lehet alkalmazni. (Ennek a két módszernek a részletes leírásával, valamint a zárójelben lévő, az egyenletrendezés technikájára utaló jelzések magyarázatával most nem foglalkozunk, ezeknek az irodalomjegyzékben szereplő tanulmányokban lehet utánanézni.) A helyesen rendezett (1)-es reakcióegyenlet a következő:

$$2 \text{HN}_3 + 5 \text{H}_2\text{S} = 5 \text{S} + 3 \text{N}_2\text{H}_4$$

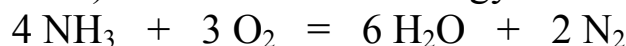
A **(2)** redoxiegyenlet rendezése két ok miatt nehéz: Az egyik, hogy ebben az esetben sem a láncszabály, sem a kapcsolt részfolyamatok módszere nem alkalmazható (pontosabban fogalmazva nagyon nehezen alkalmazható), a másik, hogy a legkisebb egész számú együtthatók szokatlanul nagy, és egymástól eltérő értékek. Ebben az esetben viszonylag egyszerű az oxidációs számok használatával való rendezés. A rendezett reakcióegyenlet a következő:



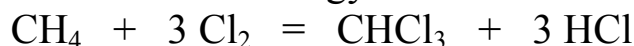
A **(3)** reakcióegyenletet legkönnyebben a láncszabállyal lehet rendezni (rendezési láncok: $\text{C} \rightarrow \text{S} \rightarrow \text{O}$ vagy $\text{S} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{O}$). Ráadásul ilyen típusú, kétféle elemből álló vegyület tökéletes égésével kapcsolatos reakcióegyenlet sokszor szerepel a kémiaórákon, különösen szerves kémiából. A kapcsolt részfolyamatok módszerének használata nehézkes, és az oxidációs számok megváltozásának módszere sem egyszerű, hiszen háromféle atomnak változik az oxidációs száma. A rendezett reakcióegyenlet:



A **(4)** reakcióegyenletet mindhárom említett módszerrel lehet rendezni. A láncszabály használatát megkönnyíti, hogy bármelyik atommal lehet indítani a rendezést (rendezési láncok: $\text{N} \rightarrow \text{H} \rightarrow \text{O}$; $\text{H} \rightarrow \text{O} \rightarrow \text{N}$; $\text{H} \rightarrow \text{N} \rightarrow \text{O}$; $\text{O} \rightarrow \text{H} \rightarrow \text{N}$). Könnyen alkalmazható a kapcsolt részfolyamatok módszere is ($\text{N} - \text{H} - \text{O}$). A rendezett reakcióegyenlet:



Az **(5)** reakcióegyenlet viszonylag könnyen rendezhető a láncszabállyal (rendezési lánc: $\text{C} \rightarrow \text{H} \rightarrow \text{Cl}$), nagyon nehéz rendezni a kapcsolt részfolyamatok módszerével, és – a **(3)**-as egyenlethez hasonlóan – nem egyszerű az oxidációs számok használata sem. Ráadásul – amint azt egy korábbi tanulmányunkban leírtuk (*Tóth, 2003, 2004*) – ez a reakcióegyenlet egyike azoknak, amelyeknél nem vezet jó eredményre a tanulók által gyakran használt egyenletrendezési stratégia („...látható, hogy az egyenlet jobb oldalán 4 klóratom van, ezért a baloldalon 2 klórmolekulát kell venni...”). A helyesen rendezett reakcióegyenlet a következő:



Az értékelés módszerei

A korábbi tartalmi értékeléssel szemben (*Tóth, 2003, 2004*) – amely során elsősorban azt vizsgáltuk, hogy a tanulók milyen rendezési stratégiákat használnak – ebben a vizsgálatban a három különböző évfolyamhoz tartó-

zó diákok eredményességét, illetve tudásszerkezetét hasonlítottuk össze. Az eredményesség összehasonlításához varianciaanalízist használtunk, és az értékelést az SPSS 11.0 statisztikai programrendszerrel végeztük el. A tanulócsoporthoz jellemző tudásszerkezetének feltárását egy még meglehetősen új elmélet, az ún. tudástér-elméletet alapján végeztük el. Ez az elmélet kiválóan alkalmas a tudásszerkezet és a fogalmi fejlődés vizsgálatára. Kémiai alkalmazására mindössze néhány példa van a nemzetközi szakirodalomban (*Taagepera és Noori, 2000; Taagepera és mtsai, 2002; Arasasingham és mtsai, 2004*) Az eredmények részletes ismertetése előtt, újszerűsége miatt, indokolt először röviden áttekinteni a tudástér-elmélet alapjait, és bemutatni az elemzés lépéseit.

