



**A TANULÓK TÉVKÉPZETEINEK ÉS FOGALMI
FEJLŐDÉSÉNEK VIZSGÁLATA A KÉMIA NÉHÁNY
ALAPFOGALMA TERÜLETÉN**

Doktori (PhD) értekezés

Kiss Edina

Témavezető: Dr. Tóth Zoltán egyetemi docens

Debreceni Egyetem, Kémia Doktori Iskola
Debrecen, 2008

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem TTK Kémia Doktori Iskola Reakciókinetika és katalízis programja keretében készítettem 2002-2005 között és ezúton benyújtom a Debreceni Egyetem TTK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2008. április

Kiss Edina

Tanúsítom, hogy Kiss Edina doktorjelölt 2002-2005 között a fent megnevezett doktori iskola Reakciókinetika és katalízis programja keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglaltak a jelölt önálló munkáján alapulnak, az eredményekhez önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Az értekezés elfogadását javasolom.

Debrecen, 2008. április

Dr. Tóth Zoltán
egyetemi docens

TARTALOM

1.	BEVEZETÉS.....	1
2.	A TANULÓK FOGALMI FEJLŐDÉSÉRE, KÉMIAI TÉVKÉPZETEINEK MEGISMERÉSÉRE IRÁNYULÓ KUTATÁSOK	3
	2.1. Előzmények	3
	2.2. A fogalmi váltás elméletei és modelljei.....	6
	2.3. A tévképzetek fogalma, eredete és tulajdonságai	9
3.	A TANULÓK KÉMIAI ALAPFOGALMAKKAL KAPCSOLATOS TÉVKÉPZETEINEK VIZSGÁLATA	15
	3.1. Általános kutatási kérdések.....	15
	3.2. A vizsgálat módszerei.....	15
	3.2.1. A minta	15
	3.2.2. A mérőeszköz	17
	3.2.3. A vizsgálat lebonyolítása	17
	3.2.4. Az értékelés módszerei	18
	3.2.4.1. A nyílt végű kérdésekre adott válaszok értékelése a hatfokú skálával.....	18
	3.2.4.2. A válaszok kvalitatív értékelése a fenomenografikus elemzéssel.....	19
	3.2.4.3. A tudás szerveződésének modellezése a tudástér-elmélet segítségével	19
	3.2.4.4. Az adatok statisztikai értékelése.....	21
	3.3. A fizikai változás és kémiai változás fogalmával kapcsolatos felmérés részletes értékelése	22
	3.3.1. Irodalmi előzmények	22
	3.3.2. Kutatási kérdések.....	27
	3.3.3. Tankönyvi definíciók.....	27
	3.3.4. A fizikai változás és kémiai változás tanulói definícióinak elemzése.....	29
	3.3.5. A fizikai változás és kémiai változás azonosításával kapcsolatos feladat megoldásának elemzése	36
	3.3.6. A fizikai változás és kémiai változás jellemzőinek ismeretét ellenőrző feladat megoldásának elemzése	46
	3.3.7. Összefoglalás	54
	3.4. Az anyagmennyiség és mól fogalmával kapcsolatos felmérés részletes értékelése.....	58
	3.4.1. Irodalmi előzmények	58
	3.4.2. Kutatási kérdések.....	60
	3.4.3. Az SI definíció.....	61

3.4.4.	Tankönyvi definíciók.....	61
3.4.5.	Az anyagmennyiség tanulói definícióinak elemzése	61
3.4.6.	Egy sztöchiometriai feladat megoldásának elemzése	64
3.4.7.	Összefoglalás	69
3.5.	Az elem, vegyület és keverék fogalmával kapcsolatos felmérés	
	részletes értékelése	70
3.5.1.	Irodalmi előzmények	70
3.5.2.	Kutatási kérdések.....	73
3.5.3.	Az elem, vegyület és keverék tanulói definícióinak elemzése.....	73
3.5.4.	Egy, az anyag felépítésével kapcsolatos feladat megoldásának elemzése.....	78
3.5.5.	A részecskeábrák azonosításával kapcsolatos feladat megoldásának elemzése	87
3.5.5.1.	A halmazállapot szerinti besorolás eredményei és értékelése	89
3.5.5.2.	A fizikai összetétel szerinti besorolás eredményei és értékelése.....	92
3.5.5.3.	A kémiai összetétel szerinti besorolás eredményei és értékelése.....	95
3.5.6.	Összefoglalás	97
3.6.	Az eredmények összefoglalása	100
3.6.1.	A fizikai változás és a kémiai változás fogalmával, megértésével kapcsolatos eredmények	100
3.6.2.	Az anyagmennyiség fogalmával, megértésével kapcsolatos eredmények.....	104
3.6.3.	Az elem, vegyület és keverék fogalmával, megértésével kapcsolatos eredmények	105
4.	ÖSSZEGZÉS ÉS JAVASLAT AZ EREDMÉNYEK ALKALMAZÁSÁRA	108
5.	SUMMARY	112
6.	IRODALOM.....	116
7.	TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓK	124
8.	MELLÉKLETEK	

1. BEVEZETÉS

A természettudományos nevelés napjainkban gyökeres változáson megy keresztül. Az iskola diszciplináris tudást közvetítő szerepe elavult (*Nahalka, 1999*). A jövő nemzedéke olyan világban kell, hogy megállja a helyét, ahol alapvető azon ismeretek és képességek elsajátítása, melyek nem csak az iskola falain belül, hanem azon kívül is, és pedig bármely területen, élethosszig tartóan alkalmazhatók.

A természettudományos tantárgyaknak többszörös kihívással kell szembenéznük, mert mára közkedveltségük is csökkent. A kémia helyzete ezen belül az óraszámcsökkentéssel tovább nehezedett. A tanulók nehezen tanulható, elvont tudománynak tartják a kémiát, sokszor kell az életkori sajátosságaiknak nem megfelelő tananyagot elsajátítaniuk. Mindezek mellett a társadalom „ellenszenve” a kémia iránt sem könnyíti meg a nevelők feladatát a kémia népszerűsítésében.

Az 1957-es „szputnyik-sokk” után az Egyesült Államokban nagymértékű tantervfejlesztés vette kezdetét. Néhány év múlva azonban kiderült, hogy a tantervi reformok nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket. A tanulók nem voltak képesek kellő mértékben elsajátítani a tudományos fogalmakat. Joggal merült fel a kérdés, hogy mi ennek az oka, és hogyan lehet megoldani a problémát. Ezzel a 60-as években kialakult egy új kutatási irányzat, mely hamarosan két ágra szakadt. Az egyik célja a tanulói ismeretek feltárása (tévképzetkutatás), a másiké az ismeretsajátítás folyamatának vizsgálata (fogalmi fejlődés és fogalmi váltás kutatása). E kutatásokat ösztönözte annak a kérdésnek a megválaszolása is, hogy miért járunk iskolába, mit nyújt számunkra ez az intézmény. Elvárásainkat három alapvető pontban foglalhatjuk össze:

- a megismerés és gondolkodás képességeit és készségeit kifejleszteni;
- a mindennapi és a gyakorlati életben felhasználható ismereteket elsajátítani;
- későbbi tanulmányokra felkészülni (*Csapó, 1998*).

Különösen fontos szerep jut napjainkban az utolsó pontnak, amikor az élethosszig tartó tanulás képessége társadalmunk fejlődésének alapvető záloga.

Az utóbbi négy évtizedben számos kutatás zajlott a tanulók természettudományos ismereteinek feltérképezésére vonatkozóan. Az eredmények azt bizonyítják, hogy a gyerekek igen speciális ismeretrendszerrel rendelkeznek már az iskolába lépés előtt is. Ezeknek az ismereteknek a nagy része nem egyeztethető össze a tudományosan elfogadottakkal és sajnos az oktatás során nagyon nehezen lehet lecserélni őket (*Stavy, 1988; Korom, 2005*). Azzal, hogy megismerjük ezeket az oktatást megelőző ismereteket, valamint, hogy hogyan alakulnak ki, és miként változnak az iskolában eltöltött évek során, elősegítjük a későbbi oktatás folyamatát, a megfelelő módszerek kidolgozását ahhoz, hogy tanulóink könnyebben elsajátíthassák a természettudomány, és azon belül a kémia ismereteit.

A következő fejezetben a kutatási irányzatok rövid történetét és eredményeit foglalom össze, különös tekintettel a kémia területén végrehajtott vizsgálatokra.

A harmadik fejezetben saját kutatásomat mutatom be, mely során elsősorban a kémia tudományos alapfogalmai terén kialakult tanulói tévképzetek feltárására vállalkoztam. Az általános kutatási kérdések megfogalmazása után leírom a vizsgálat módszereit, majd ezt követően térek ki eredményeimre és azok értékelésére.

A negyedik fejezetben javaslatot teszek az eredmények oktatásban való alkalmazására, majd egy rövid összeggzéssel zárom értekezésemet.

2. A TANULÓK FOGALMI FEJLŐDÉSÉRE, KÉMIAI TÉVKÉPZEINEK MEGISMERÉSÉRE IRÁNYULÓ KUTATÁSOK

2.1. Előzmények

A fogalmi fejlődés illetve fogalmi váltás kutatási irányzatának kialakulásához több előzmény vezetett el. Ahogy azt a bevezetőben említettem, a tanulás illetve a tanítás kutatása során egyre nagyobb hangsúlyt kapott az ismeretsajátítás folyamata. Ausubel (1963) és Bruner (1968) a tudás struktúrájára hívta fel a figyelmet. Bruner szerint a tanulás illetve tanítás folyamata annál hatékonyabb, minél strukturáltabb tudásra épül, és ugyanakkor az eredménye is ebben nyilvánul meg. Ausubel (1968) a már meglévő tudást tartja a legmeghatározóbbnak a tanulás során. Ezért annak megismerését alapvetőnek gondolja a tanítás folyamata szempontjából is

Novak (1979) az értelmes tanulást hangsúlyozta a természettudományok tanulása során. Ez alatt egy olyan ismeretsajátítási folyamatot értett, amikor a tanár egyértelműen, érthetően adja át, magyarázza el a fogalmakat, összefüggéseket a tanulók számára, és ezzel a tanuló fogalmi rendszere képessé válik az új ismeret befogadására.

Szintén nagy szerepet játszott a kutatási irányzat kialakulásában a posztpozitivisták tudományfilozófiája. Ők a pozitivistákkal ellentétben tagadták, hogy lehetséges lenne a világ objektív megismerése induktív úton.

Popper „falszifikációs elmélete” szerint csak azokat a teóriákat tekinthetjük tudományosnak, melyeknek logikai felépítése lehetővé teszi magának a teóriának a cáfolatát. Az empirikus tapasztalatok helyett az elméletek lesznek a kutatás kezdőpontjában. Azok segítségével azután olyan állításokat fogalmazhatunk meg, melyeket végül empirikus ellenőrzésnek vethetünk alá (Popper, 1997; Nahalka, 2002).

Kuhn a tudomány fejlődését paradigmaváltás-elméletével jellemzi, annak folyamatát normál, illetve forradalmi szakaszokra tagolja. Kuhn hatására más szóhasználattal ugyan, de Lakatos is két folyamatot különböztet meg. Az egyikben a kutatók elméleti megfontolásaik felhasználásával különböző kutatási programokat hoznak létre, melyekben állásfoglalásukat kísérleteik segítségével igazolják. Kuhn esetében ez felel meg a normál, „paradigmák” által uralt szakasznak. A másik folyamat akkor veszi kezdetét, amikor a kísérleti eredmények más összefüggések felé mutatnak, azaz a meglévő alapfeltevések megváltoztatását igénylik. Lakatos ezt az időszakot a kutatási programok változásaként írja le, míg Kuhn a „tudományos forradalom” néven említi, amikor bekövetkezik a

paradigmaváltás. (Posner és mtsai, 1982; Gilbert és Swift, 1985; Kuhn, 1984; Lakatos, 1998)

A későbbiekben, a fogalmi fejlődés és fogalmi váltás modelljeinek bemutatásakor szólok arról, hogy a posztpozitivisták elméletei hogyan állíthatók párhuzamba az egyén ismeretelsajátítási folyamatával.

Vigotszkij (1967) szerint miután a gyermek megtanul beszélni és a szavakat jelképekként használja, a gondolkodás és a nyelv együtt fejlődik. Ezért a fogalmi fejlődést a gondolkodás változásával hozta összefüggésbe. A gyermek fogalmai három fejlődési szakaszon mennek át:

- az első szakaszban a fogalmak mindenféle rendszer nélkül épülnek be;
- a második szakaszban a fogalmak között létező kapcsolatok alakulnak ki, amelyeket egyelőre még csak a személyes, közvetlen tapasztalatok formálják;
- végül a harmadik szakaszban előtérbe kerül az absztrakt gondolkodás, és a fogalmi struktúra alapvető elvek összefüggő rendszere segítségével fejlődik ki.

Vigotszkij elméletében fogalmi váltás akkor következik be, amikor a gyermek már nem az összes jellemző, hanem csak néhány alapvető tulajdonság egyezése alapján csoportosítja a dolgokat.

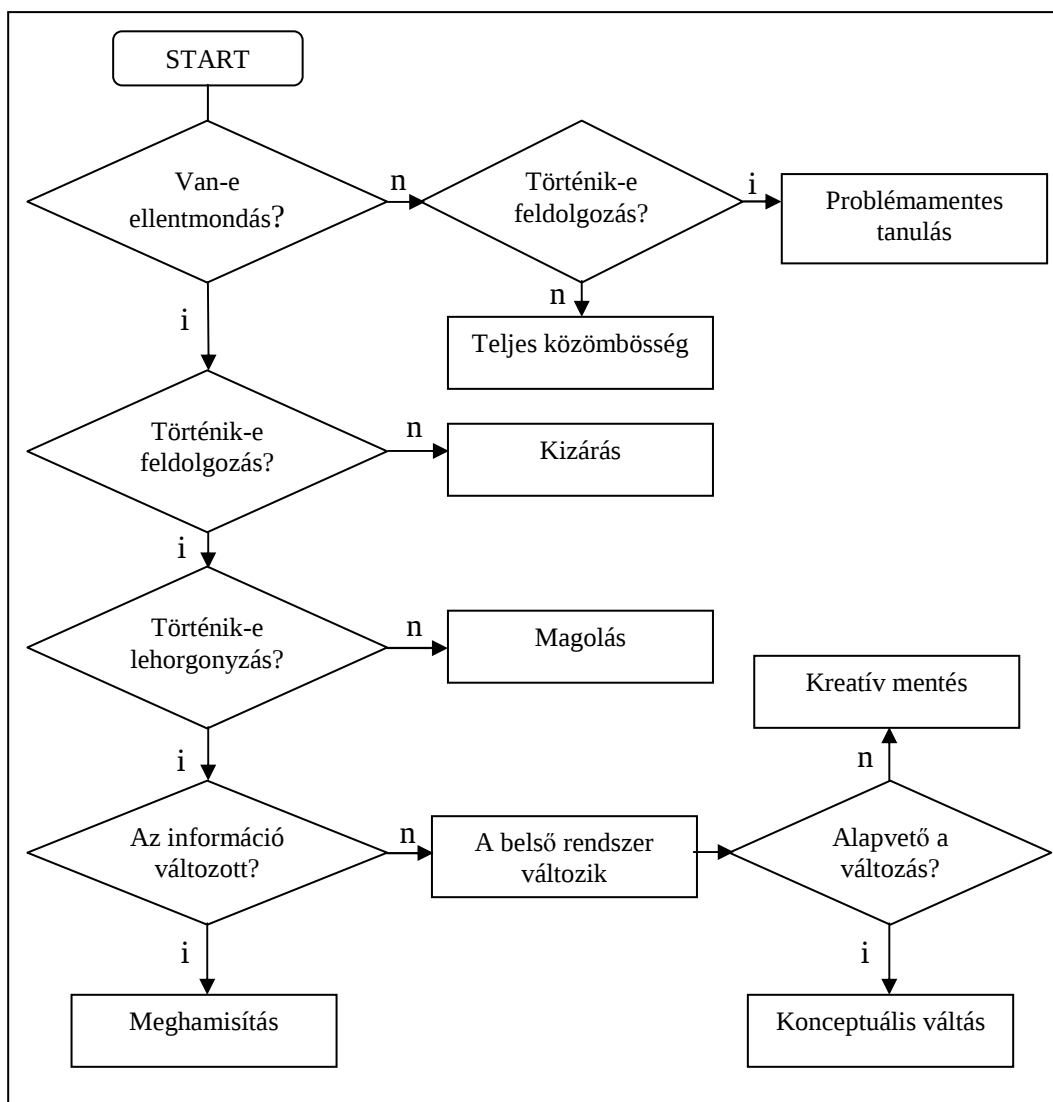
Régebben elfogadott tény volt az oktatásban, hogy a tanulók értelmé az iskolába való belépéskor „tabula rasa”-ként működik, azaz egy üres táblaként, melynek teleírása az ismereteket közvetítő tanár feladata. Ennek következményeként úgy tartották, hogy az ismeretek elsajátításának legfőbb tényezője az, hogy a tanár hogyan tanít. Ezért az oktatásdidaktika legfőbb feladatának olyan tanítási módszerek kidolgozását tartotta, melyek segítségével ez a folyamat a leghatékonyabb lesz. Így alakult ki az a három didaktika, melyet Aebli 1951-ben megjelent művében leírt (Nahalka, 2002). A szavak és könyvek pedagógiája, a szemléltetés pedagógiája és a cselekvés pedagógiája mellett azonban mára egyre nagyobb teret hódít a konstruktivista pedagógia, mely egészen más szempontból vizsgálja az ismeretelsajátítás folyamatát.