A tudástér-elmélet (KST) alapjai

A tudástér-elméletet (angol neve: knowledge space theory; továbbiakban *KST*) néhány évtizede fejlesztették ki matematikai pszichológusok (*Doignon, Falmagne, 1999; Albert, 1994*). Ezzel a módszerrel tanulmányozható egy-egy tanulócsoporthoz tudásszerkezet. Alkalmazásával összehasonlíthatjuk különböző tanulócsoporthoz tudásszerkezetét, vagy nyomon követhetjük a tudásszerkezet változását az iskolai oktatás során.

A KST alapfeltevései a következők:

- A tanulók tudását általában véges számú, a megoldáshoz szükséges tudás szerint egymáshoz többé-kevésbé hierarchikus sorrendben kapcsolódó feladatokkal mérjük.
- Ha egy tanuló meg tud oldani egy, a hierarchiában magasabb szinten álló („nehezebb”) feladatot, akkor várható, hogy minden olyan feladatot is meg tud oldani, amely a hierarchiában e feladat alatt helyezkedik el („könnyebb” feladatok). Ez tehát azt jelenti, hogyha ismerjük a feladatok hierarchiáját, abból egyértelműen levezethetjük a várható (elméleti) tudásszerkezetet.
- A valóság azonban eltérhet az előbbi várakozástól, előfordulhat ugyanis, hogy egy tanuló meg tud oldani egy, a hierarchiában magasabb szinten álló („nehezebb”) feladatot, de nem tudja megoldani a hierarchia alacsonyabb szintjén álló („könnyebb”) feladatot. A tudástér-elmélet szerint ennek két oka lehet: (a) vagy azért tudta megoldani a nehezebb feladatot, mert szerencséje volt; (b) vagy azért nem tudta megoldani a könnyebb feladatot, mert hibázott (elfáradt, nem volt ideje, valami megzavarta stb.).

- Ezeknek a bizonytalansági tényezőknek (a szerencsés találat és a véletlen hiba) a figyelembe vételével a tanulók válaszaiból összeállított válaszszerkezetet egy illesztő program segítségével olyan (empirikus) tudásszerkezetté alakíthatjuk, amelyben már elvileg nincs szerepe a véletlen találatnak és a hibának.
- Mivel a feladatok hierarchiájából egyértelműen levezethető a várt (elméleti) tudásszerkezet, ezért a tanulók válaszaiból kapott empirikus tudásszerkezethez is rendelhetünk feladat-hierarchiát. Ezzel a hierarchiával (vagy hierarchiákkal) jellemezhetjük az adott tanulócsoport tudásszerkezetét.

A KST-elemzés lépései

A tudásszerkezet megállapítását, a KST-elemzés legfontosabb lépéseit a 11. osztályos csoport adatainak értékelésén mutatjuk be.

1. A válaszszerkezet meghatározása

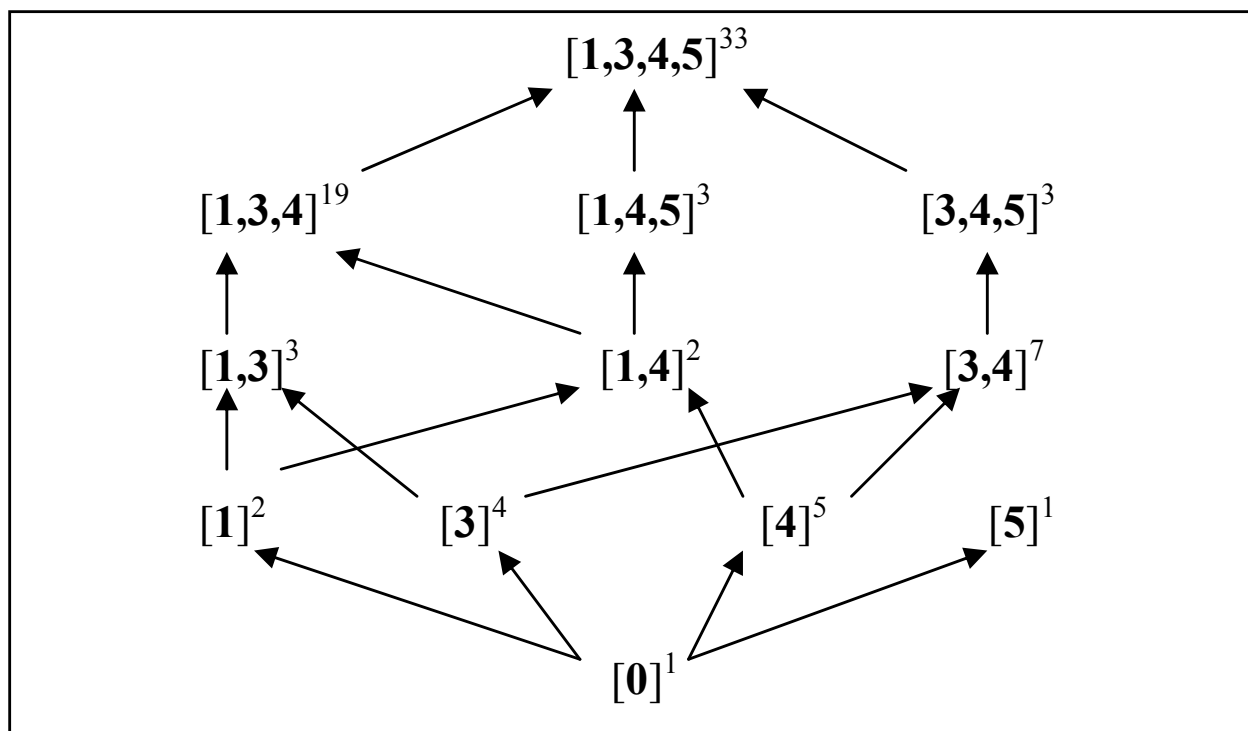
A vizsgált öt feladatra adott tanulói válaszokból bináris táblázatot alkotunk. Ez esetünkben a következő:

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	N	Jelölése
0	0	0	0	0	1	$[0]^1$
1	0	0	0	0	2	$[1]^2$
0	0	1	0	0	4	$[3]^4$
0	0	0	1	0	5	$[4]^5$
0	0	0	0	1	1	$[5]^1$
1	0	1	0	0	3	$[1,3]^3$
0	0	1	1	0	7	$[3,4]^7$
1	0	0	1	0	2	$[1,4]^2$
1	0	1	1	0	19	$[1,3,4]^{19}$
1	0	0	1	1	3	$[1,4,5]^3$
0	0	1	1	1	3	$[3,4,5]^3$
1	0	1	1	1	33	$[1,3,4,5]^{33}$

A táblázat minden sora egy-egy *válaszkombináció*nak felel meg. Látható, hogy az elméletileg lehetséges $2^5 = 32$ válaszkombináció helyett csak 12 jelenik meg a tizenegyedikes tanulók válaszaiban. A táblázatból leolvasható, hogy például 1 olyan tanuló van, aki egyik feladatra sem adott helyes választ (első sor); 2 olyan tanuló van, aki csak az **(1)**-es reakció-

egyenletet tudta rendezni (második sor); 19 olyan tanuló van, aki három reakcióegyenletet, az (1)-est, a (3)-ast és a (4)-est tudta rendezni (kilencedik sor); és egy olyan tanuló sem volt, aki például mind az öt reakcióegyenletet helyesen rendezte volna.

Ebből a táblázatból megszerkeszthetjük a tanulócsoport jellemző válaszszerkezetét (1. ábra), amely hálószerűen mutatja az előforduló válaszkombinációkat és azok egymáshoz való kapcsolatát.



1. ábra. A 11. osztályos tanulók válaszszerkezeté

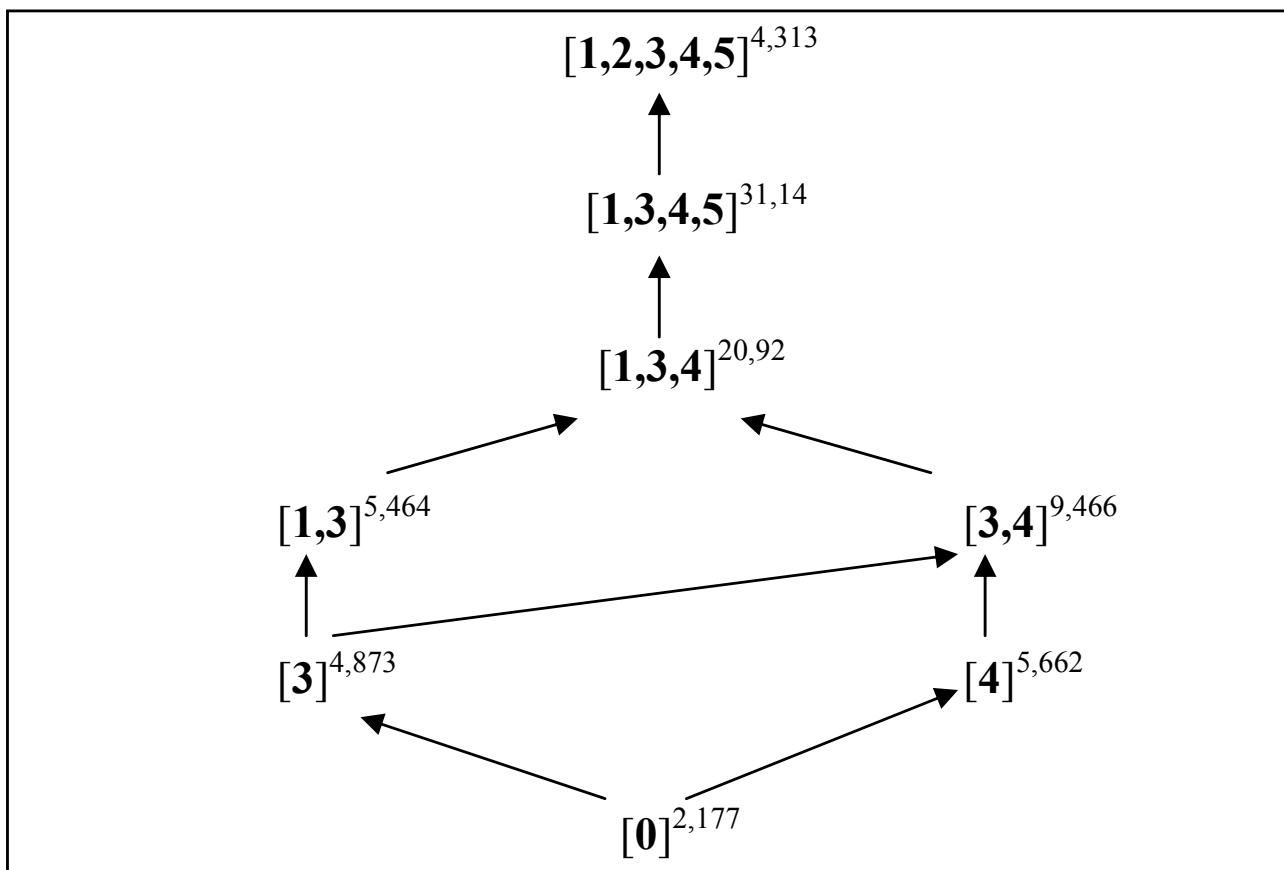
2. Az empirikus tudásszerkezet meghatározása