„A konstruktivizmus szerint a tudás nem egy közvetítődési folyamatban lesz a megismerő ember sajátja, hanem azt maga hozza létre, konstruálja.” (Nahalka, 2002, 50. oldal)

Ez azt jelenti, hogy a megelőző három pedagógiával ellentétben itt már a tanulás és a tanítás folyamatát nem tekinthetjük pusztán ismeretátadásnak. Az egyén nem egyszerűen csak befogadja a tudást, hanem ő maga alkotja azt meg magában. A konstruktivista pedagógia alapjai a következő pontokban foglalhatók össze:

- A tudás konstrukció eredménye.
- A tudásnak nem az igazsága, hanem az adaptivitása a döntő.
- A tapasztalat nem a külső világ objektív lenyomata, hanem a megismerő által aktívan manipulált rendszer.
- Döntő jelentőségű a már meglévő világkép, a megelőző tudás.

- A megismerés logikája alapvetően deduktív.



1. ábra: A tanulás folyamatának hét lehetséges kimenete Nahalka szerint

A konstruktivizmus megteremtőjének Piaget-t tartjuk, hiszen az általa kidolgozott egyensúlyelmélet már előre vetítette kialakulásának szükségességét. Piaget szerint az információk elménkben egy strukturált rendszerbe szerveződnek, melynek megvan a maga egyensúlya. Az új információ megbontja ezt az egyensúlyt, amikor próbál beépülni. Ha nincs ellentmondás az új ismeret és a már

meglévő struktúra között, akkor minden akadály nélkül megtörténik a beépülés. Ezt nevezzük asszimilációnak. Ha viszont ellentmondás van, akkor a belső kognitív rendszer alakul át, hogy újra visszaálljon az egyensúly, ez pedig az akkomodáció folyamata. A konstruktív pedagógia magában foglalja ezt az elméletet, csak még tovább részletezi az ismeretek befogadásának folyamatát. *Nahalka* (1997) értelmezése szerint a tanulás során bekövetkező folyamatok hét típusba sorolhatók be, melyet egy egyszerű blokkdiagrammal szemléltet (1. ábra). A legnagyobb változást a konceptuális váltás jelenti.

„A fogalmi váltás azt jelenti, hogy az információ és a belső rendszer ellentmondása a belső rendszer radikális átalakulásához vezet.” (*Nahalka*, 2002, 58. oldal)

2.2. A fogalmi váltás elméletei és modelljei

A fogalmi váltás kifejezésnek többféle jelentése alakult ki aszerint, hogy melyik kutatócsoport céljait tekintjük. Egyrészt mellett párhuzamosan két csoport kezdett el foglalkozni ezzel a problémával más-más okból. A természettudományos nevelők fogalmi váltás alatt elsősorban azt a folyamatot értik, mely során a tanuló kezdeti ismereteit felváltják a tudományos fogalmak. A fejlődéslélektan kutatói azonban az ismeretszámításra helyezik a hangsúlyt, és a közben végbemenő mentális folyamatokat vizsgálják (*Korom*, 2005).

A fogalmi váltás fogalmának kutatása egyedülálló szóincset eredményezett, mert a jelenség számos szinten bekövetkezhet és a különböző szerzők alternatív kifejezéseket használnak hasonló tanulási folyamatok leírására. A legelfogadottabb vizsgálat szerint a fogalmi váltásnak két típusa van:

- gyenge tudásátrendeződés /asszimiláció / fogalmi befogadás
- erős vagy radikális ismeretátrendeződés / akkomodáció / fogalmi csere

Van, aki elkülöníti a tudásnövekedést a fogalmi váltástól, míg mások belefoglalják azt. *Harrison és Treagust* (2000) foglalták össze a különböző szerzők fogalmi váltással kapcsolatos eltérő kifejezéseit.

Miután a fogalmi váltás kifejezésnek az irodalomban igen sok jelentése van, ezért gyakran vezet ahhoz a félreértéshez, hogy egyszerűen az oktatás előtti fogalmak tudományos fogalmakra való cseréjéről van szó. Ettől azonban sokkal többről beszélhetünk, pontosabban arról, hogy a tanuló oktatás előtti fogalmi struktúráját alapvetően át kell, hogy rendezze annak érdekében, hogy képes legyen megérteni a jövőbeli tudást, mely a tudományos fogalom elsajátítását jelenti. A fogalmi fejlődés kifejezése elsősorban arra utal, hogy a természettudományt konstruktivista nézőpontból tanuljuk (*Duit és Treagust*, 2003).

A fogalmi váltás elmélete a természettudományos oktatásban 1982-ben jelent meg, amikor *Posner és mtsai* (1982) egy cikkben leírták a tudományos fogalmak tanulásának egy máig meghatározó modelljét.

E modell két elméleti keretből nőtt ki magát. Az egyik a posztpozitivist tudományfilozófusok, elsősorban Kuhn, Lakatos és Toulmin elméleteit foglalja össze. A másik meghatározó álláspont a fejlődéslélektant kutató Piaget kognitív fejlődésemélete. Posner és mtsai párhuzamot vontak e két elméleti keret között, miszerint a tudomány fejlődésének normál szakasza során az ismeretek csak halmozódnak, gazdagodás megy végbe, és ez megfelel az asszimilációnak. Ugyanakkor a forradalmi szakaszban új elméletek alakulnak ki, az ismeretek kicserélődnek, mely az akkomodáció folyamatával hozható összefüggésbe.

Posner és mtsai elmélete a radikális konstruktivista nézetbe van ágyazva, mely szerint objektív tudás nem létezik, helyett az egyén fogalmait és fogalmi fejlődését hangsúlyozza. Főleg azon fogalmak felé fordul a figyelmük, melyek irányítják a fogalmi váltást, Toulmin terminológiájával élve, e fogalmak összessége az egyén „fogalmi ökológiája” (*Toulmin*, 1972). A szerzők hasonlatosságot vélnek felfedezni az imént tárgyalt két elméleti keret és a fogalmi váltás természete között. A fogalmi váltás e modelljében, ha a tanuló elégedetlen az előzetes ismerettel, akkor ez feltételezhetően elindít egy drámai vagy forradalmi fogalmi váltást. E során, ha elérhető egy olyan helyettesítésre alkalmas fogalom, amely eleget tesz három alapvető feltételnek, akkor akkomodációja megtörténhet. A három feltétel szerint a fogalom *érthető*, *megbízható*, és *eredményesnek tűnik* a jövőre vonatkozólag. Egy fogalom akkor érthető, ha ellentmondásmentes, és jelentését a tanuló megértette. A megbízhatóság azt jelenti, hogy a tanuló tudásával összevetve a fogalom jelentését, a tanuló hihetőnek ítéli azt. Az eredményesség pedig azt jelenti, hogy a fogalom képessé teszi a tanulót más problémák megoldására vagy új kutatási irányok kitűzésére (*Duit és Treagust*, 2003; *Strike és Posner*, 1982; *Posner és mtsai* 1982).

A fogalmi váltás egy másik modelljét *Carey* (1988) írta le. Ő *Kuhn* (1984) paradigmaváltás-elméletén kívül a szakértővé válás folyamatával foglalkozó kutatások eredményeire is támaszkodott. Carey is kétféle folyamatot különböztet meg:

- „gyenge” tudásátrendeződés: a fogalmak között új kapcsolatok alakulnak ki, valamint olyan új sémák jönnek létre, melyek segítenek megoldani az új problémákat, és módosítják a régi problémák megoldását;
- „erős” tudásátrendeződés: az egyéni fogalmak szintjén történik változás.

Elmélete szerint például a kezdő és a szakember között a különbség nem az általuk birtokolt fogalmakban, hanem az azok közötti kapcsolatok minőségében van, tehát ebben az esetben az átalakulás során a gyenge átrendeződés játssza a főszerepet. A radikálisabb változás alkalmával már nem csak a kapcsolatok, hanem maguk a fogalmak is változnak, azaz a diszciplináris tudás fejlődéséről beszélhetünk.

diSessa és Sherin (1998) fogalmi fejlődés alatt az erős átrendeződést érti. Ők szemléletesen egy olyan hálózatot képzelnek el, melynek csomópontjai a különböző fogalmakat jelentik, és melyek különböző módon kapcsolódnak össze. Ez egy ún. szemantikai háló, melynek az a célja, hogy szélesebb területen modellezze a fogalmak jelentését egy szituációban. A hálóban bekövetkező lehetséges változásokat három szinten írják le:

- Hozzáírhatunk vagy törölhetünk csomópontokat (fogalmakat).
- Létesíthetünk, vagy törölhetünk kapcsolatokat a csomópontok között, vagy a létező kapcsolat típusát megváltoztathatjuk.
- Ha a hálózatnak van egy jellegzetes globális szervezettsége (pl. hierarchikus struktúra), végrehajthatjuk egy drámaibb változtatását ennek a rendszernek.

Ennek megfelelően ők a két lépcső helyett egy folytonos utat képzelnek el a változásra, azt vallják ugyanis, hogy nem minden esetben lehet besorolni egy tanulási fázist egyik vagy másik szélsőséges átrendeződésbe. Az egyes ismeretek elsajátítása különböző mértékű átszervezést igényel (*diSessa*, 1998, idézi *Korom* 2005)

Novak (2002) az értelmes tanulás jelentőségét hangsúlyozza a fogalmi váltás során is, főleg olyan helyzetekben, amikor az egyén tudásstruktúrája behatárolt, vagy hiányos, esetleg hibás részeket tartalmaz. Ezekre a tudásstruktúrákra vezette be a LIPH (Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies) betűszót. A fogalmi váltás, vagy a sokkal radikálisabb fogalmi átrendeződés feltétele a LIPH átalakulása az értelmes tanulás segítségével. Az értelmes tanulást segítő eszközök közül a fogalmi térképet, illetve a V-heurisztikát emeli ki.

Posner és mtsai elméletéhez hasonlóan *Feldman* (2000) kidolgozta az alkalmazott vagy gyakorlati fogalmi váltás modelljét, melynek segítségével fő célja annak a folyamatnak a megértése volt, mely során a tanárok eldöntik, hogy milyen gyakorlati elveket/módszereket alkalmazzanak munkájuk során, illetve, hogy azt hogyan alkalmazzák, és mikor döntenek amellett, hogy lecserélik ezeket az elveket. (Azaz a gondolkodó tanár perspektívájából nézi a dolgokat.) *Feldman* is azt találta, hogy itt is teljesülnie kell bizonyos feltételeknek. Először is a tanárnak elégedetlennek kell lennie az általa eddig alkalmazott gyakorlati módszerrel. Az új módszer elfogadásához három feltételnek kell együtt meglennie. Az új módszernek praktikusnak kell lennie, ami azt jelenti, hogy a gyakorlati szituációkban használata indokolt, és összhangban van a tanár kitűzött céljaival. Másodsorban előnyösnek kell lennie, vagyis alkalmasnak kell tűnnie jobb célok elérésére. Végül a gyakorlati szituációkat új megvilágításba kell helyezni, új értelmet kell biztosítani, azaz megvilágító erővel kell rendelkeznie.

E modellek mellett meg kell említenünk egy fontos tényt, miszerint több kutatás során bebizonyosodott, hogy a tanulók előzetes fogalmai nem egy lépésben cserélődnek le a tudományos ismeretekre. Ehelyett gyakran több lépcsőben

sajátítják el az új információkat és közben a régi és az új ismeret összeolvadásából hibridszerű fogalmak jönnek létre (*Gilbert és mtsai*, 1982; *Nieswandt*, 2001). *Chinn és Brewer* (1993) ezt periférikus fogalmi váltásnak nevezi.

Mindemellett három olyan tényezőt említhetünk, mely fontos szerepet játszik a fogalmi váltás bekövetkezésében. A metafogalmi tudatosság, a kognitív flexibilitás és az elméleti koherencia megjelenése, illetve növekedése elengedhetetlen feltételek ebben a folyamatban (*Vosniadou és Ioannides*, 1998, 1999). *White és Gunstone* (1989) különböző alapelveket fogalmaz meg, melyek segíthetik a tanulás folyamatának tudatosítását, ezáltal hatékonyabbá téve azt. Többek között hangsúlyozzák a kontextus, a személyes motiváció, a változatos tanítási módszerek, a tanulócsoport kérdések általi visszajelzésének és a hosszú távú célok megfogalmazásának fontosságát.

2.3. A tévképzetek fogalma, eredete és tulajdonságai

A gyerekek mielőtt iskolába kerülnek, számos tapasztalatot szereznek környezetükről, naiv elméleteket gyártanak a különböző jelenségek magyarázatára. Ezeket az elméleteket kezdetben gyakran jellemzi az én-központúság, az animizmus és artificializmus. Mivel a gyerekek gondolkodása egyénenként változó, így egy-egy jelenségnek többféle magyarázatával találkozhatunk. Kezdetben a kutatók a tévképzet kifejezést használták az előzetes ismeretek leírására.

„A tévképzetek a gyerekek vagy akár felnőttek tudásába tartósan beépülő hibás elképzelések, a jelenleg elfogadott tudományos nézetekkel össze nem egyeztethető fogalmak, fogalomrendszerek, a környezet egyes jelenségeiről alkotott modellek, amelyek mélyen gyökereznek és gyakran a tanításnak is ellenállnak.” (*Korom*, 1998, 139. oldal)

Idővel rájöttek, hogy ez az elnevezés nem írja le kellőképpen a probléma összetettségét és túlhangsúlyozza a tanulói elképzelés hibás voltát. Ekkor a szaknyelvi terminológia elkezdett rohamosan bővülni (*Abimbola*, 1988). Novak volt az elindítója annak a nemzetközi szemináriumnak (International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics, 1983), mely során mindig szó esik a terminológiai kérdésekről. Az egyes kutatók olyan elnevezéseket alkottak, melyben kifejezésre juttathatták saját elképzeléseiket a tanulói fogalmakról. Egyesek azt hangsúlyozták, hogy a tanulói elképzelés nem feltétlenül hibás, csak más (alternatív fogalom). Mások inkább azt tartották fontosnak kiemelni, hogy ezek az elképzelések még az oktatás előtt alakultak ki, ezért mindenképpen lecserélendők a

későbbiekben (oktatás előtti tudás). Megint mások pedig megkülönböztették a fogalmakat a fogalmi rendszerektől, elméletektől (alternatív fogalom, ill. keret).

Driver és Easley (1978) két csoportra osztották a kifejezéseket aszerint, hogy mit hangsúlyoztak. A nomotetikus (tudományközpontú) kifejezések elsősorban azt írják le, hogy a tanulók ismeretei nincsenek összhangban a tudományos nézetekkel. Az idiografikus (egyénytudás-központú) kifejezések viszont a tanulók egyéni elképzeléseit fogalmazzák meg.

Az 1. táblázat néhány kifejezést mutat be *Korom* (2005) gyűjtése alapján.

1. táblázat: A tanulói elképzelések leírására szolgáló leggyakoribb kifejezések
Korom (2005) után

Az eredeti angol név	A név magyar megfelelője	Előfordulás
misconception	tévképzet	Strike, 1983; Kinner, 1983; Zoller, 1990; Griffiths és Preston, 1992
preconception	előzetes elképzelés	Clement, 1982
alternative conception	alternatív elképzelés	Abimbola, 1988; Wandersee, Mintzes és Novak, 1994
alternative framework	alternatív keret	Driver és Easley, 1978; Nussbaum és Novick, 1982
naive belief	naiv meggyőződés	Caramazza, McCloskey és Green, 1981
naive theory	naiv elmélet	McCloskey, 1983
children's view	gyermeki nézet	Osborne, Bell és Gilbert, 1983
children's science	gyermektudomány	Gilbert, Osborne és Fensham, 1982; Osborne, Bell és Gilbert, 1983
conceptual frameworks	fogalmi keretek	Duit, 1991
personal models of reality	a valóság egyéni modelljei	Champagne, Gunstone és Klopfer, 1985
spontaneous reasoning	spontán gondolkodás	Viennot, 1979
intuitive concept	intuitív fogalom	Strauss és Stavy, 1983
preinstructional knowledge	oktatás előtti tudás	Hamilton, 1993
informal knowledge	informális tudás	Henderson, 1987

Ahogy azt már említettem, a tévképzetek nagy része a hétköznapi tapasztalatokból és kifejezésekből ered, de a szociális környezet, a média és az oktatás hatására is kialakulhatnak.

A tévképzetek a következő általános tulajdonságokkal rendelkeznek.

- Az aktuális tudományos elvekkel össze nem egyeztethetők.

- Nagy részük már az iskola időszaka előtt kialakul, de az oktatás is előidézheti őket.
- Rendkívül kitartóak, ugyanis a tanuló közvetlen megfigyelései és érzékelései által hozza létre azokat, és sok esetben logikusnak tűnnek. (Ahtee és Varjola, 1998)
- Bizonyos problémák megoldására alkalmasak, így a fogalomrendszer szerves részévé válnak.
- Általában a józanész logikáján alapulnak (Talanquer, 2006).
- A látható tulajdonságok és változások jelennek meg bennük, hétköznapi szóhasználatkal kifejezve. (Hesse és Anderson, 1992; Taber, 1998)
- Ellenállnak a változtatásnak, nehéz lecserélni őket. A hagyományos tanítási módszerek nem alkalmasak a felülírásukra. (Novick és Nussbaum 1981, Clement 1982, McCloskey 1983)
- Jellemző rájuk az antropomorfizmus, animizmus, artificializmus. (Taber és Watts, 1996)
- Széles körben elterjedtek nemtől, kortól, képességektől és nemzetiségtől függetlenül. (Wandersee és Mtsai, 1994)
- Párhuzamba állíthatók a tudomány már túlhaladott nézeteivel. (diSessa, 1982)
- Gátolják a tanulást, a helyes fogalmak elsajátítását.
- Konkrét, egyedi jelenségekre vonatkoznak, nem alkotnak konzisztens rendszert, a gyerekek tudásában bárhol előfordulhatnak. (Korom, 1998)
- Ugyanazok a tévképzetek nemcsak a tanulók, de a tanárok esetében is megfigyelhetők.