A tanulói válaszok alapján kapott válaszszerkezetből a tudásszerkezetet számítógépes illesztőprogram segítségével határoztuk meg. A program megadja, hogy a kiindulási válaszállapotokhoz képest a tudásszerkezetbe felvett ún. tudásállapotok mennyire térnek el egymástól (khi-négyzet próba), és a vizsgált modellben hány tanuló valószínűsíthető az egyes tudásállapotokon. Az illesztés során addig változtatjuk a feltételezett tudásszerkezetet (tudásállapotok bevitelével, kivételével, cseréjével), amíg a legjobb illeszkedést, minimum a társadalomtudományokban szokásos 95%-os illeszkedést ($p \geq 0,95$) el nem érjük. A próbálgatás során csak olyan tudásszerkezetek jöhetnek szóba, amelyek

- (a) tartalmazzák a [0] és az [1,2,3,4,5] tudásállapotokat, függetlenül attól, hogy azok a válaszszerkezetben előfordulnak-e vagy sem; és
- (b) csak olyan tudásállapotokat tartalmaznak, amelyek közvetlen összeköttetésben vannak legalább egy, a hálóban alattuk, és legalább egy a hálóban fölöttük lévő tudásállapottal.

A számítógépes illesztés során minden egyes feladatnál figyelembe vettük a szerencsés találat és a véletlen hiba lehetőségét is. Pontos adatok híján a nemzetközi szakirodalomban ilyenkor elfogadott 10-10%-os becsült értéket használtuk.

Az illesztés során – esetünkben – a 2. ábrán látható tudásszerkezetet kaptuk.



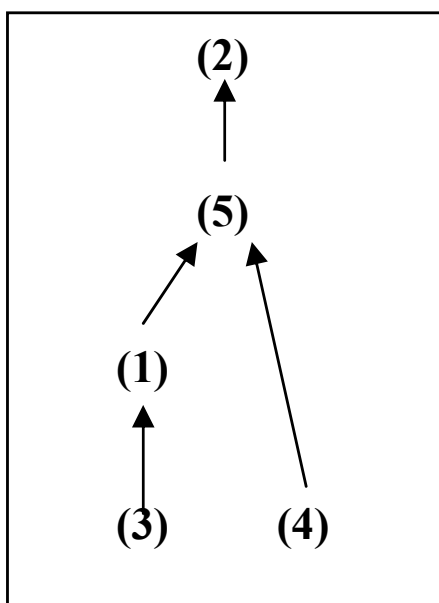
2. ábra. A 11. osztályos tanulók empirikus tudásszerkezete

Látható, hogy az empirikus tudásszerkezet egyszerűbb, mint a válaszszerkezet volt, és csak egymáshoz kapcsolódó tudásállapotok szerepelnek benne. (A felső indexben lévő számok a tudásszerkezetben az egyes tudásállapotokhoz az illesztő program által számolt tanulószámot

jelentik.) A kapott tudásszerkezet illeszkedése nagyon jó ($p > 0,995$), több mint 99,5%-ban leírja a kiindulási válaszszerkezetet.