Ebből a listából kitűnik, hogy a tévképzetek egyik eredeteként a hétköznapi tapasztalatokat nevezhetjük meg. A tanulók már akkor számos előzetes fogalommal rendelkeznek a természeti jelenségekről, amikor megkezdik kémiai tanulmányaikat (Korom, 1999). Ezek egy része valóban nem egyeztethető össze a tudományos fogalmakkal, viszont jelenlétük éppen ezért okoz zavart tanulóink számára, mert megnehezítik a helyes összefüggések elsajátítását. Ezért fontos, hogy megismerjük az előzetes ismereteket, melyekkel diákjaink óráinkra érkeznek és megértsük kialakulásuk okát. Így könnyebben felszámolhatóbbá válnak, és tanulóink hatékonyabban sajátíthatnák el a helyes fogalmakat is.

A legújabb kutatások közül Talanquer (2006) munkáját emelem ki, melyben a szerző egy érdekes modellt ír le a tévképzetek és alternatív fogalmak osztályozására. Ez egyfajta magyarázó keret, melynek segítségével aszerint csoportosíthatjuk ezeket a fogalmakat, hogy milyen módon alakulnak ki. A modell azon a hipotézisen alapul, hogy a természettudományokat tanulók fogalmi nehézségei általában a „józan ész” táplálta gondolkodásból (a „hétköznapi” módon való gondolkodásból) ered, és az emberek elkötelezettségei annak a világról alkotott nézőpontnak, melyet a szerző egyszerűen csak „naiv realizmusnak” nevez, s mely vakon bíz az észlelésben. A 2. táblázat e modell elemeit mutatja be.

2. táblázat: A hétköznapi értelem kémiáját magyarázó keret elemei Talanquer (2006) szerint

<u>Tapasztalati feltételezések</u>	<u>A józanész heurisztikái</u>
Folytonosság Anyagiság (anyagi tulajdonság) Lényegbeliség (lényeges tulajdonság) Mechanikai okság Teleológia	Asszociáció Redukció (egyszerűsítés) Fixáció (rögzítés, rögzülés) Lineáris sorrendiség

A következő 3. táblázatban az egyes elemek jelentését foglalom össze példával illusztrálva.

3. táblázat: A hétköznapi értelem kémiáját magyarázó keret elemeinek jelentése példával illusztrálva Talanquer (2006) után.

<u>Tapasztalati feltételezések</u>	<u>Alternatív fogalom</u>
<u>Folytonosság:</u> Annak a feltételezése, hogy az anyag folyamatosan egyre kisebb részekre bontható és ezek a részek a makroszkopikus anyag tulajdonságaival bírnak.	A rézatomok vörösek.
<u>Anyagiság:</u> Az elvont fogalmaknak és folyamatoknak anyagi természetű jellemzők tulajdonítása.	A hó a folyadékhoz hasonlóan viselkedik, és annak tulajdonságaival rendelkezik.
<u>Lényegiség:</u> Az az elképzelés, hogy a tárgyak és anyagok rendelkeznek egy olyan tőlük elidegeníthetetlen tulajdonsággal, mely által identitásuk meghatározható és ez a jellemzőjük akkor is megmarad, ha az anyag változását figyelhetjük meg.	A rozsda a vas egy típusa.
<u>Mechanikai okság:</u> Annak hite, hogy egy rendszerben végbemenő változás mindig valamilyen külső beavatkozás eredménye.	Egy sav „megtámad” egy fémet, de ő maga nem feltétlenül megy át változáson a folyamat során.
<u>Teleológia:</u> Azokban az esetekben, amikor nem tudjuk meghatározni a változást okozó reagenst, az adott folyamat vagy állapot valamely cél megvalósítása vagy szükség kielégítése miatt megy végbe vagy alakul ki.	A spontán reakciók azért mennek végbe, mert csökkenteni akarják a rendszer entrópiáját.

A józanész heurisztikái	Alternatív fogalom
<u>Asszociáció:</u> Mindennapos asszociációk alapján kapcsolódó szabályok alkalmazása folyamatok kimenetelének jóslására.	Ha egy savat és egy bázist összeöntünk, akkor egy semleges oldatot kapunk eredményül.
<u>Redukció:</u> A fogalmak és jelenségek bemutatásának leegyszerűsítése, minél kevesebb tényező figyelembevételének érdekében.	A kötés polaritása meghatározza a molekula alakját.
<u>Fixáció:</u> Az elvek, stratégiák és értelmezések automatikus alkalmazása a probléma természetének és más lehetőségek figyelmen kívül hagyásával.	A kémiai folyamatok mindig irreverzibilisek.
<u>Lineáris sorrendiség:</u> Egy rendszer fejlődését események lineáris soraként értelmezni.	Egyensúlyban az odairányuló reakció teljesen befejeződik, mielőtt a visszairányuló reakció elkezdődik.

A több mint négy évtizedes múlta visszatekintő kutatási irányzat ma már több ezer tanulmány megjelenésével büszkélkedhet. Ha azonban pontosak akarunk lenni, akkor – igazodva az előzőekben fejtegetett szaknyelvi terminológiához – tévképzet helyett alternatív fogalmakról kell, hogy beszéljünk. *Gilbert és Swift* (1985) *Lakatos és Piaget* elképzeléseit ötvözve már tudatosan írnak az alternatív fogalmak kutatási programjáról, elfogadva, hogy a természettudományos oktatás aktuális problémájának megoldását a mennyiségi helyett egyre inkább a minőségi analízisek viszik tovább. Az ismeretelsajátítás folyamatának megértése szempontjából a tanulók fogalmainak feltárása központi feladattá vált. Néhány év múlva pedig már egész mozgalmról ír *Millar* (1989). Az ACM (Alternative Concept Movement), azaz az alternatív fogalmak mozgalma sok száz kutatót tömörít egybe a közös célok megvalósítása érdekében.

Az összes eredmény bemutatása lehetetlen az időközben felhalmozódott nagy mennyiségük miatt. Ehelyett megadom néhány összefoglaló jellegű munka címét és elérhetőségét.

Kind, V. (2004). Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas. www.chemsoc.org/learnnet/miscon.htm

Driver, R. és Erickson, G. (1983). Theories-in-Action: Some Theoretical and Empirical Issues in the Study of Students' Conceptual Frameworks in Science. *Studies in Science Education*, 10, 37-60

Furió, C., Azcona, R. és Guisasola, J. (2002). The learning and teaching of the concepts 'amount of substance' and 'mole': review of the literature. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* 3 (3), 277-292

Gabel, D. L. és Bunce, D. M. (1994). Research on Problem Solving: Chemistry. *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Gabel D. (ed) 301-326.

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. 69-95

Krnel, D., Watson, R. és Glazar, S. A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of 'matter'. *International Journal of Science Education* 20 (3), 257-289.

Taber, K. (2001). Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure, Volume I: theoretical background, Volume II: classroom resources, *Royal Society of Chemistry*

Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. és Novak, J. D. (1994). Research on Alternative Conceptions in Science. *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Gabel D. (ed) 177-210.

Chemistry Misconceptions

<http://educ.queensu.ca/~science/main/concept/chem/c07/C07CDTL1.htm>

Horton, C. (2007). Student Preconceptions and Misconceptions in Chemistry (Student Alternative Conceptions in Chemistry)

<http://www.daisley.net/hellevator/misconceptions/misconceptions.pdf>

http://cstl-csm.semo.edu/waterman/ST601/general_misconceptions_list.htm

<http://www.education.vic.gov.au/studentlearning/teachingresources/science/scicontinuum/research.htm#t>

3. A TANULÓK KÉMIAI ALAPFOGALMAKKAL KAPCSOLATOS TÉVKÉPZETEINEK VIZSGÁLATA

3.1. Általános kutatási kérdések

A természettudományos és azon belül a kémiai műveltség elsajátításának mértéke nagyban függ az alapfogalmak megértésétől. Kutatásom során ezért a kémia néhány alapvető fogalmán keresztül próbáltam meg kideríteni, hogy a 13 és 17 év közötti tanulók képesek-e megérteni ezeket a fogalmakat, illetve, hogy hogyan fejlődik az ezzel kapcsolatos tudásuk az oktatás előrehaladásával. Mindezek mellett céljaim között szerepelt a tanulók tévképzeteinek feltárása is. Általános kutatási kérdésekként az alábbiak fogalmazódtak meg.

- Képesek-e elsajátítani és megérteni a kémia tudományos alapfogalmait a 13-17 éves tanulók?
- Milyen tévképzetekkel rendelkeznek tanulóink a kémia alapfogalmaival kapcsolatban?
- Van-e fogalmi fejlődés a tanulók életkorának előrehaladásával?
- Hogyan szerveződik a kémia alapfogalmaival kapcsolatos tudás a különböző korosztályokhoz tartozó tanulók kognitív rendszerében?

3.2. A vizsgálat módszerei

3.2.1. A minta

A populációt a 13 és 17 év közötti magyar gimnazisták alkották. A résztvevőket egy, a Kémcső című internetes folyóiratban közzétett nyílt felkérés, valamint személyes ismeretség segítségével toboroztam. Kifejezetten hat-, illetve nyolcosztályos középiskolákat választottam, ahol a kémiaoktatás folyamata nem törik meg az iskolaváltással nyolcadik osztály után. Az ország 12 településének 17 gimnáziumából 2228 tanuló töltötte ki írásbeli felmérőnket. Az iskolák részletes adatait az 1. számú melléklet tartalmazza. A minta iskolák szerinti és évfolyamonkénti összetételét a 4. táblázat mutatja. A 12. évfolyam tanulóit kihagytam a felmérésből. Ennek oka egyrészt az őket nagymértékben lefoglaló érettségi vizsga volt, másrészt pedig a felmérés időpontja, amely az írásbeli érettségit követően történt, 2003. május közepe után, amikor a 12. évfolyam már nem járt iskolába. Az 5. táblázat bemutatja, hogy az egyes felmérőlapokat hányan töltötték ki évfolyamonként.

A 2003/2004-es tanév tavaszi szemeszterében lehetőségem adódott Portugáliában folytatni kutatásomat. Hasonló korosztályból, egy kisebb minta összeállításával került sor néhány feladat megoldására, melyek a magyar felmérőlap feladatai közül kerültek ki. A 6. táblázat ennek a portugál mintának az összetételét szemlélteti évfolyamonként.

4. táblázat: A minta iskola és évfolyam szerinti összetétele

Iskola kódja és neve	7. Évf.	8. Évf.	9. Évf.	10. Évf.	11. Évf.	Összesen
01 Ady	51	26	24	18	20	139
02 Bányai	47	46	44	43	36	216
03 Berze-Nagy	21	23	17	29	0	90
04 Bocskai	0	24	17	23	16	80
05 Kossuth Db.	48	50	49	45	45	237
06 Diósgyőri	21	21	26	16	20	104
07 Dóczy	53	67	46	27	34	227
08 Apáczai	21	18	20	41	18	118
09 Eötvös	36	13	0	0	0	49
10 Herman	22	47	20	25	21	135
11 Katona	23	21	26	23	25	118
12 Kossuth Tf.	20	21	17	14	14	86
13 Sancta M.	30	24	28	24	29	135
14 Szt. Imre	20	22	30	39	29	140
15 Vak Bottyán	24	15	0	0	17	56
16 Vasvári	51	46	44	36	39	216
17 Váci	20	11	17	18	16	82
N (fő)	508	495	425	421	379	2228

5. táblázat: A minta felmérőlap szerinti eloszlása

	7. Évf.	8. Évf.	9. Évf.	10. Évf.	11. Évf.	Összesen
A felmérőlap	174	168	148	150	136	776
B felmérőlap	171	166	142	144	127	750
D felmérőlap	163	161	135	127	116	702
N (fő)	508	495	425	421	379	2228

6. táblázat: A portugál minta megoszlása évfolyamonként

Évf.	7.	8.	9.	10.	11.	Összes
N (fő)	72	97	168	98	61	496

3.2.2. A mérőeszköz

Kutatásomhoz írásbeli felmérőlapokat használtam. Összesen négy felmérőlap készült négy különböző témában. A C felmérőlap értékelésére idő hiányában nem került sor, ezért a doktori értekezésből kimaradt. A felmérőlapok témái:

A felmérőlap	Fizikai változás, kémiai változás
B felmérőlap	Az anyagmennyiség és a mól
C felmérőlap	Atom, molekula, ion
D felmérőlap	Elem, vegyület, keverék

A felmérőlapok a 2. számú mellékletben tekinthetők meg. Felépítésüket tekintve közös tulajdonságuk, hogy mindegyikük tartalmazott nyílt és zárt végű kérdéseket is. A zárt végűek között egyaránt találhatunk egyszerű és többszörös választású feladatokat is. Mind a négy felmérőlap négy oldalas volt, és kicsinyítve ráfért egy A/4-es formátumú lapra, melyet középen összehajtottam. A feladatok és részfeladatok száma különböző volt, arra ügyeltem, hogy mindegyik írásbeli teszt megoldható legyen egy 45 perces tanítási óra alatt.

A négy felmérőlap zárt végű kérdéseiből válogattam össze a portugál minta írásbeli tesztjét, figyelembe véve az egyes évfolyamok kémia tanmeneteinek tartalmát.

3.2.3. A vizsgálat lebonyolítása

Az első év a felmérőlapok kidolgozásával, majd az adatgyűjtéssel telt. Összesen 16 tankönyvcsalád 38 tankönyvét, illetve 21 munkafüzetét vizsgáltam meg abból a célból, hogy megtudjam, hogyan tanítják a vizsgálatom tárgyát képező alapfogalmakat, mennyire járulhatnak hozzá a tévképzetek kialakulásához, és milyen jellegű feladatokon keresztül gyakoroltatják a megértést. A felmérőlapok elkészítése előtt áttanulmányozott tankönyvek és munkafüzetek listája a 3. számú mellékletben található meg. Mivel ezek az eredmények nem képezik szerves részét az értekezésnek, ezért tárgyalásukkal itt nem foglalkozom.

A felmérőlapok folyamatosan készültek el, és folyamatosan zajlottak az előfelmérések is, melyek során azt néztem, hogy érthetőek-e a feladatok és alkalmasak-e a fentiekben megfogalmazott célok elérésére. Az előfelméréseket a debreceni Péchy Mihály Építőipari Szakközépiskolában végeztem. A végleges felmérőlapokat május közepén postáztam az iskoláknak.

Minden iskolában volt egy kapcsolattartó tanár (ld. 1. sz. melléklet), aki megszervezte az adatfelvételt, azaz a felmérés megírásakor személyesen nem voltam jelen. A felmérőlapok kitöltésére 45 perc állt a tanulók rendelkezésére. Minden feladatlap eljutott minden osztályba, de egy tanuló csak egyet töltött ki, minden negyedik tanuló írta ugyanazt a lapot. Ez alapján a tanulók kiválasztása az

iskolákon belül véletlenszerű volt, valamint a lesés valószínűségét is sikerült a minimálisra csökkenteni a felmérőlapok előre megtervezett kiosztási rendjével.

A felmérőlapokat július elejéig küldték vissza az iskolák. Első lépésként minden felmérőlapot elláttam egy hatjegyű kóddal, mely alapján azonosítható az évfolyam, az iskola, és a tanuló. A felmérés során nem kértem a tanulók nevét, így az adatok kezelése anonim módon történt. Ugyanakkor háttér információként megkérdeztem a tanulók nemét, az utolsó félévi kémiajegyét, valamint, hogy melyik tankönyvből, milyen óraszámban tanulják a kémiát. Mindezek mellett az adott osztály betűjelét is be kellett karikázni.

3.2.4. Az értékelés módszerei

3.2.4.1. A nyílt végű kérdésekre adott válaszok értékelése a hatfokú skálával

A nyílt végű kérdések válaszait a legnehezebb feldolgozni a tanulók gondolkodásának sokszínűsége miatt. A definíciók tartalmi elemzését egy, a szakirodalomból átvett módszer felhasználásával végeztem (Abraham és mtsai, 1992). Ez a módszer minden egyes válaszhoz egy 0-tól 5-ig terjedő pontszámot rendel attól függően, hogy az adott definíció mennyire áll közel az általunk elfogadotthoz, illetve milyen mértékben tartalmaz tévképzetet. A pontszámokat a megértés szintjének megfelelően a 7. táblázat tartalmazza.

7. táblázat: A tanulói fogalmak tartalmi elemzését segítő hatfokú skála

A megértés szintje	A pontozás feltétele	Pont
Nincs válasz	Üres; Nem tudom; Nem értem	0
Nincs megértés	A kérdés megismétlése; A válasz nem a kérdésre vonatkozik, vagy nem világos	1
Tévképzet	A válasz helytelen, vagy nem logikus információt hordoz	2
Részleges megértés tévképzettel	A válasz árulkodik bizonyos fokú megértésről, de még mindig tartalmaz félreértésre utaló állításokat	3
Részleges megértés	A válasz legalább egy elemét tartalmazza a helyes válasznak, de nem mindet	4
Teljes megértés	A válasz a helyes válasz összes elemét tartalmazza	5

3.2.4.2. A válaszok kvalitatív értékelése az ún. fenomenografikus elemzéssel

A nyílt végű kérdésekre adott tanulói válaszok értékelésének egy másik lehetősége a fenomenografikus elemzés, melynek kidolgozása *Marton* (1981; 1986) nevéhez fűződik. Az elemzés tárgya az egyén, az őt körülvevő világ és a köztük lévő viszony, vagyis, hogy hogyan látja az egyén környezetét tapasztalatai által. A cél ennek az ún. „másodlagos perspektívának” a kutatása. A módszer lényege, hogy az elemzés során megpróbáljuk feltárni, hogy a tanulók hogyan gondolkodnak egy adott fogalommal kapcsolatban. Abból az alapfeltevésből indulunk ki, hogy minden jelenség, fogalom (vizsgálatunk tárgya) leírható meghatározott számú, minőségileg különböző módon. Ezekből a minőségileg különböző meghatározásokból kategóriákat készítünk, majd összeállítjuk azok egy hierarchiáját. A hierarchia tulajdonképpen a tanulói megértés egyre növekvő szintjeit mutatja be. A válaszok kategorizálása nem egyszerű csoportosítást jelent, hanem azoknak a jellemzőknek a megkeresését, amelyek által a leírások minőségileg megkülönböztethetők. A kategóriák elkészítése során három alapelvre kell ügyelni:

- A kategóriáknak a tanulói válaszokból kell származniuk, tehát előre nem határozhatók meg.
- A kategóriák nem lehetnek egymást kizárók, illetve egymást tartalmazók, de megkülönböztethetők/megkülönböztetőeknek kell lenniük.
- Úgy kell megalkotni őket, hogy a tanulói válaszok egyértelmű módon kategorizálhatók legyenek.

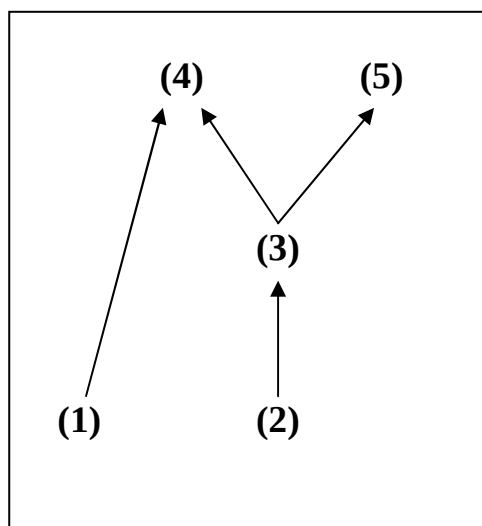
3.2.4.3. A tudás szerveződésének modellezése a tudástér-elmélet segítségével

A tudástér-elmélet (knowledge space theory, röviden: kst) kifejlesztése matematikai pszichológusok nevéhez fűződik (*Doignon és Falmagne*, 1999). Magyar nyelven bővebben *Tóth* (2005) közleménye mutatja be. Itt csak az elemzés legfontosabb mozzanatait, jellemzőit ismertetem.

A tudástér azon ismeretek összessége, melyek egy adott téma megértéséhez elengedhetetlenek. A kémiában gyakran kérünk számon egy témakört feladatok egy csoportjával, melyek a megoldásukhoz szükséges ismeretek alapján egy hierarchikus rendszert alkotnak. Ezt a rendszert egy ún. Hasse-diagrammal ábrázolhatjuk (2. ábra).

A Hasse-diagram egy olyan irányított gráf, melyben alul helyezkednek el a legkevesebb tudást igénylő feladatok, majd a nyilak mentén eljuthatunk az ezekre épülő, bonyolultabb feladatokhoz is. A tudástér-elmélet alapfeltevése szerint, ha egy tanuló meg tud oldani egy feladatot a hierarchiában, akkor valószínűleg az alatta lévőket is képes megoldani. Minden tanulóhoz hozzárendelhetünk egy tudásállapotot, mely a tanuló által helyesen megoldott problémák összessége. A

tudásállapotok rendszerét tudásszerkezetnek nevezzük, amely már az adott tanulócsoport jellemzője lehet.



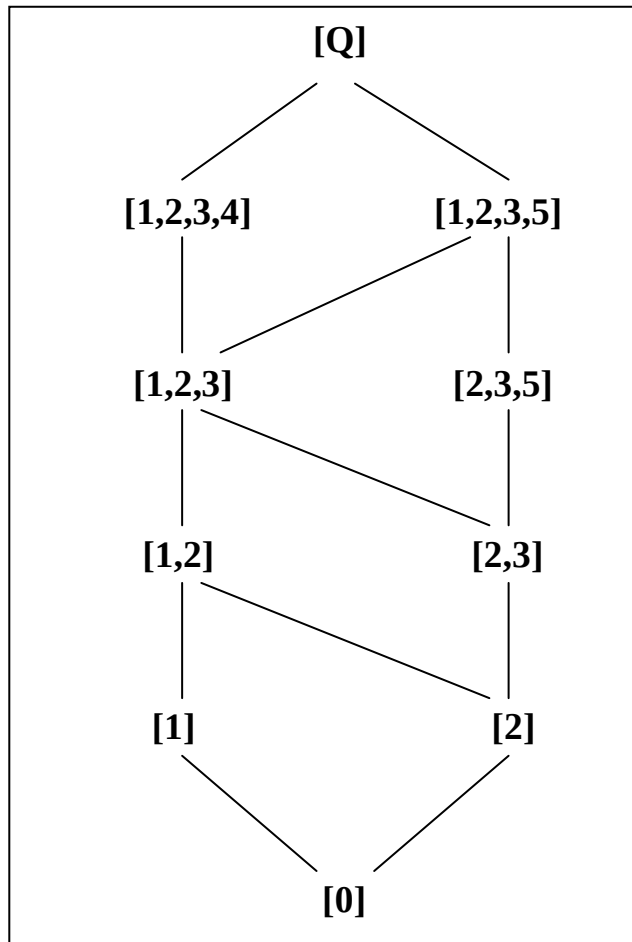
2. ábra: Egy öt feladatból álló hierarchikus rendszer Hasse-diagramja

A 3. ábra a 2. ábrán látható Hasse-diagram alapján levezethető szakértői tudásszerkezetet ábrázolja. Fontos, hogy a tudásszerkezet csak olyan tudásállapotokat tartalmazzon, amelyek a hierarchikus hálóban legalább egy alatta, illetve egy felette lévő tudásállapottal kapcsolatban vannak. A módszer alkalmas a tanulócsoport jellemző tudásszerkezetének az ún. szakértői tudásszerkezettel való összehasonlítására, a tudásszerkezet alapján megszerkesztett ún. jellemző tanulási út segítségével meghatározhatjuk az ismeretanyag tanításának megfelelő sorrendjét, tanulmányozhatjuk különböző tényezők hatását a tudás szerveződésére, valamint a fogalmi fejlődést is vizsgálhatjuk, a jellemző tudásszerkezet változásának követésével.

A vizsgálat a következő lépésekből áll:

- 1) Az ún. szakértői tudásszerkezet meghatározása
 - a) Relációtáblázat készítése
A következő kérdésre keressük a választ: Igaz-e, hogy ha a tanuló nem tudja megoldani a p feladatot, akkor a p' feladatot sem tudja megoldani?
Ha igaz, a két feladat közötti relációt 1-gyel jelöljük, ha nem igaz 0-val.
 - b) Hasse-diagram készítése a relációtáblázat alapján.
 - c) A szakértői tudásszerkezet meghatározása a Hasse-diagram alapján.
- 2) Az egyes tanulók tudásállapotának meghatározása.
- 3) A tanulócsoport(ok) jellemző tudásszerkezetének feltárása a kst-elemzéssel.
 - a) A válaszok dichotóm skálán való értékelése (0,1).
 - b) A tudásszerkezet meghatározása χ^2 -próbával szisztematikus próbálgatás útján.

- c) A jellemző tanulási út meghatározása és összehasonlítása a szakértőivel.
- d) A feladatok hierarchiájának meghatározása és összevetése a szakértőivel.



3. ábra: A 2. ábrán látható Hasse-diagramból levezethető tudásszerkezet

3.2.4.4. Az adatok statisztikai értékelése

A tanulók százalékos megoszlását az egyes feladatok válaszlehetőségei között, és a grafikonokat, diagramokat a Microsoft Excel program segítségével készítettem el.

Az alapstatisztikákat, illetve az egyes tanulócsoportok közötti különbséget az SPSS (Statistical Package for Social Sciences) 11.0-ás verziójával számoltam. Mivel megállapítható adatokkal rendelkeztem, ezért az egy-, illetve kétmintás t-próbát, valamint a varianciaanalízist alkalmaztam.

Egymintás t-próbát akkor használunk, amikor adataink ugyanattól a csoporttól, de két különböző mérésből származnak, és a két változó számtani közepe közötti szignifikáns különbség meghatározására vagyunk kíváncsiak.

Kétmintás t-próbával egy mérés két különböző mintájának adatait tudjuk összehasonlítani a fent említett módon.

A varianciaanalízis során pedig az egy mérésből származó, de kettőnél több minta adatait hasonlítjuk össze páronként. (Falus és Ollé, 2000)

3.3. A fizikai változás és a kémiai változás fogalmával kapcsolatos felmérés részletes értékelése

A fizikai és kémiai változás fogalmával a tanulók kémiai tanulmányaik elején, a 7. osztályban ismerkednek meg. A tankönyvek definíciók, példák felsorakoztatásával, igen változatos módon igyekeznek megvilágítani, hogy mi a különbség a kétféle folyamat között. Ennek ellenére a tapasztalat azt mutatja, hogy nem csak ebben az életkorban, de még később is komoly problémákkal küzdenek tanulóink, ha pl. egy egyszerű, hétköznapi folyamatról el kell döntenünk, hogy az melyik csoportba sorolható.

3.3.1. Irodalmi előzmények

A probléma egyik okát a fogalmak háromszintű értelmezésében vélük felfedezni (Gabel, 1999; Tóth, 1999, 2000, 2002a). Eszerint a kémiai változás definíciói között gyakran találkozhatunk azzal, hogy a „kémiai változás során új anyag keletkezik”. A magyarázatban azonban az új anyagon hol új tulajdonságú anyagot (makroszint), hol új részecskét (szubmikroszint) értenek. Ez a kétféle értelmezés viszont gyakran nem esik egybe, és ez nagy zavart okoz a fogalmak tanulása során. Ez a helyzet a cserebomlás esetén, amikor például ólom(II)-nitrát- és kálium-jodid-oldatok összeöntésekor ólom(II)-jodid keletkezik. Ezt a folyamatot kémiai reakcióként tárgyaljuk, mert új tulajdonságú anyag képződött egy csapadék formájában (makroszint), pedig közben új kémiai részecske (szubmikroszint) nem keletkezett (Brosnan, 1999; Tóth, 2000b). Hasonló folyamat megy végbe az oldódás során, amit viszont fizikai változásként tanítunk. Pedig makroszinten itt is új tulajdonságú anyag keletkezik, de új kémiai részecske nem jelenik meg. Az oldás besorolásánál még az is zavart okoz, hogy maga a szó jelentése a szövegkörnyezettől függ. Jelenthet fizikai változást (konyhasó oldása vízben), és jelenthet kémiai változást is (nátrium oldása vízben) (Tóth, 2002b). A 12-13 éves tanulók még nem rendelkezhetnek kellően széles körű ismeretekkel a probléma megoldásához, tehát ebben az életkorban még nem képesek a folyamatokat ebből a szempontból elkülöníteni (Tóth, 2000b). Ezért azt ajánlják, hogy ne a kémiai

tanulmányok elején szerepeljen ez a téma, hiszen pusztán a csoportosítás miatt nem szükséges e fogalmak bevezetése. Ehelyett annak a kulcsfontosságú különbségnek a megértésében kellene tanulóink segítségére lennünk, hogy bizonyos folyamatok részecskék megváltozásával és átrendeződésével járnak, mások pedig nem (Brosnan, 1999).

Nemzetközi szinten számos kutatást folytattak az okok felderítésére, melyek során különböző aspektusokból vizsgálták a problémát. Kiderült például, hogy néha még a szakember is kerülhet nehéz helyzetbe.

Taber (2002) kémiai tévképzetekről szóló összefoglaló jellegű munkájában leírja, hogy bár a tanároktól elvárható lenne, hogy kellő biztonsággal döntsék el egy folyamatról, hogy fizikai vagy kémiai, mégis egy felmérés során az oldódással kapcsolatban nem jutottak egyetértésre. Aki a NaCl oldódását fizikai változásnak ítélte, az olyan „állításokra” hivatkozott, hogy „a NaCl fizikai módszerekkel visszanyerhető”, „a víz szerkezete nem változott meg”, „a kémiai összetétel nem változott” stb. Mások azonban úgy vélték, hogy ez a folyamat nem kategorizálható, hiszen bár valóban megfordítható a folyamat, de ugyanakkor elsőrendű ionkötések szakadnak fel, és eszerint kémiai változás is lehet. Így volt, aki mindkét kategóriába besorolta, és volt, aki a kötések felszakadása, és a hidratált ionok megjelenése miatt csak a kémiai változások közé helyezte.

Stavridou és Solomonidou (1989) azt vizsgálták, hogy a tanulók hogyan tesznek különbséget fizikai és kémiai változás között. Olyan hétköznapi folyamatokat kellett besorolniuk, mint a víz forrása, a parfüm párolgása, só oldása vízben, a szög korróziója, a tej megsavanyodása, stb. Azt tapasztalták, hogy tanulók szinte csak makroszkopikus magyarázatokkal szolgáltak a feladat megoldása során, valamint eredményeik között szerepel az az érdekes tény is, hogy azok a tanulók, akik a reverzibilitás fogalmát használták fel a csoportosítás során, azok képesek voltak elkülöníteni a fizikai és a kémiai folyamatokat, akik viszont más kritériumokat használtak, azok nem tudtak különbséget tenni. A vizsgált tanulók a kémiai változásnak csak két különböző jelentését írták le:

- a kémiai változás a fizikai változással ellentétben, az anyag vissza nem fordítható átalakulása;
- a kémiai változás során két anyagból egy új termék jön létre, azaz kémiai reakció történik.

Az eredmények további kutatásokra ösztönözték a szerzőpárost (Stavridou és Solomonidou, 1998), és egy analóg vizsgálat során már arra is kíváncsiak voltak, hogy a tanulók hogyan építik fel a kémiai reakció fogalmát, és hogyan történik a fogalmi átrendeződés. A kémiai reakció fogalmának felépítése során a fogalmi fejlődés három szintjét különítették el.

- Az első szinten a tanulók még nem értik teljesen a kémiai reakciót, mint változást. Egy olyan folyamatként tartják számon, mely érzékszerveinkkel észlelhető jelenségekkel jár együtt (színváltozás, robbanás, stb.).

- A második szinten megjelent korábbi eredményük, miszerint a kémiai reakciót a kiindulási anyagok és a termékek száma alapján azonosítják a diákok. Nagyon egyszerűen fogalmazva kémiai reakció akkor történik, ha két anyag egyesülésekor egy harmadik, új anyag keletkezik. Több tanuló szerint a só oldása vízben kémiai reakció, mert két kiindulási anyag van, a só és a víz, és egy új anyag keletkezik, a sós víz.
- A harmadik szinten már a kiindulási anyag vagy részecske szerkezetének megváltozása jelentette a kémiai reakció végbemenetelét. Ezt azonban egy tanuló kivételével senki nem kapcsolta össze az új anyag keletkezésével.

Mindezeket összevetve a folyamatok sikertelen osztályozásának okaként elsőnek azt említik, hogy a tanulók főként mindennapi tapasztalataik alapján próbálnak kategorizálni, és ez többnyire nem vezet helyes válaszhoz. A másik ok, ami ennél nagyobb problémát jelent az, hogy a tanulók fogalmi struktúrájában nincs rendesen felépítve a kémiai anyag fogalma.

E kutatást folytatva *Tsaparlis* (2003) arra a kérdésre kereste a választ, hogy tesznek-e különbséget a tanulók kémiai változás és kémiai reakció között. Azt találta, hogy a tanulóknak kevesebb, mint 30 %-a azonosítja a kémiai változást a kémiai reakcióval. Az általa készített interjúkból az is kiderül, hogy a tanulók nagy része például a gáz, vagy a hab képződését egyértelműen a kémiai reakció jelének tartja. De olyan vélemény is elhangzott, hogy: „Kémiai reakció akkor történik, amikor egyenletet is írunk”.

Mások (*Hesse és Anderson*, 1992) szerint a tanulók nehézségei három különböző ismeretelméleti szinten mutatkozik meg:

- *Kémiai tudás:* Bár kémiai tanulmányaik során nagy hangsúlyt fektetnek az atom és molekula fogalmára, a legtöbb diák mégsem említi magyarázataiban. Bizonyos tanulók pedig az anyag fogalma alatt olyan dolgokat ért, mint meleg, hideg, vagy éppen a kiindulási anyagok, esetleg végtermékek bomlása.
- *Az anyag megmaradása:* Sok tanuló nem képes megjósolni és megmagyarázni a tömegváltozást egy kémiai reakcióban. Legtöbb problémájuk abból fakad, hogy
 - (a) egyrészt úgy kezelik a kémiai változásokat, mint fizikait. A rozsdásodást azért sorolják a fizikai folyamatok közé, mert az anyagnak csak az állapota és a külső megjelenése változott meg közben.
 - (b) másrészt hiányzik a láthatatlan (az előbbi esetben gáz halmazállapotú) kiindulási anyagok és termékek kémiai reakcióban betöltött szerepének megértése.
- *Magyarázó példák:* Több tanuló szívesebben használ magyarázataiban a mindennapi jelenségekkel kapcsolatba hozható felszínes analógiákat (rozsdásodás, mint bomlás) a kémiai elméletek helyett.