3. A feladatok hierarchiájának megállapítása

Az empirikus tudásszerkezet alapján kísérletet tehetünk a feladatok egymásraépülésének, hierarchiájának meghatározására. Ezt a hierarchiát az ún. *Hasse-diagram* tünteti fel. Akkor jó egy feladat-hierarchia (Hasse-diagram), ha a belőle levezethető (elméleti) tudásszerkezet legalább 95%-ban leírja az empirikus tudásszerkezetet. Ez tehát egy újabb khí-négyzet próbán alapuló számítógépes illesztést jelent.



A 11. osztályosokra megállapított empirikus tudásszerkezetet (2. ábra) maradéktalanul le lehet írni a 3. ábrán látható feladat-hierarchiával (Hasse-diagrammal). Az ebből a hierarchiából levezethető tudásállapotok pontosan megegyeznek az empirikus tudásszerkezetben (2. ábra) lévőkkel. (Megjegyezzük, hogy – amint azt később bemutatjuk – az empirikus tudásszerkezetet más Hasse-diagramokkal is le lehet írni $p \geq 0,95$ szignifikanciaszinten.)

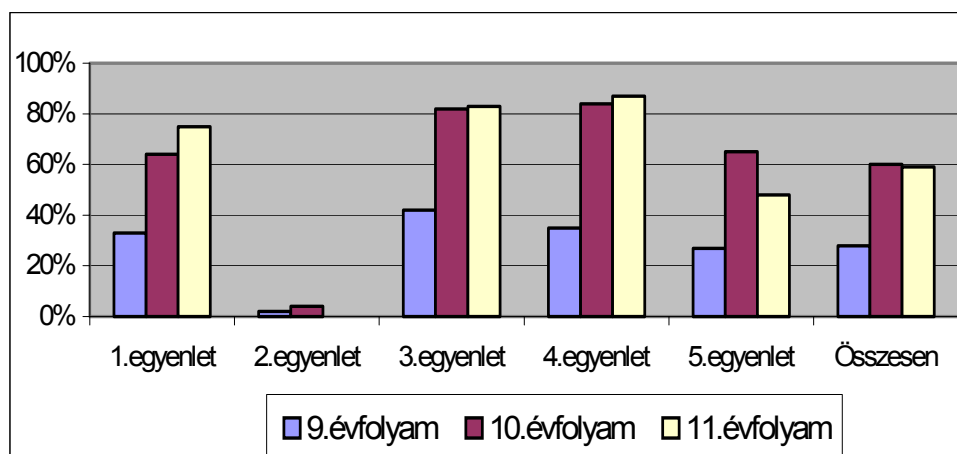
3. ábra. A 11. osztályosok empirikus tudásszerkezetének megfelelő Hasse-diagram

Ebből a Hasse-diagramból leolvasható például, hogy a (2)-es reakcióegyenlet áll a hierarchia csúcsán, azaz ennek rendezése a legnehezebb, és aki a (2)-es egyenletet rendezni tudta, az várhatóan az összes többit is tudta rendezni. Az is leolvasható, hogy az (5)-ös egyenlet helyes rendezéséhez szükséges ismeretek közvetlenül az (1)-es és (4)-es egyenletek rendezéséhez szükséges ismeretekre épülnek, ugyanakkor a (3)-as egyenlet rendezése a legkönnyebb, és a megoldásához szükséges ismeretekre épül az (1)-es egyenlet rendezése. Megállapítható továbbá, hogy sem az (1)-es, sem a (3)-as reakcióegyenletek rendezése nem igényli a (4)-es egyenlet rendezéséhez szükséges ismereteket – legalábbis a vizsgált tizenegyedikes populáció tudásszerkezetében.

Eredmények

A teljesítmények összehasonlítása (statisztikai értékelés)

A vizsgált három évfolyam feladatonkénti és összesített eredményét a 4. ábra mutatja.



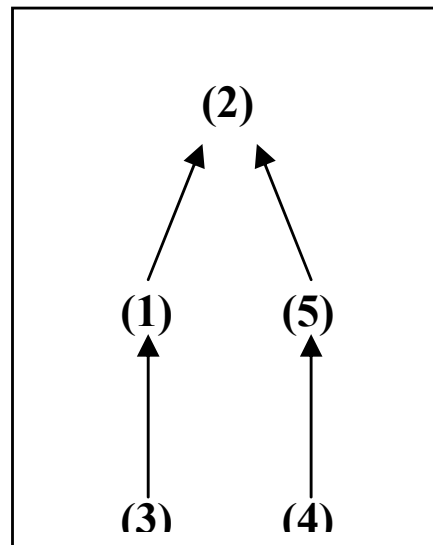
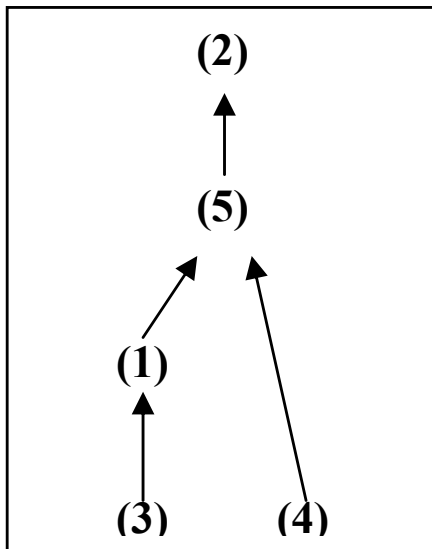
4. ábra. Az egyes évfolyamok teljesítménye százalékban megadva feladatonként, illetve összesítve