Azt, hogy a tanulóknak problémáik vannak az anyag fogalmával, finn kutatók (Ahtee és Varjola, 1998) is tapasztalták. Szerintük a diákok keverik a mindennapi életben tett megfigyeléseikkel kapcsolatos fogalmakat a magyarázatokhoz szükséges elméleti meghatározásokkal. Ezt a zavart erősíti például az, amikor ugyanabban az értelemben használják az elem, vagy az azt felépítő atom fogalmát. Előfordul, hogy mindkettőt az anyag szóval helyettesítik, és egy állításon belül keverik a makro és szubmikro szintű leírást. Egy tipikus állítás, végzős középiskolástól: „Az anyagok kötések hoznak létre.” A 8. évfolyamtól, egészen az egyetemi hallgatókig, a tanulók kb. 10 %-a beszél anyagról akkor, amikor valójában az atomra gondol.

A tanulók kémiai reakcióról alkotott fogalmait vizsgálva ugyanők azt találták, hogy a 7. és 8. évfolyamosok 20 %-a, a 17-18 éveseknek pedig még 10 %-a gondolja úgy, hogy az oldódás és a halmazállapot-változás kémiai reakciók, és az egyetemi hallgatók mindössze 14 %-a tudta helyesen leírni, hogy mi is történik valójában egy reakció során.

Solsona és mtsai (2003) egy hasonló kutatásban esszét íratnak a tanulókkal a kémiai változásról, és azt öt szempont alapján vizsgálták. Megnézték, hogy a szöveg minek a változásáról szól, milyen szintű magyarázatot tartalmaz, milyen példákat említ, összefüggő-e, és végül, hogy a tanuló elsajátította-e a kémiai változás fogalmát. Ezek alapján négy „fogalmi profilt” különböztettek meg (4.ábra).

Mi változik	A magyarázat szintje	Példák	Globális koherencia	Kémiai változás fogalma	Modell
anyag	makro/mikro	elméleti	erős	igen	Interaktív „Meccano”
szerkezet	mikro			bizonytalan	
fizikai változás		makro	tapasztalati	gyenge	Konyha
tulajdonság		nincs	nincs	nincs	Inkoherens
semmi	nincs	nincs	nincs	nem	

4. ábra: A kémiai változás négy fogalmi profilja Solsona és mtsai (2003) szerint

A „Konyha” modellbe tartozó meghatározásban például a kémiai változás úgy volt leírva, mintha fizikai lett volna, esetleg valamely tulajdonság változásáról szólt. A makroszintű magyarázatban tapasztalati példát említ, a szöveg összefüggése gyenge, és a fogalom elsajátítása bizonytalan. A tapasztalat szerint sajnos a tanulóknak mindössze 8 %-a került a legfejlettebb „Interaktív” szintre.

Mindenképpen szólnom kell *Chandrasegaran és mtsai* (2007) törekvéséről, melyet a tévképzetek feltárását segítő eszközök leírásánál már említettünk. Ők ugyanis egy konkrét feleletválasztós teszt kidolgozásával mérték fel a tanulók képességeit a kémiai reakciók többszintű leírásával és magyarázatával kapcsolatban. Eredményeik alapján ők is megállapították, hogy a tanulók gyakran összekeverik a folyamatok makro- és részecskeszintű leírását. A részecskék halmazára vonatkozó makroszintű tulajdonságokkal magukat a részecskéket jellemzik. Éppen ezért a szerzők nagyon fontosnak tartják a kémiai folyamatok többszintű értelmezésének megfelelő használatát a tanórákon. Véleményük szerint nagyobb szerepet kellene adni az ehhez hasonló diagnosztizáló eszközöknek az oktatás során, hiszen segítségükkel a tanár jobban meg tudja tervezni óráit, ki tudja választani a megfelelőbb módszereket. Mindezek mellett hangsúlyozzák a kísérletezést, ahol a tanulók maguk hajthatják végre a kémiai reakciókat, és saját megfigyeléseket tehetnek. Segíthet a jobb megértésben az is, ha tanulóinkat konfrontáljuk a tudományos nézetekkel, hogy aztán az egymás közötti, vagy a tanár bevonásával zajló beszélgetések során maguk vessék el saját, tudományosan nem elfogadott nézeteiket. Végezetül ajánlják a multimédiás szoftvereket és számítógépes animációkat is, melyek segítségével könnyen bemutathatók a kémiai reakció során a részecskék között végbemenő változások. Ezzel később megerősíthető a kapcsolat a megfigyelt makroszkopikus változás és a részecskeszinten bekövetkező átalakulás között.

Szintén bővebben foglalkozik a témával *Kind* (2004) munkája, melyben - több szerző kutatásai alapján - elsősorban arról olvashatunk, hogy miként tesz különbséget a szakember és a tanuló a fizikai és kémiai változás között. Felhívja a figyelmet arra, hogy mint minden tudomány, a kémia is rendelkezik egy csak rá jellemző nyelvvel, melynek speciális jelentése van a szakember számára. A kémia tanulása során úgy kell elsajátítani ezt a nyelvet, hogy a kémiai fogalmak érthetővé váljanak. A problémák nagy része pedig abból adódik, hogy a tanárok nincsenek tudatában annak, hogy a kezdők milyen nehézségekkel küzdenek e nyelvvel kapcsolatban. Mert például az „anyag”, „elem”, és „tisza” fogalmaknak megvan a jelentése a hétköznapi életben is, így egészen mást írnak le a tanuló számára, aki kémiai tanulmányai elején e fogalmak mindennapi jelentését ismeri. Lehetőséget kellene tehát biztosítani a diákoknak arra, hogy megtanulják e szavak kémiai jelentését is. Nem célszerű tehát önmagukban, magyarázat nélkül említeni őket.

Végül *Johnson* (2000) írását említem, melyben a szerző a kémia tantervek hiányosságait okolja e fogalmak megértésével kapcsolatos problémákért. Többek között az olyan hibákat, melyek egyike szerint a fizikai és kémiai változás közötti különbségtétel egyik kritériuma a folyamat visszafordíthatósága. Természetesen az, hogy a kémiai változás nem visszafordítható, helytelen. Meg kell jegyezni, hogy a mai magyar kémia tankönyvekben már nem jelenik meg a folyamatok e szempont szerinti megkülönböztetése (*Tóth*, 2002b). Másrészt felhívja a figyelmet arra, hogy nagyobb hangsúlyt kellene fektetni az anyag fogalmára, hiszen egy kémiai változás során elengedhetetlen az anyag átalakulásának értelmezése.

3.3.2. Kutatási kérdések

- Milyen definíciókat fogalmaznak meg a tanulók a fizikai, illetve a kémiai változásra?
- Tisztában vannak-e a fogalmak háromszintű értelmezésével?
- Mennyire értik a fizikai, illetve kémiai változás fogalmát?
- Képesek-e eldönteni bizonyos folyamatokról, hogy azok a változások mely csoportjába tartoznak?
- Tudják-e, hogy milyen jellemzői vannak a fizikai, illetve a kémiai változásnak?
- Van-e fogalmi fejlődés az életkor előrehaladásával?
- Milyen tévképzetekkel rendelkeznek a tanulók a fizikai és kémiai változás fogalmával kapcsolatban?

3.3.3. Tankönyvi definíciók

A kémia tankönyvekben lévő fizikai és kémiai változásról szóló definíciók háromszintű tárgyalásáról korábban már szoltam (Tóth, 2002b). A szerző felhívta a figyelmet arra, hogy a háromszintű értelmezés mellett az is problémát okoz, hogy gyakran a különböző szintek keveredése figyelhető meg egy meghatározáson belül.

Itt a tankönyvi definíciókat egy tartalmi elemzésnek vetettem alá, mégpedig olyan szempontból, hogy milyen elemi egységekből épülnek fel. Megvizsgáltam, hogy mely elemek fordulnak elő az egyes szinteken. E vizsgálat eredményeit a 8. és 9. táblázatok foglalják össze röviden.

Ha a két táblázatot megfigyeljük láthatjuk, hogy a tankönyvekben a makroszintű jellemzők vannak túlsúlyban. Ezután következnek a részecskeszintű, majd a szimbólumszintű elemek, de ez utóbbi a fizikai változás esetén nem is jelenik meg.

8. táblázat: A fizikai változás definícióinak elemei

A definíció egységei (elemei)	Hány tankönyvben jelenik meg?	Mely tankönyvekben jelenik meg?
Makroszintű elem		
fizikai tulajdonság megváltozása	6	Balázsné (1996), Z. Orbán (1996, 2003), Dr. Siposné (1998), Villányi (2000), Zsugáné (1997)
az anyag minősége nem változik	7	Balázsné (1996), Kecskésné (1997), Z. Orbán (1996, 2003), Dr. Siposné (1998), Villányi (2000), Zsugáné (1997)
új tulajdonságú anyag nem keletkezik	7	Balázsné (1996), Kecskésné (1997), Z. Orbán (1996, 2003), Dr. Siposné (1998), Villányi (2000), Zsugáné (1997)

Részecskeszintű elem		
az anyag részecskéinek összetétele nem változik	3	Kecskésné (1997), Villányi (2000), Zsugáné (1997)
Szimbólumszintű elem	-	-

9. táblázat: A kémiai változás definícióinak elemei

A definíció egységei (elemei)	Hány tankönyvben jelenik meg?	Mely tankönyvekben jelenik meg?
Makroszintű elem		
az anyagok fizikai és kémiai tulajdonságai változnak	2	Villányi (2000), Zsugáné (1997)
az anyag minősége megváltozik	3	Kecskésné (1997), Villányi (2000), Zsugáné (1997)
új tulajdonságú anyag keletkezik	6	Balázsne (1996), Kecskésné (1997), Z. Orbán (1996, 2003), Dr. Siposné (1998, 2001),
Részecskeszintű elem		
az anyag részecskéinek összetétele megváltozik	3	Kecskésné (1997), Villányi (2000), Zsugáné (1997)
az atommag összetétele soha nem változik	1	Villányi (2000)
az atomból elektron szakadhat ki, vagy az atomba új elektron épülhet be	1	Villányi (2000)
a részecskék (atomok, ionok, molekulák) elektronszerkezetének megváltozása	4	Balázsne (1996), Dr. Siposné (1998, 2001), Zsugáné (1997)
az atomok átrendeződnek, kapcsolatuk megváltozik	2	Z. Orbán (1996), Zsugáné (1997)
kémiai kötések felbomlása és kialakulása	2	Balázsne (1996), Dr. Siposné (2001)
Szimbólumszintű elem		
vegyjelekkel és képletekkel leírható változás	2	Z. Orbán (1996), Zsugáné (1997)
reakcióegyenlettel leírható változás	4	Balázsne (1996), Kecskésné (1997), Villányi (2000), Zsugáné (1997)

3.3.4. A fizikai változás és kémiai változás tanulói definícióinak elemzése

Egy nyílt végű feladatban a diákoknak saját szavaikkal kellett megfogalmazniuk, hogy mit nevezünk fizikai, illetve kémiai változásnak és mindkettőre példákat is kértem. Elsőként az Abraham-féle hatfokú skála segítségével pontoztam a válaszokat (módszer leírása a 3.2.4. fejezetben). A pontok évfolyam szerinti megoszlását a 10. és 11. táblázatok tartalmazzák.

10. táblázat: A fizikai változásra adott tanulói válaszok pontjainak évfolyam szerinti megoszlása %-ban

	0	1	2	3	4	5
7. évf.	13	2	4	20	17	44
8. évf.	10	3	2	29	17	39
9. évf.	9	10	3	20	26	32
10. évf.	9	1	1	18	33	38
11. évf.	12	1	3	14	35	35
összes (átlag)	11	3	3	20	25	38

11. táblázat: A kémiai változásra adott tanulói válaszok pontjainak évfolyam szerinti megoszlása %-ban

	0	1	2	3	4	5
7. évf.	12	3	2	3	9	71
8. évf.	8	3	1	6	20	62
9. évf.	11	7	2	2	23	55
10. évf.	9	2	1	1	29	58
11. évf.	15	2	1	2	28	52
összes (átlag)	11	4	1	3	21	60

A 12. és 13. táblázatokban bemutatok néhány tipikus példát a tanulói válaszok közül, az egyes pontszámok szemléltetésére. A legnagyobb, ötös pontszámú válaszok az általam elfogadott helyes definíciókat képviselik.

12. táblázat: A fizikai változásra adott tanulói válaszok

Pont	Tanulói válasz
5	Az anyag fizikai tulajdonsága változik meg.
	Nem keletkezik új anyag.
	Az anyag belső összetétele nem változik meg.
	Az anyag minősége nem változik meg.
	Az eredeti anyag visszanyerhető.
	Mérőműszerrel mérhető, szabad szemmel látható változás.
4	Az anyag színe, szaga, halmazállapota változik meg.

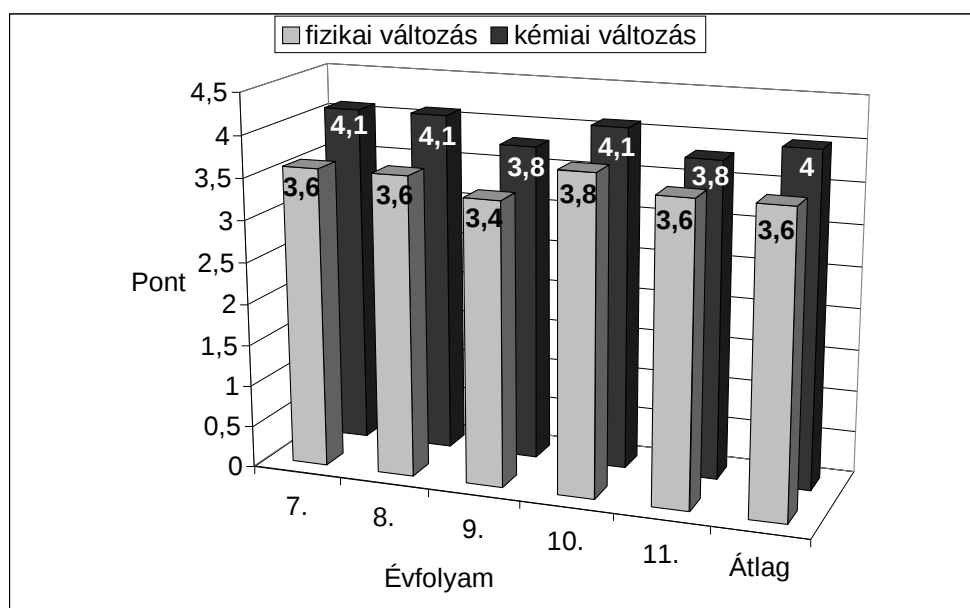
	Az anyag belső szerkezete mélyrehatóan nem változik meg. Külső tulajdonságok változnak meg.
3	Az anyag szerkezete, illetve összetétele nem változik meg. Olyan reakció, amelyben az anyagok szerkezete nem változik meg. Két anyag egyesül, vagy bomlik, de nem keletkezik új anyag. Ha az anyag úgy változik meg, hogy fizikai módszerekkel visszaalakítható, nem lesz az anyagnak új tulajdonsága. Nem keletkezik új anyag, az anyag tulajdonsága, szerkezete nem változik. A kémiai változás ellentettje, nem keletkezik új anyag.
2	Az anyagok keveredésénél új anyag keletkezik. Az a folyamat, amelyben minőségi változás megy végbe. Amikor az anyag átalakul. A reakció folyamán az anyag minősége megváltozik. A részecskék közötti kötések nem változnak meg.
1	Az alkotórészek aránya állandó, fizikai úton szétválasztható anyag. Ha az anyag fizikailag változik meg. Az a változás, mely nem kémiai módon történik.
0	Nincs válasz. Nem tudom.

13. táblázat: A kémiai változásra adott tanulói válaszok

Pont	Tanulói válasz
5	(Kémiai reakció) A kölcsönhatás során új anyag keletkezik. Ha egy anyag belső összetételében is megváltozik. Olyan folyamat, ahol az anyagi minőség megváltozik. A halmazt alkotó részecskékben változik meg a kölcsönhatás. Az anyag részecskéinek összetétele megváltozik.
4	Az anyag szerkezete megváltozik, reakcióba lép más anyagokkal. Olyan változás, amelyben az anyag alkotó részei közti kapcsolat felszakad, új kötések keletkeznek. Kémiai tulajdonságokat befolyásoló folyamat. Olyan változás, ami során új tulajdonságú és új szerkezetű anyag keletkezik.
3	Csak elsőrendű kötések szakadnak és jönnek létre. Olyan halmazállapot változás, mely során az anyag szerkezete, összetétele (színe, szaga, kötései) megváltoznak. Fizikai tulajdonságai nem, de kémiai összetétele változik az anyagnak. Mikor egy anyagnak megváltozik az összetétele, oldódik, kiválik. Kémiai folyamatok útján végbemenő változás, amit szemmel nem láthatunk.
2	Amikor a reakció során nem változik az anyag részecskéinek összetétele.

	Olyan változás, mely az anyag mélyreható változása nélkül megy végbe. Akkor történik, amikor az anyagok összekeveredésénél nem keletkezik új anyag. Az a változás, amely nem észrevehető.
1	Valamely anyag változása. Az anyag belső vagy külső energiájának a változása. Egy kémiai kísérlet során megfigyelhető változások.
0	Nincs válasz. Nem tudom.

A tanulói válaszokat nézve láthatjuk, hogy megelégedtem azzal is, ha csak egyféle szinten fogalmazták meg a definíciót, és nem tértek ki a többszintű értelmezésre. A pontok évfolyamonkénti átlagát kiszámolva kaphattam képet a megértés szintjéről. Ennek eredményét az 5. ábra szemlélteti. A fizikai változás átlaga 3,6, a kémiai változásé 4. Ezek az adatok jónak mondhatók, különösen a már említett nehézségek mellett.



5. ábra : Az egyes évfolyamok átlagos megértési szintje a fizikai változás és kémiai változás fogalma esetén

Az évfolyamok megértési szintje között a varianciaanalízis szerint nincs szignifikáns különbség. Az egymintás t-próba azonban szignifikánsan jobb átlagokat mutatott ki a kémiai változásra, mint a fizikai változásra, mind évfolyamonként, mind pedig az egész mintára vonatkozóan ($p < 0,05$). A két változóra számolt korrelációs együtthatókat a 14. táblázat tartalmazza. Ekkora

mintaszámnál ezek az értékek magasnak tekinthetők. Ez azt jelenti, hogy aki jól írta le a fizikai változás fogalmát, az nagy valószínűséggel a másikra is magas pontszámot kapott. Eszerint a két fogalom megértése szorosan összefügg, azaz hasonló tudáselemek birtokában lehet mindkét kérdésre helyesen válaszolni.

14. táblázat: A fizikai és kémiai változás leírásának eredményessége közötti korrelációs együtthatók évfolyamonként ($p=0,01$)

Évfolyam	7.	8.	9.	10.	11.	Összes
Korr. egyh.	0,803	0,663	0,779	0,651	0,774	0,740

Hogy mi az oka annak, hogy éppen a fizikai változás a kevésbé megértett, arra a választ már a fenomenografikus elemzés adja meg, amelyhez az egyéni meghatározásokat válaszelemekre bontottam (ld. 4. sz. melléklet). Itt kiderül, hogy a tanulók kb. egyhete gondolta azt, hogy a fizikai változás során az anyag szerkezete nem változik meg. Másrészt, ha összevetjük a kétféle változás definícióinak válaszelemeit, észrevehetjük, hogy a kémiai változás esetén nehéz olyat írni, ami ne jellemezhetné a folyamatot. Talán az egyetlen szubmikroszintű változás az atommag szerkezetének átalakulása, ami nem történhet meg. A fizikai változás esetében azonban több hibázási lehetőség adódott.

A fenomenografikus elemzés segítségével a két változásra, a tanulók válasza alapján az 5. sz. mellékletben található alkategóriákat állítottam össze, melyekből alulról fölfelé haladva a fogalmak megértésének egyre nagyobb szintjét tükröző kategóriák alakultak ki (15. táblázat).

15. táblázat: A fenomenografikus elemzés kategóriái

A kategória betűjele	A kategória tartalma
ABC	Makro- és szubmikroszintű válaszelem példával
↑	↑
AB	Makro- és szubmikroszintű válaszelem együtt
↑	↑
BC	Szubmikroszintű válaszelem példával
↑	↑
AC	Makroszintű válaszelem példával
↑	↑
B	Szubmikroszintű válaszelem
↑	↑
A	Makroszintű válaszelem
↑	↑
C	Példa adása
↑	↑
0	Nincs válasz, vagy kategórián kívüli

A tanulók százalékos megoszlását évfolyamonként a fizikai változás esetén a 16. táblázat, míg a kémiai változás esetén a 17. táblázat tartalmazza.

16. táblázat: A tanulók százalékos eloszlása az egyes kategóriákban évfolyamonként a fizikai változásra adott válaszaik alapján

	0	C	A	B	AC	BC	AB	ABC
7.	17	0,0	51	18	0,57	0,0	14	0,0
8.	18	0,0	52	14	1,2	0,0	16	0,0
9.	31	0,0	45	8,1	1,4	0,0	14	0,68
10.	14	0,67	59	10	1,3	0,67	13	0,68
11.	20	1,5	49	10	2,2	0,0	18	0,0
Átlag	20	0,43	51	12	1,3	0,13	15	0,27

17. táblázat: A tanulók százalékos eloszlása az egyes kategóriákban évfolyamonként a kémiai változásra adott válaszaik alapján

	0	C	A	B	AC	BC	AB	ABC
7.	16	0,0	42	22	2,3	0,57	17	0,0
8.	17	0,60	47	20	0,0	0,0	16	0,0
9.	20	1,4	43	21	0,0	0,0	14	0,68
10.	15	3,3	39	23	1,3	0,0	19	0,0
11.	21	0,74	34	21	3,7	0,0	20	0,74
Átlag	18	1,2	41	21	1,5	0,11	17	0,28

A táblázatok adataiból látható, hogy mindkét változás esetén a makroszintű meghatározásokat részesítették előnyben a tanulók, de a fizikaihoz képest, a kémiai változásra mégis több szubmikroszintű válaszelem született. Ez arra enged következtetni, hogy a fizikai változás a tanulók fejében inkább úgy él, mint amit érzékszerveinkkel jobban észlelhetünk és főleg a külső megjelenésben hoz változást. Ehhez képest azonban a kémiai változás során már történnie kell valaminek az anyag belsejében is a részecskék világában, amit már nem érzékelhetünk. A másik érdekes tapasztalat, hogy a fizikai változás meghatározására sokkal többféle válasz született. Ez is azt bizonyítja, hogy itt nagyobb bizonytalansággal küzdenek tanulóink. Az, hogy a példákat magába foglaló C, AC, BC, és ABC kategóriákban kevesen vannak, elsősorban annak köszönhető, hogy a feladat tartalmazott egy külön részt, melyben példákat kértem, és tanulóink ott írták le az erre vonatkozó megoldásukat. Ha ezeket a példákat figyelembe veszem, és kiegészítem táblázataimat, akkor a következő adatokhoz jutok (18. és 19. táblázat).

18. táblázat: A tanulók százalékos eloszlása az egyes kategóriákban évfolyamonként a fizikai változásra és a példára együttesen adott válaszaik alapján

	0	C	A	B	AC	BC	AB	ABC
7.	7,5	9,8	3,4	0,0	48	18	0,57	13
8.	5,4	13	4,2	0,0	49	14	0,0	16
9.	10	21	4,1	0,68	43	7,4	1,4	13
10.	5,3	9,3	4,0	0,0	57	11	0,0	14
11.	10	11	4,4	2,2	46	8,1	0,0	18
Átlag	7,7	13	4,0	0,58	48	12	0,40	15

19. táblázat: A tanulók százalékos eloszlása az egyes kategóriákban évfolyamonként a kémiai változásra és a példára együttesen a adott válaszaik alapján

	0	C	A	B	AC	BC	AB	ABC
7.	6,9	9,2	2,3	1,1	42	21	0,0	17
8.	4,8	13	2,4	0,0	45	20	1,2	14
9.	6,8	14	1,4	2,0	43	19	0,68	14
10.	6,7	11	4,0	1,3	36	22	0,0	19
11.	11	10	2,9	2,9	35	18	1,5	19
Átlag	7,2	12	2,6	1,5	40	20	0,68	17

Jól érzékelhető a „C”-s kategóriák felé történt eltolódás. Így azonban világossá válik, hogy a tanulók mindössze kb. 7%-a egyáltalán nem tudott választ adni, és kb. 15%-uk volt képes a legösszetettebb szinten értelmezni a kétféle változást. A diákok zöme a példával kiegészített makroszintű magyarázattal élt.

A fizikai változásra példaként általánosan a halmazállapot-változást említette a tanulók közel egyötöde. Mindemellett is leggyakrabban az olvadás és fagyás jelent meg és harmadikként a tanulók több mint 10%-a választotta a következő feladatból az „üveg összetörését”. Előfordult minden más halmazállapot-változás is, úgy, mint párolgás, szublimáció, forrás, lecsapódás, és a víz fázisátalakulásai is.

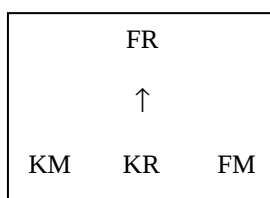
A fenomenografikus elemzés által meghatározott két fő kategória tehát a makroszint „A”, és a részecskeszint „B” kategóriák lettek. Ezek tanulói válaszelemeire elvégzett tudástér-elemzés segített kideríteni, hogy a fizikai és kémiai változás makro-, illetve részecskeszintű értelmezése milyen jellemző tanulási út szerint rögzül. Ezen kívül a kategóriák közötti hierarchikus kapcsolatra is fény derült. Az iskolában a tankönyvek először mindig a fizikai változást definiálják, és csak azután a kémiai, és mindig makroszintű értelmezést adnak meg a részecskeszintű előtt. Ez tehát az általánosan elfogadott szakértői út, amelyet összevethetünk a vizsgálat által feltárt jellemző tanulási úttal. Külön-külön a fizikai, illetve a kémiai változásra egyaránt elmondható, hogy a jellemző tanulási út

során a makroszintű értelmezés megelőzi a részecskeszintűt. A hierarchiában teljesen egyenértékű a kétféle értelmezés. Ha együtt tekintjük a kétféle folyamat értelmezését, akkor is megállapíthatjuk, hogy a szakértői útnak megfelelően a makroszintű értelmezés itt is megelőzi a részecskeszintűt. Azzal ellentétben azonban a kémiai változás előbb jelenik meg a fizikai változáshoz képest. Az egyes évfolyamok között nincs számottevő különbség a jellemző tanulási utat és a hierarchiát tekintve (20. táblázat), ami azt jelenti, hogy a fizikai és kémiai változás fogalmával kapcsolatos tudásszerkezet nem változik az oktatás előrehaladásával.

20. táblázat: A tudástér- elmélet segítségével kapott jellemző tanulási utak a fizikai (F), illetve kémiai (K) változás makro- (M), illetve részecskeszintű (R) értelmezésére évfolyamonként

Évf.	Jellemző tanulási út
7.	KM $\rightarrow$ FM $\rightarrow$ KR $\rightarrow$ FR vagy FM $\rightarrow$ KM $\rightarrow$ KR $\rightarrow$ FR
8.	KM $\rightarrow$ FM $\rightarrow$ KR $\rightarrow$ FR vagy FM $\rightarrow$ KM $\rightarrow$ KR $\rightarrow$ FR
9.	KM $\rightarrow$ FM $\rightarrow$ KR $\rightarrow$ FR
10.	KM $\rightarrow$ FM $\rightarrow$ KR $\rightarrow$ FR vagy FM $\rightarrow$ KM $\rightarrow$ KR $\rightarrow$ FR
11.	FM $\rightarrow$ KM $\rightarrow$ KR $\rightarrow$ FR

A négy kategória hierarchikus kapcsolatában egy lényeges elem kiemelendő. A fizikai változás részecskeszintű megközelítése a kémiai változás részecskeszintű értelmezésére épül. A makroszintű kategóriák teljesen függetlenek egymástól (6. ábra).



6. ábra: Valamennyi évfolyamra jellemző hierarchia

A csak a kémiai változásra adott tanulói válaszokat elemezve a tudástér-elmélet segítségével, ötféle modell különböztethető meg. Az első csak makroszintű, a második csak részecskeszintű leírásokat tartalmaz. A harmadikban a részecskeszintű leírás a makroszintűre épül. A negyedikben éppen fordítva, a makroszintű leírás épül a részecskeszintűre. Ez lenne az ideális, tudományos modell, amely által a tanulók a kémiai változás makroszintű jellemzőit a részecskeszintű leírással támasztanák alá. Végül az ötödik modell is tartalmazza mindkét szintű leírást, de azok között semmiféle kapcsolat nincs. Az eredmények alapján a tanulók kémiai változással kapcsolatos tudásstruktúráját az utolsó modell írja le a legjobban. Eszerint a legtöbb tanuló nem képes kapcsolatot találni a kémiai

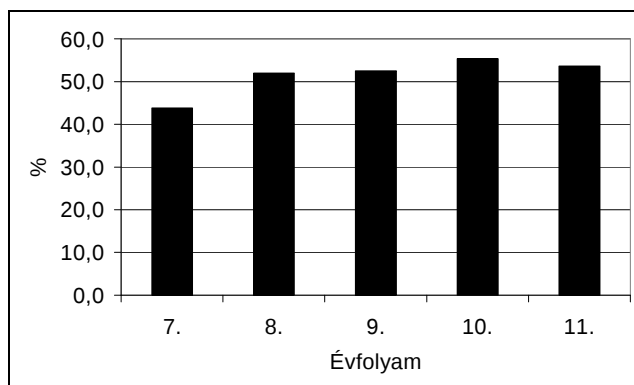
változás makroszintű és részecskeszintű megjelenése között. Emellett kimutatható a harmadik modell használatának növekedése az életkorral, azonban a tudományos modell minden évfolyamon nagyon kis mértékben van jelen.

3.3.5. A fizikai változás és kémiai változás azonosításával kapcsolatos feladat megoldásának elemzése

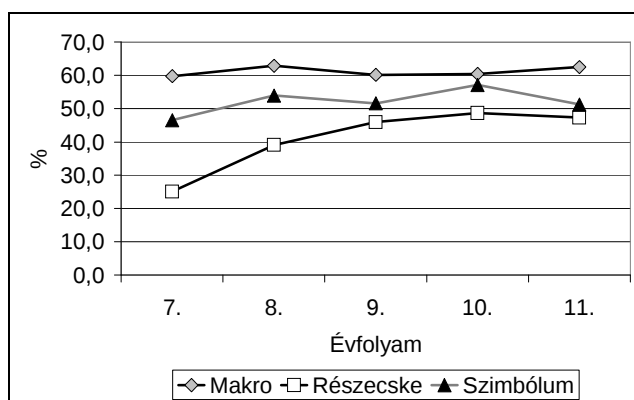
A második feladatban összesen kilenc folyamatról kellett eldönteniük a tanulóknak, hogy az öt válaszlehetőség közül melyik igaz rá (A: fizikai változás, B: kémiai változás, C: mindkettő, D: egyik sem, E: nem tudom). A kilenc folyamat közül az első hármat „makroszinten” csak egyszerű szöveges leírással adtam meg, a következő hármat szimbólumszinten képletek, vegyjelek segítségével, és az utolsó hármat szubmikroszinten különböző részecskéket megjelenítő ábrák felhasználásával. Minden hármas egység tartalmazott egy fizikai folyamatot, egy kémiai változást és egy sok problémát okozó, de szintén fizikai jelenséget, az oldódást, nem ugyanabban a sorrendben természetesen. Mind a kilenc esetben indokolni kellett a döntést. Az eredményeket hármas egységekben mutatom be. Először a fizikai változások diagramjait láthatjuk, majd a kémiai változásokét, végül az oldódások eredményeit bemutató ábrákat. A helyes választ csillaggal jelöltem, és a grafikonon feltüntettem az azt választó tanulók százalékos arányát is. Ezek után ott, ahol lehetőség adódott a magyar eredményeket összevetni a portugál minta adataival, a legjelentősebb különbségeket grafikonok segítségével szemléltettem. A 21. táblázatban + jel mutatja, hogy a portugál minta egyes évfolyamai mely részfeladatokat oldották meg. A – jellel ellátott részfeladatok azért nem kerülhettek be a portugál felmérőlapokba, mert a tanulók nem rendelkeztek megfelelő tudással a megválaszolásukhoz.

21. táblázat: A portugál minta részvétele a 2. feladatban

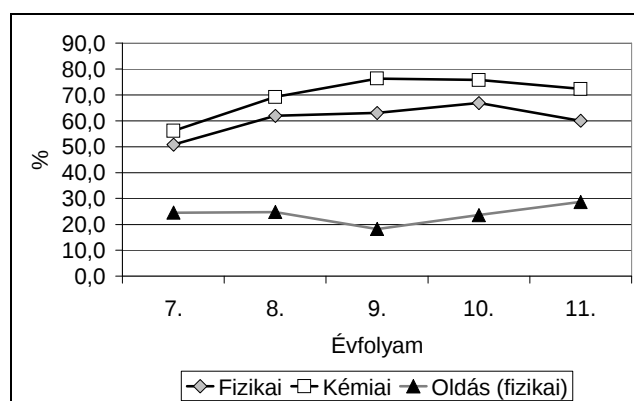
	2.1.	2.2.	2.3.	2.4.	2.5.	2.6.	2.7.	2.8.	2.9.
7. évf.	+	+	+	-	-	-	-	-	-
8. évf.	+	+	+	+	-	-	-	-	+
9. évf.	+	+	+	+	-	-	-	+	+



7. ábra: A évfolyamok teljesítménye a folyamatok besorolásában



8. ábra: Az évfolyamok teljesítménye a különböző szinteken leírt folyamatok besorolásában

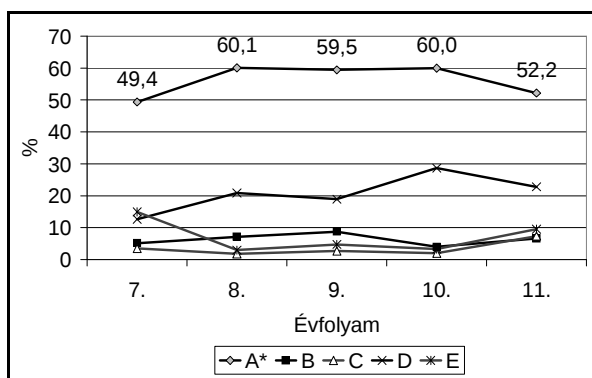
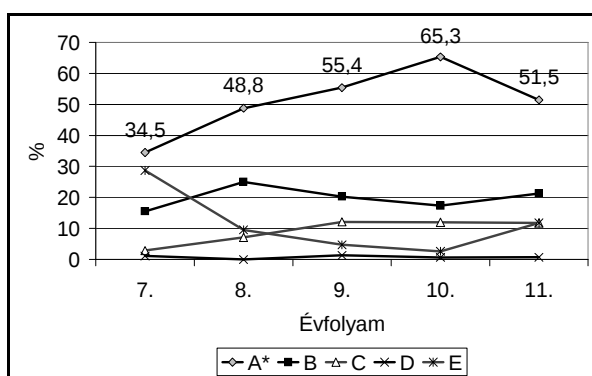
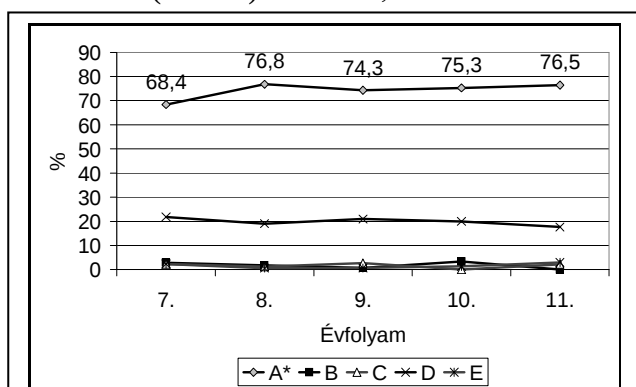


9. ábra: Az évfolyamok eredményessége a fizikai, kémiai illetve oldási folyamatok besorolásában

A tanulók eredményességét a 7. ábrán láthatjuk, 43,8-55,4% között változik a sikeresség. A varianciaanalízis szerint a 7. évfolyamhoz képest a többi évfolyam jobban teljesített, de az utóbbiak a növekedés ellenére sem térnek el egymástól szignifikánsan.