Látható, hogy – a nagyon sikertelen (2) egyenlet kivételével – a tizedikesek és tizenegyedikesek teljesítménye minden esetben meghaladta a kilencedikesekét. A variancianálízis is megerősítette ezt a következtetést: szignifikáns különbség csak a 9-10. és a 9-11. évfolyamok között volt, a 10. és 11. évfolyamok összesített teljesítménye azonosnak tekinthető.

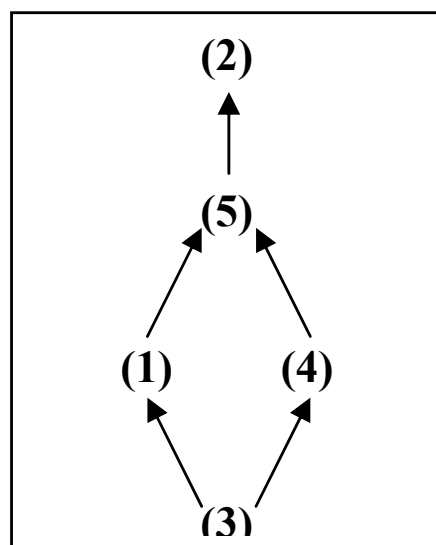
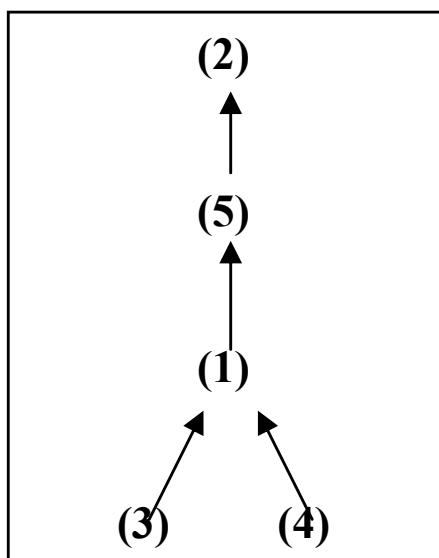
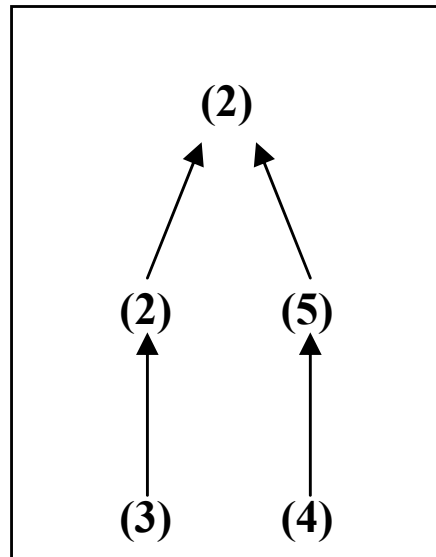
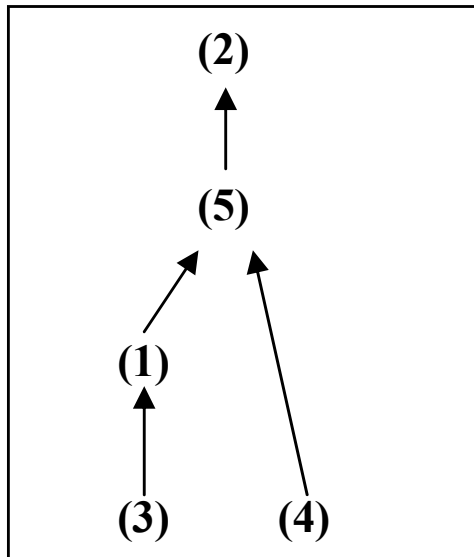
A tudásszerkezet összehasonlítása (KST-elemzés)

Mindhárom évfolyam esetén elvégeztük az értékelési módszereknél már részletesen leírt KST-elemzést.

A tanulói válaszszerkezetekből kiindulva valamennyi esetben sikerült $p > 0,99$ szignifikancia szinten meghatározni az empirikus tudásszerkezetet. Elemzésünk szerint a 9. és a 10. évfolyamosok tudásszerkezetét ugyanazzal a két Hasse-diagrammal lehet leírni (5. ábra), a 11. évfolyam esetén még további két Hasse-diagramból is le lehetett vezetni olyan tudásszerkezeteket, amelyek nem mutattak szignifikáns különbséget ($p > 0,995$) az empirikus tudásszerkezethez viszonyítva (6. ábra).



5. ábra. A 9. és a 10. osztályos tanulók tudásszerkezetét leíró Hasse-diagramok



6. ábra. A 11. osztályos tanulók tudásszerkezetét leíró Hasse-diagramok

Ezeket a tudásszerkezeteket hasonlíthatjuk egymáshoz vagy egy „elvárt” (ún. szakértői) tudásszerkezethez, és megpróbálhatjuk értelmezni az eltéréseket.

Ha egymáshoz hasonlítjuk a tudásszerkezetnek megfelelő Hasse-diagramokat, akkor megállapítható, hogy a mindhárom évfolyam esetén kapott két közös tudásszerkezetben a lényegi különbség, hogy az egyikben megfigyelhető közvetlen **(1) → (2)** hierarchikus kapcsolat helyett a másikban **(1) → (5)** kapcsolat alakul ki. Az előbbit az magyarázza, hogy a **(2)** egyenletet nem lehet (pontosabban nagyon nehéz) rendezni logikai módszerekkel, míg az **(1)** egyenlet esetében mind a láncszabály, mind a kapcsolt részfolyamatok módszere használható. Az **(1) → (5)** kapcsolat viszont azt mutatja, hogy – bár mindkét egyenlet esetén használható logikai módszer – az **(5)** egyenletet nehezebb rendezni, mint az **(1)** reakcióegyenletet. Ennek két oka lehet: az egyik, hogy az **(5)** egyenlet esetén csak a láncszabályt lehet használni, a kapcsolt részfolyamatok módszerét nem; a másik, hogy az **(5)** reakcióegyenlet esetén csábító az a hibás stratégia, amelyről korábban az egyes reakcióegyenletek tárgyalásánál már szöveltünk.

A 11. osztályosok tudásszerkezetének leírására használható további két modellben újabb, az előzőektől eltérő hierarchikus kapcsolatok figyelhetők meg. Míg a két közös Hasse-diagram alapján semmit nem mondhatunk a **(3)** és **(4)**, valamint az **(1)** és **(4)** reakcióegyenletek kapcsolatáról, addig ezekben az új Hasse-diagramokban megjelenik egy **(3) → (4)**, illetve **(4) → (1)** hierarchikus kapcsolat is. Az utóbbi értelmezése az egyszerűbb: mindkét – **(4)**, **(1)** – reakcióegyenlet esetén alkalmazható a láncszabály is, és a kapcsolt részfolyamatok módszere is, de a **(4)** egyenlet esetén a láncszabálynál bármely atommal kezdhethetjük a rendezést, az **(1)** egyenlet esetén viszont csak a N-atommal indíthatunk. A **(3) → (4)** hierarchia értelmezése már összetettebb. A **(4)** egyenletet mindkét logikai eljárással rendezhetjük, ráadásul a láncszabálynál bármely atommal indíthatunk, a **(3)** egyenletnél viszont csak a láncszabály alkalmazható, és csak két atommal (C-nel vagy S-nel) kezdhethetjük a rendezést. Ez alapján érthetetlen az előbbi hierarchia. Ha viszont figyelembe vesszük, hogy a **(4)** egyenlet esetén a láncszabályból az O₂ együtthatójára tört érték következik, illetve – a korábbi tapasztalatoknak (Tóth, 1999, 2003, 2004) megfelelően – a kapcsolt részfolyamatok módszerét – bár ebben az esetben az nagyon csábító – igazából kevés tanuló tudja sikeresen alkalmazni, akkor kiderül,

hogy a **(4)** reakcióegyenlet rendezése sokkal több buktatót tartalmaz, mint a **(3)** egyenleté.