A következő 8. ábra már az egyes szinteken elért eredményeket mutatja. Legsikeresebb a makroszintű folyamatok besorolása volt, az évfolyam növekedésével jelentős változás nem látható. A részecskeábrák segítségével leírt folyamatok esetén kismértékű javulás tapasztalható, míg a szimbólumszinten leírt folyamatok azonosításában szignifikáns fejlődés mutatható ki. Ez összefügg a kémiai egyenlet tanításának és használatának időbeliségével. Más dimenzióból nézve az eredményeket láthatjuk, hogy a kémiai változás felismerése a

legeredményesebb, míg a legkritikusabb az oldásnak, mint fizikai változásnak az értelmezése (9. ábra). A fizikai, illetve kémiai változás besorolása a tanulmányok

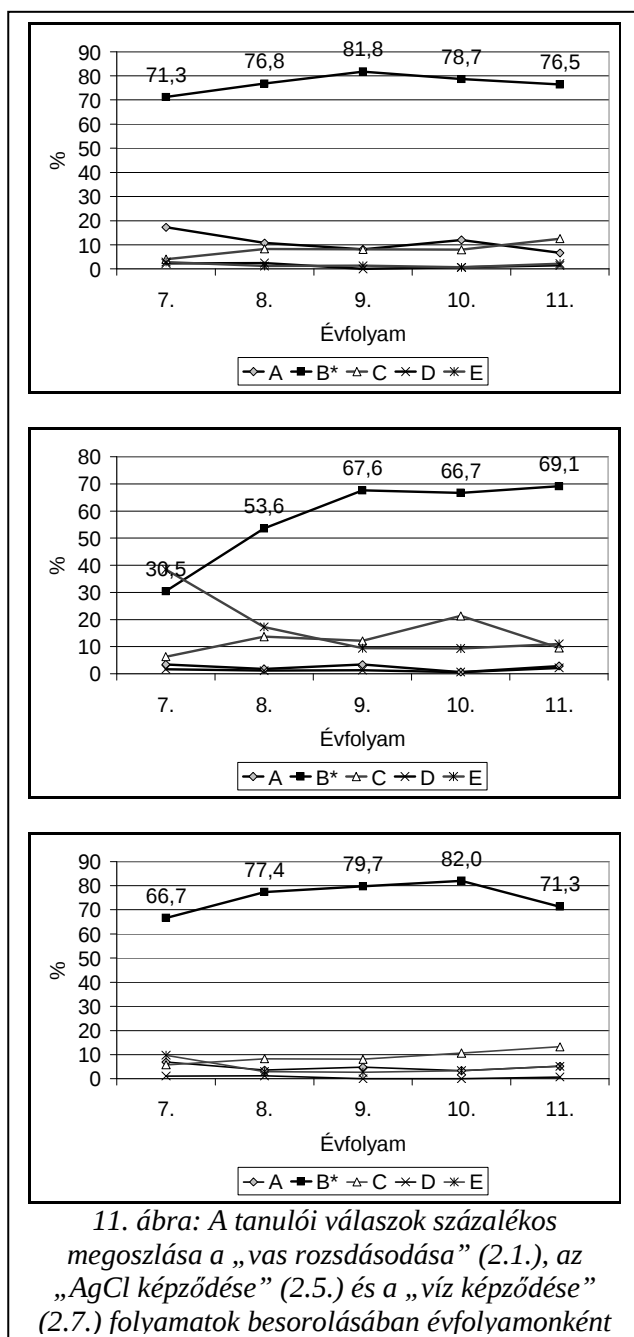


10. ábra: A tanulói válaszok százalékos megoszlása az „üveg törése” (2.2.), a „nátrium olvadása” (2.4.) és a „jég olvadása” (2.9.) folyamatok besorolásában évfolyamonként

emelték ki, „azért kémiai reakció, mert abban történik hőleadás vagy felvétel”.

előrehaladásával egyre sikeresebb, a 8. évfolyamon a varianciaanalízis szignifikáns növekedést mutat. Ezzel szemben az oldási folyamatok kis mértékű felismerése független az évfolyamtól, értelmezésük a kémiai ismeretek gazdagodásával sem lesz könnyebb.

Mindhárom fizikai változás esetén a tanulók többsége szignifikánsan jól válaszolt (10. ábra). Jelentős arányban (20%) fordult elő az a tévképzet, hogy az üveg törése egyik csoportba sem sorolható. Azért nem fizikai változás, mert „nem történt halmazállapot változás”, és „egyéb fizikai tulajdonságai sem változtak az üvegnek”, és természetesen mivel „új anyag nem keletkezett”, így a kémiai változások közé sem sorolható. A nátrium olvadása esetén a tanulók szintén 20%-a a kémiai változást választotta, de több, mint egyharmaduk nem indokolta ezt. Aki írt valamit, az valamilyen módon a halmazállapot-változásra utalt okként. Mások a hő szerepét



Ezen kívül minden tizedik tanuló megemlítette az új anyag keletkezését, de annak részletezésére nem került sor, hogy konkrétan mire gondol. Nagyfokú bizonytalanság volt észrevehető, mely abban nyilvánult meg, hogy a tanulók 12 %-a „nem tudom”-mal válaszolt. Az életkor előrehaladásával szignifikáns fejlődés mutatható ki, 11. évfolyamon visszaeséssel. Ezzel párhuzamosan, ellentétesen változik a „nem tudom”-mal válaszolók aránya. A jég olvadása a tanulók 20%-a szerint sem fizikai, sem kémiai folyamat. Egyharmaduk ugyanis úgy véli, hogy „semmi nem történt”, mert „csak a részecskék helyzete változott meg az ábrán”. Szignifikáns fejlődés nem mutatható ki az egyes évfolyamok között.

A kémiai változásokat a tanulók szignifikáns többsége szintén helyesen sorolta be (11. ábra). Kivételt képez ez alól az AgCl képződése esetén a hetedik évfolyam. Mindemellett a nemzetközi

eredményekhez hasonlóan, én is tapasztaltam azt a tévképzetet, hogy a rozsdásodás fizikai változás. Az ezt válaszolók több, mint 10 %-a az indokok között arra hivatkozott, hogy nem keletkezik új anyag. Vagy azért fizikai változás, mert „csak a külső felszín

változik”, „belül vas marad”, „a felületről pedig könnyen eltávolítható a rozsdá”. Ezek az állítások azt bizonyítják, hogy a tanulók néha egészen másként gondolkodnak, mint a szakember. Itt például találkozhatunk a Talanquer által említett tapasztalati feltételezések közül a „lényegiséggel”. Szignifikáns különbség nincs az évfolyamok között a jó válaszra vonatkozóan. A következő kémiai változás az ezüst-nitrát és a nátrium-klorid reakciója. Ez a folyamat az irodalomban említett (Brosnan, 1999; Tóth, 2000b) ólom-nitrát és kálium-jodid reakció analóg párja. A tanulók jelentős hányada nem tudott válaszolni. 13% mindkét kategóriába besorolta a folyamatot, és az e választ adók több mint fele itt is a halmazállapot változással indokolta a fizikai változást. Negyedük említette az új anyag keletkezését, illetve 10%-uk az anyag összetételének megváltozását a kémiai változás jeleként. Kimutatható a szignifikáns fejlődés az életkor előrehaladásával, bár ez inkább az alsó évfolyamokon jellemző, az utolsó három évfolyamon közel azonos a jó választ adók aránya. A „nem tudom”-mal válaszolók száma ezzel ellentétesen változik. Az utolsó feladatrészen a víz képződését kellett besorolni, mely részecskeábra segítségével volt szemléltetve. A tanulók 20%-a szerint se fizikai, se kémiai folyamatról nem beszélhetünk, egyharmaduk ugyanis úgy véli, hogy „semmi nem történt”, mert „csak a részecskék helyzete változott meg az ábrán”. Szignifikáns fejlődés nem mutatható ki az egyes évfolyamok között.

Az oldási folyamatokkal volt a legtöbb probléma. A tanulók többsége kivétel nélkül mindhárom folyamat esetén a kémiai változást választotta. Ez a tévképzet helyenként eléri a 60% előfordulást is (12. ábra). Hetedikben figyelhető meg egyedül az, hogy a fizikai változásra voksolók aránya megközelíti a kémiaira szavazókét.

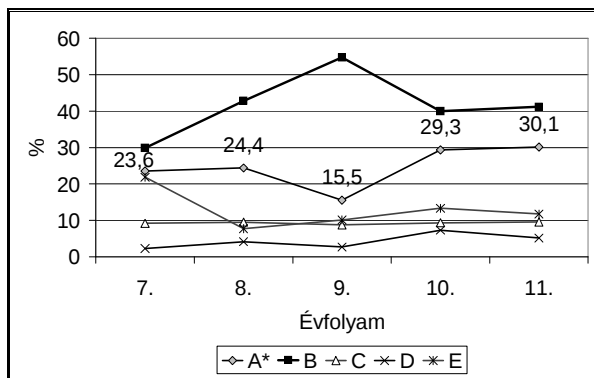
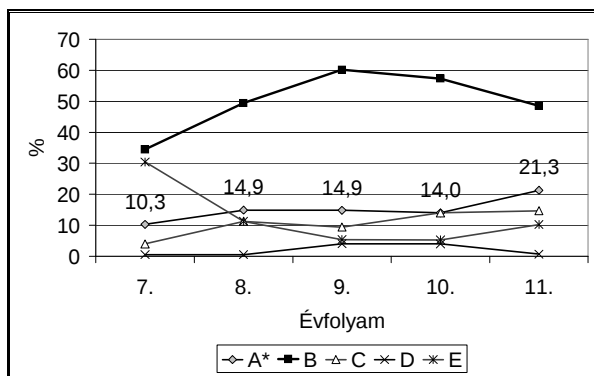
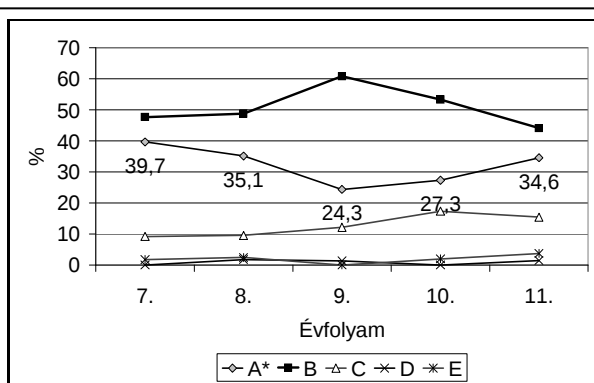
A cukor oldása esetén a tanulók több, mint 50 %-a döntött a kémiai változás mellett (7. és 11. évfolyamon nem szignifikáns a többség), olyan okokra hivatkozva, mint „új anyag keletkezett, a cukros víz”. Mások gyakran említették okként az oldódást, néha utalva arra, hogy azzal a kémia foglalkozik, ezért csak kémiai változás lehet. Többen írták egyszerűen azt, hogy „a cukor feloldódik a vízben”, de előfordult, hogy az oldódás helyett olvadást írtak. Ez a tévedés nem a szavak alaki hasonlatosságából fakad, ez egy nagyon régi tévképzet, mely más országok tanulói között is előfordult (Cosgrove és Osborne, 1981). Azok, akik mindkét változás közé besorolták a cukor oldását, ugyanezeket az indokokat említették a kémiai részre, megtoldva azzal, hogy „megváltozik a cukor halmazállapota”, hiszen szilárdból folyékony lesz, így fizikai változás is. A fizikai változást jelölők aránya az életkor előrehaladásával csökken, míg kilencedikben egy szignifikáns mélypont alakul ki.

Ezzel párhuzamosan nő a kémiai változást választók aránya. 11. évfolyamra azután majdnem az eredeti helyzet áll vissza. A 10. és 11. évfolyamon

szignifikánsan megnő a „mindkettő”-re szavazók száma.

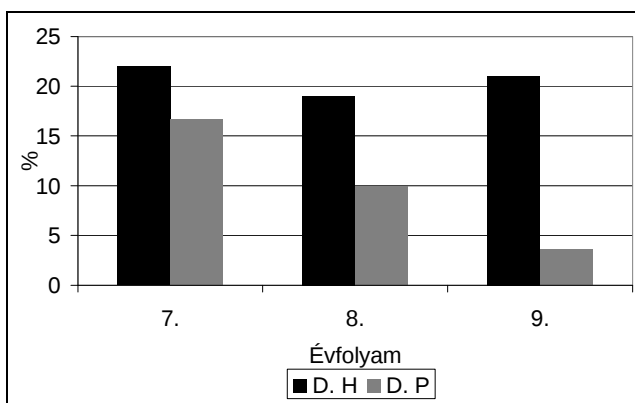
A NaCl oldását az előző folyamattal összehasonlítva azt vehetjük észre, hogy csökkent a helyes választ adók aránya, és ezzel együtt nőtt a „nem tudom”-mal válaszolóké. Úgy tűnik, hogy a három oldódási folyamat közül ez volt a legnehezebben értékelhető, mert a tanulók kb. 10%-a egyáltalán nem jelölt meg semmit.

A tanulók egynegyede szerint azért kémiai változás, mert valamilyen bomlás megy végbe, azaz egy anyagból két anyag lesz. Több mint 10% szerint új anyag keletkezik, de itt már nem jellemző a sós víz megjelenése a válaszok között. A „mindkettő” válasza az eddigiekhez hasonlóan a halmazállapot változás és az új anyag keletkezése volt az indok kiegészülve azzal, hogy „a nátrium-klorid ionjaira bomlik”. Az itt értékelésre kerülő válaszoknál többször tapasztaltam, hogy az NaCl, mint molekula él a tanulók ismeretei között. Ez is az anyagszerkezeti



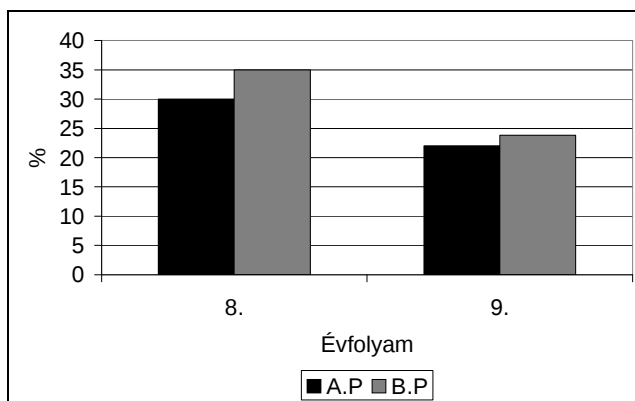
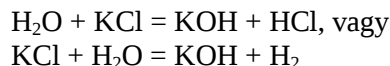
12. ábra: A tanulói válaszok százalékos megoszlása a „cukor oldása” (2.3.), a „NaCl oldása” (2.6.) és a „KCl oldása” (2.8.) folyamatok besorolásában évfolyamonként

hiányosságokra hívja fel a figyelmet. A 7. évfolyamhoz képest szignifikánsan csökken a „nem tudom”-ot jelölők aránya, de sajnos ezzel együtt csak a tévképzet erősödik. Meg kell jegyezni, hogy ebben az egységben szinte egyáltalán nem volt jellemző arra hivatkozni a kémiai változás indoklásakor, hogy reakcióegyenlettel, esetleg vegyjelekkel, képletekkel van leírva a folyamat (Tsaparlis, 2003).



13. ábra: A „D” válaszok százalékos megoszlása az „üveg törése” folyamat besorolásában, a magyar (H) és portugál (P) mintában évfolyamonként

kialakulása”. Nagyon érdekes volt az, hogy többen próbálkoztak kémiai reakcióegyenlet felírásával is indokolni választásukat:



14. ábra: Az „A” és „B” válaszok százalékos megoszlása a „nátrium olvadása” folyamat besorolásában, a portugál mintában évfolyamonként

portugál eredményeket! A portugál tanulóknál is megjelenik az a tévképzet, hogy

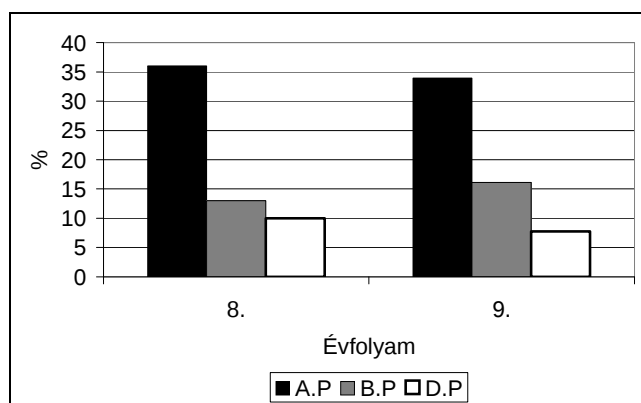
A kálium-klorid vízben való oldásának adatait tekintve megállapíthatjuk, hogy itt mérséklődött a kémiai változást jelölők aránya. 16%-uk új anyag keletkezésével indokolt, míg további 6 %-nál megjelenik a részecskeábrából fakadó mikroszintű ok, „a régi kötések felszakadása és újak kialakulása”.