További lehetőség a tudásszerkezet vizsgálatára az, hogy megpróbáljuk az alkalmazható egyenletrendezési módszerek száma és bonyolultsága alapján nehézségi sorrendbe állítani a vizsgált reakcióegyenleteket. Esetünkben ez a sor a következő lehet: **(4)** → **(3)** → **(5)** → **(1)** → **(2)**, és ehhez a hierarchiához viszonyítva tárgyaljuk a tanulók esetén kapott sorrendiséget. Valamennyi évfolyam esetén azt tapasztaltuk, hogy a várt **(5)** → **(1)** sohasem jelenik meg a kapott Hasse-diagramokban, többségük inkább fordított: **(1)** → **(5)** hierarchiát tartalmaz. Ez arra utal, hogy az **(5)** reakcióegyenlet rendezésénél már említett típushiba felülmúlja azt a tényt, hogy az **(1)** reakcióegyenletet a kapcsolt részfolyamatok módszerével is lehet rendezni. A másik szembevetendő különbség, hogy a kapott Hasse-diagramokban mindössze egyszer, a 11. osztályosok esetén találunk **(4)** → **(1)** hierarchiát. Ennek oka lehet, hogy – amint már említettük – a **(4)** egyenlet esetén a láncszabály alkalmazásakor tört együtthatót is kapunk, és ez nehezítheti a helyes megoldást. Valószínű, hogy ez a 11. osztályosoknál már kevésbé okoz problémát, ezért jelenik meg az ő tudásszerkezetükben ez a sorrend. Magyarázatra szorul még az is, hogy a várt **(4)** → **(3)** hierarchia miért nem jelenik meg a kapott Hasse-diagramokban. A **(4)** reakcióegyenlet rendezésére valóban több eljárás kínálkozik, mint a **(3)** egyenletére, de – amint azt az előbbiekből láttuk – a **(4)** reakcióegyenlet rendezése több buktatót is tartalmaz, mint a **(3)** egyenleté. Ugyanakkor megfigyelhető, hogy a 11. évfolyamosok egyik Hasse-diagramjában fordított, **(3)** → **(4)** sorrend szerepel. Ennek – véleményünk szerint – az lehet az oka, hogy a **(3)** reakcióegyenlet nagyon hasonlít a szerves kémiában gyakran felírt szénhidrogénégések reakcióegyenletéhez, ezért a szerves kémiai tanulmányaikon túljutott tanulóknak ez az egyenletrendezés kevésbé problematikus, mint a **(4)** egyenleté.

Az eredmények összefoglalása

Az egyes évfolyamok teljesítményének értékelése alapján megállapíthatjuk, hogy a tanulók reakcióegyenletek rendezésében mutatott teljesítménye 9. osztályban fejlődik sokat, utána a fejlődés megáll, a teljesítmény stagnál.

Azt hihetnénk, hogy a 9. osztályban bekövetkező fejlődés annak következménye, hogy tanulóink megismerkednek az oxidációs szám-változáson alapuló egyenletrendezéssel. Ennek ellentmond azonban egyrészt az a korábbi felmérésünk (Tóth, 1999, 2003, 2004), mely szerint a tanulók nem, vagy csak alig (2-4%-ban) használják ezt az egyenletrendezési eljárást, másrészt egy új egyenletrendezési eljárás megjelenésének nyoma lenne a tudásszerkezetben is, márpedig a tudástér-elmélet alapján végzett elemzésünk szerint a 9. és a 10. osztályos tanulók tudásszerkezete között nincs kimutatható különbség.

Az, hogy a 10. és a 11. osztályosok teljesítménye között nem találunk szignifikáns különbséget arra utal, hogy a 10. osztályos kémia (szerves kémia) nem fejleszti a tanulók egyenletrendezési stratégiáit. Ugyanakkor a 11. osztályosok tudásszerkezete – a KST-elemzés szerint – differenciáltabb, sokszínűbb, mint a 10. osztályosoké, bár a fontosabb csomópontok – a **(2)** feladat a legnehezebb, a **(3)** feladat a legkönnyebb – továbbra is változatlanok maradnak. A 10. osztályban bekövetkező tudásszerkezet-változás tehát nem tekinthető lényeginek, inkább a továbbra is jellemző próbálgatás és a különböző logikai eljárások (láncszabály, kapcsolt részfolyamatok módszere) váltakozása vezethet a korábbinál több modellel is leírható tudásszerkezethez.

Irodalomjegyzék

Albert, D. (ed.) (1994): Knowledge Structures. <http://wundt.uni-graz.at/kst.html>

Arasasingham, R.D., Taagepera, M., Potter, F., Lonjers, S. (2004): Using knowledge space theory to assess student understanding of stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 81/10. 1517-1523.

Doignon, J-P., Falmagne, J-C. (1999): Knowledge Spaces. Springer.

Taagepera, M., Arasasingham, R., Potter F., Soroudi, A., Lam, G. (2002): Following the development of the bonding concept using knowledge space theory. *Journal of Chemical Education*, 79/6. 756-762.

Taagepera, M., Noori, S. (2000): Mapping students' thinking patterns in learning organic chemistry by the use of knowledge space theory. *Journal of Chemical Education*, 77/9. 1224-1229.

Tóth Z. (1997): Balancing chemical equations by inspection. *Journal of Chemical Education*, 74/11. 1363-1364.

Tóth Z. (1998): Új eljárás a reakcióegyenletek rendezésére. *A Kémia Tanítása*, 6/1-2, 16-19.

Tóth Z. (1999): A reakcióegyenletek rendezésének módszerei és problémái. *Magyar Kémiai Folyóirat*, 105/6. 207-219.

Tóth Z. (2003): Tanulói stratégiák és tévképzetek a reakcióegyenletek rendezésében. *A Kémia Tanítása*, 11/2. 3-13.

Tóth Z. (2004): Students' strategies and errors in balancing chemical equations. *Journal of Science Education*, 5/1. 33-37.

A munkát az OTKA (T-049379) támogatta.