A helyes választ adók aránya kilencedikben éri el a mélypontot, míg ezzel párhuzamosan a kémiai változást jelölők ezen az évfolyamon vannak a legtöbben, „nem tudom”-mal válaszolók pedig a legkevesebben.

A következőkben nézzük meg ugyanezen hármas egységeknél a

az üveg törése egyik folyamat közé sem sorolható be, azonban mértéke jelentősen lecsökken kilencedikre, míg a magyar mintában minden évfolyamon 20% körül van (13. ábra).

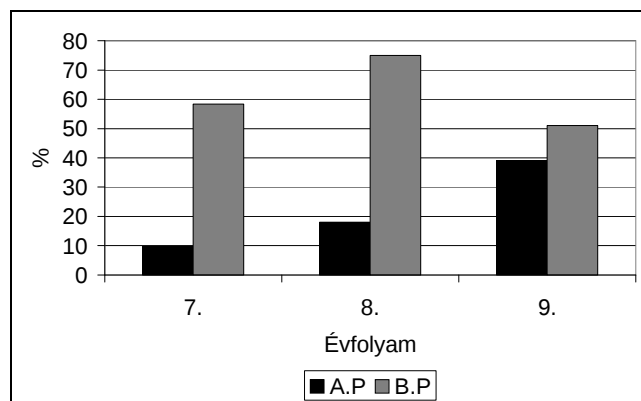
A nátrium olvadása esetén, míg a magyar mintában egyértelműen a fizikai változás felé billen a mérleg, addig a portugál tanulók közel azonos hányada választotta a kémiai változást is az egyes évfolyamokon (14. ábra).



15. ábra: Az „A”, „B” és „D” válaszok százalékos megoszlása a „jég olvadása” folyamat besorolásában, a portugál mintában évfolyamonként

A jég olvadásánál a portugál minta sokkal nagyobb bizonytalanságot mutat a magyarnál (15. ábra). Bár mindkét évfolyamon szignifikánsan többen jelölték a fizikai változást, emellett több mint 10% a kémiai mellett döntött, és szép számmal voksoltak a „mindkettő”-re is. Kb. 20% nem tudott válaszolni.

A kémiai folyamatok közül csak a vas rozsdásodását sorolta be a portugál minta, a többség jól választott. Érdekes tapasztalat azonban, hogy míg a magyar mintában az életkor előrehaladásával csökken a tévképzet aránya, addig a portugáloknál nő, sőt kilencedikre igen jelentős mértéket ölt. Ez természetesen maga után vonja a helyes válasz arányának csökkenését (16. ábra).



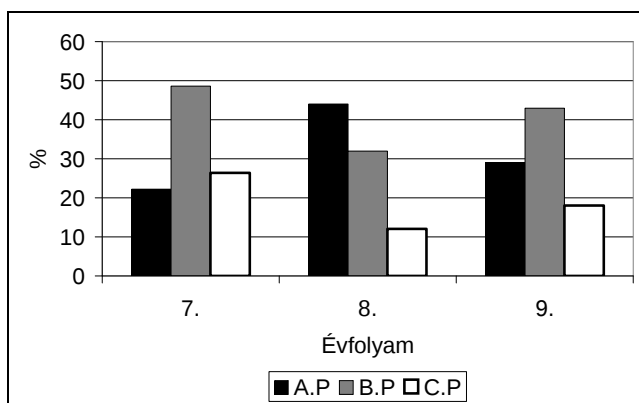
16. ábra: Az „A” és „B” válaszok százalékos megoszlása a „vas rozsdásodása” folyamat besorolásában, a portugál mintában évfolyamonként

Az oldódásos folyamatok közül csak kettő került be a portugál feladatba. A cukor oldása esetén a magyar mintához hasonlóan itt is párhuzamosan változik az „A” és „B” válasz aránya, csak ezt a változást egy csúcspont, illetve egy mélypont jellemzi nyolcadikban (17. ábra). A másik lényeges különbség, hogy a portugál hetedikesek csoportjában sokkal nagyobb mértékben

illetve egy mélypont jellemzi nyolcadikban (17. ábra). A másik lényeges különbség, hogy a portugál hetedikesek csoportjában sokkal nagyobb mértékben

jelenik meg az a tévképzet, hogy a cukor oldása mindkét folyamat közé besorolható.

A KCl oldását már csak a kilencedik évfolyam sorolta be. A helyes válasz aránya még a 10%-ot sem érte el, viszont több mint 30%-a a tanulóknak a kémiai változás mellett voksolt.

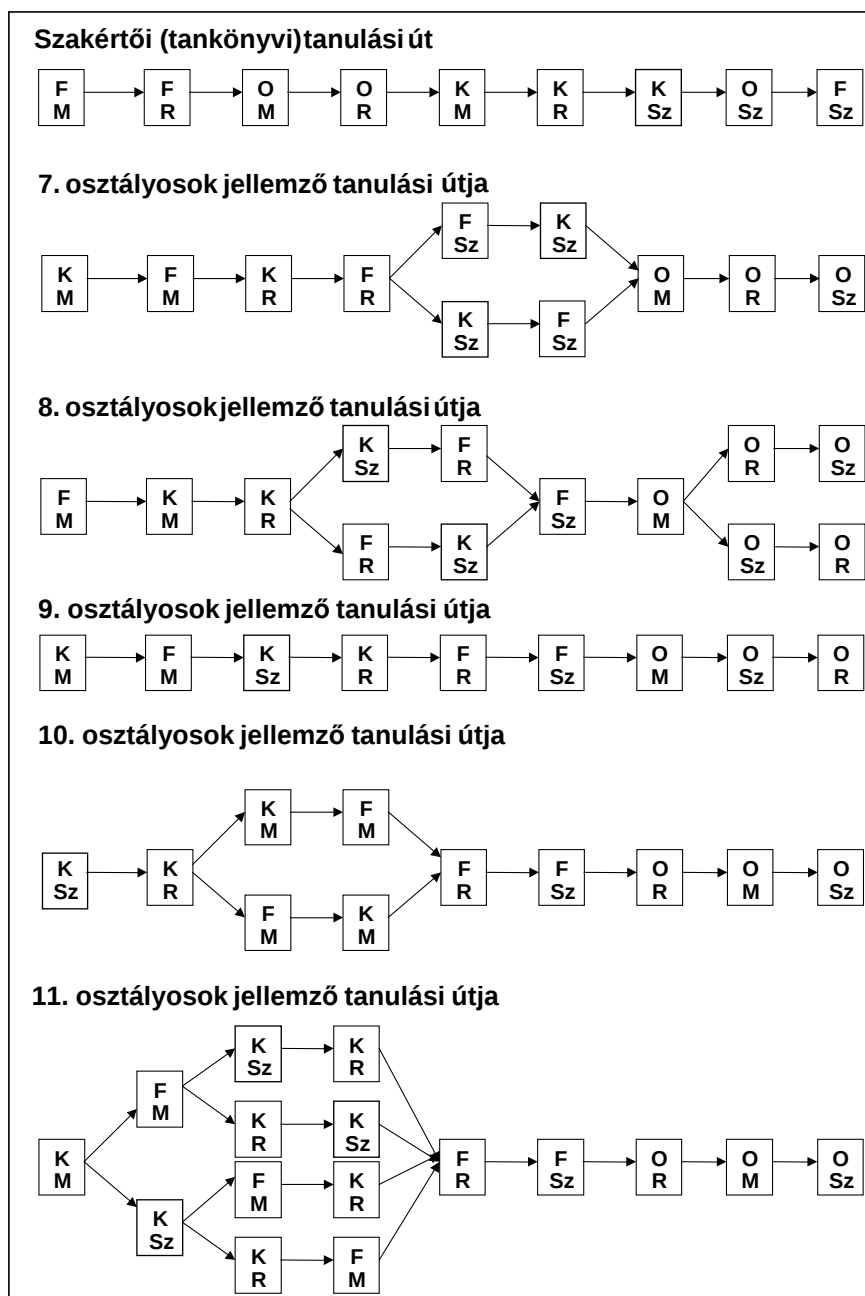


17. ábra: Az „A”, „B” és „C” válaszok százalékos megoszlása a „cukor oldása” folyamat besorolásában, a portugál mintában évfolyamonként

A 18. ábrán a tudástér-elmélet alkalmazásával kapott eredményeket láthatjuk (F: fizikai változás, K: kémiai változás, O: oldás, M: makroszint, R: részecskeszint, Sz: szimbólumszint). Legfelül a szakértői utat láthatjuk, majd az egyes évfolyamok tanulási útjai következnek. A szakértői út azt tükrözi, hogy a tankönyvek milyen sorrendben

tanítják ezeket a folyamatokat. Összehasonlítva az utakat elmondható, hogy:

- A szakértői tanulási út lényegesen különbözik az egyes tanulócsoportok útjától.
- A legtöbb problémát az oldási folyamatok jelentik, ezért az évfolyamtól függetlenül mindig az utolsó helyre kerül. A szakértői út jóval előrébb tartalmazza.
- Az első 3 évfolyamon a folyamatok makroszintű leírása helyezkedik el elől.
- A kémiai változás szimbólumszintű leírása egyre előrébb kerül.
- 9.-ben a tanulási út egységes, míg 11.-ben az eleje diffúzzá válik.
- Az utak végén lévő oldási folyamatok szintjeinek sorrendje megváltozik. A makroszintet megelőzi a helyes besorolást elősegítő részecskeszint.
- A jellemző tanulási utakat az évfolyamokon belül is összehasonlítottam, mégpedig úgy, hogy a kémiajegyek alapján két alcsoportot képeztem („jó tanulók” és „rossz tanulók”). Azt figyeltem meg, hogy a „jó tanulók” alcsoport tudásszerkezete egységesebb, a „rossz tanulók” csoportja mindig több jellemző tanulási úttal rendelkezik, mint a jóké (22. táblázat).



18. ábra: Az A felmérőlap második feladatának eredményei a tudástér-elmélet alapján

22. táblázat: A kémiajegyek alapján képezett alcsoportokra jellemző tanulási utak száma évfolyamonként

Évfolyam	7.	8.	9.	10.	11.
„Jó tanulók”	1	2	4	1	4
„Rossz tanulók”	2	4	6	2	6

Összességében elmondhatjuk, hogy a legsikertelenebbek az oldódási folyamatok esetén voltak tanulóink, itt volt a legalacsonyabb a helyes válaszok aránya, és egyben legmagasabb a helyteleneké. Mindemellett az eredményesség sehol sem emelkedett 80% fölé.

3.3.6. A fizikai változás és a kémiai változás jellemzőinek ismeretét ellenőrző feladat megoldásának elemzése

A 3. feladatban különböző jellemzőket soroltam fel (összesen 25-öt), és azt kellett eldönteni, hogy melyik változást jellemezhetik. Az előzőekhez hasonlóan itt is ötféle választási lehetőség volt (A: fizikai változás, B: kémiai változás, C: mindkettő, D: egyik sem, E: nem tudom).

Itt csak az érdekesebb eredményekre térek ki és grafikont is csak ott mutatok be, ahol az többletinformációval szolgál a szöveges értékeléshez képest, vagy elősegíti a megértést. A helyes megoldásokat a 23. táblázat tartalmazza.

23. táblázat: A 3. feladat helyes megoldása

3.1.	3.2.	3.3.	3.4.	3.5.
C	B	C	C	C
3.6.	3.7.	3.8.	3.9.	3.10.
B	C	C	C	C/D
3.11.	3.12.	3.13.	3.14.	3.15.
C	C	C	C	B
3.16.	3.17.	3.18.	3.19.	3.20.
C	C	A/D	B	B
3.21.	3.22.	3.23.	3.24.	3.25.
C	C	C	C	C

A jó megoldást százalékos értékkel feltüntettem a grafikonokon is, illetve annak jobboldalán a jelmagyarázatban csillaggal jelöltem. Bizonyos esetekben vita tárgyát képezheti, hogy mi a jó megoldás, illetve a körülményektől függ. Ez a témában ismert bizonytalanság miatt nem meglepő. A 24. táblázat + jellel mutatja a portugál minta részvételét a feladatban. Csak azokat az eredményeket mutatom be, ahol a magyar mintához igazodva négy évfolyam (8. – 11.) adatait hasonlíthattam össze (✓-val jelölve). – jellel láttam el most is azokat a

részfeladatokat, amelyeket a szükséges tudás hiánya miatt ki kellett venni az adott évfolyam felmérőlapjából. A magyar évfolyamok eredményének összehasonlítását varianciaanalízissel végeztem el. Néhány esetben a fogalmi fejlődést így statisztikailag is alátámaszthattam, amennyiben szignifikáns javulást tapasztaltam a sikerességben.

24. táblázat: A portugál minta részvétele a 3. feladatban

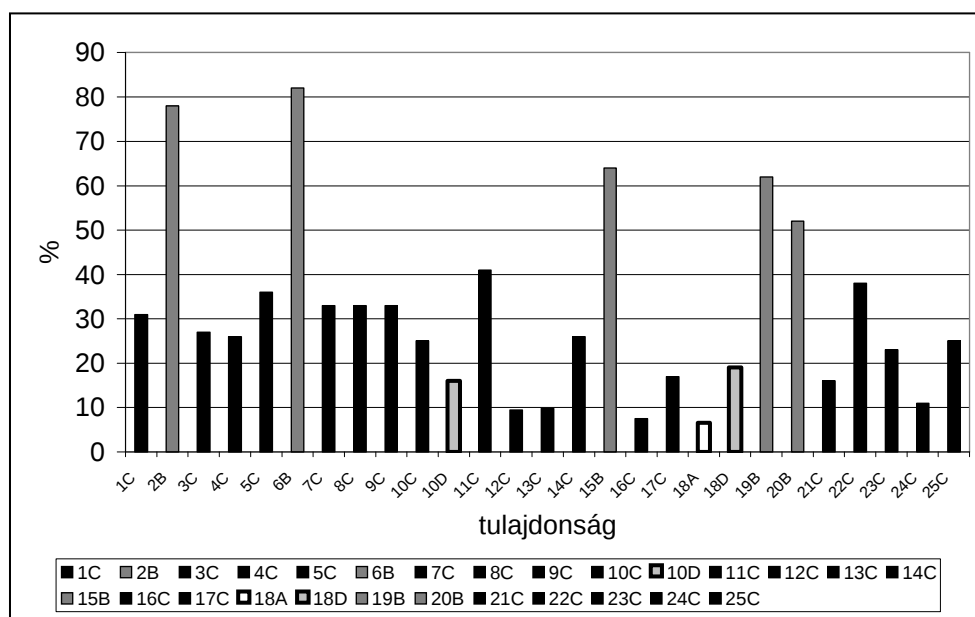
	7. évf.	8. évf.	9. évf.	10. évf.	11. évf.	12. évf.
3.1.	-	+✓	+✓	+✓	+✓	+
3.2.	-	-	-	+	+	+
3.3.	-	+✓	+✓	+✓	+✓	+
3.4.	-	+✓	+✓	+✓	+✓	+
3.5.	-	+✓	+✓	+✓	+✓	+
3.6.	-	+✓	+✓	+✓	+✓	+
3.7.	-	+✓	+✓	+✓	+✓	+
3.8.	-	+✓	+✓	+✓	+✓	+
3.9.	-	+✓	+✓	+✓	+✓	+
3.10.	-	+✓	+✓	+✓	+✓	+
3.11.	-	+✓	+✓	+✓	+✓	+
3.12.	-	-	+	+	+	+
3.13.	-	-	-	+	+	+
3.14.	-	-	-	+	+	+
3.15.	-	-	-	+	+	+
3.16.	-	-	-	+	+	+
3.17.	-	-	-	+	+	+
3.18.	-	-	-	+	+	+
3.19.	-	-	+	+	+	+
3.20.	-	-	-	+	+	+
3.21.	-	-	-	+	+	+
3.25.	-	-	+	+	+	+

A 19. ábrán látható, hogy a tanulók a legsikeresebbek azon jellemzők besorolásánál voltak, amelyek kizárólag a kémiai változást jellemzik (keret nélküli szürke oszlop). Nagyon sok olyan tulajdonság volt, mely mindkét változásra igaz lehet (fekete oszlop), azonban a tanulók ezek esetében is kategorikusan ragaszkodtak vagy az egyik, vagy a másik folyamathoz. Gyakran éppen ahhoz, amelyiknél a tankönyvben megemlítették és így megtanulták. A tévképzeteknek ezen kívül sok más oka lehet, ezért érdemes egyenként megvizsgálni a jellemzőkre kapott eredményeket.

Az „új tulajdonságú anyag megjelenése” (3.1.) a kémiai változás feltételeként fordul elő a tankönyvekben, és a legnépszerűbb elem a két folyamat közötti különbségtételben is. A tanulók nagyobbik fele minden évfolyamon „jól”

választott (B: 55%), azonban itt csak a definíció iskolaszagú „visszamondásáról” van szó. Új tulajdonságú anyag ugyanis mind a fizikai, mind a kémiai változás során létrejöhet. Attól függ, hogy mit tekintünk új tulajdonságnak. Egy anyag új tulajdonságú lesz akkor is, ha szilárdból folyékonyá válik, illetve akkor is, ha közben kémiai reakció játszódik le, s ezáltal egy teljesen új kémiai minőség alakul ki. A helyesen válaszolók aránya nő, szignifikánsan kimagasló eredményt a 10. évfolyam ért el (43%). A tévképzetre utaló „B” válasz részaránya csökken ugyan, de még a felsőbb évfolyamokon is jelentős.

A portugál mintában egy nagyon érdekes jelenség figyelhető meg. A nyolcadik évfolyamon viszonylag sokan (közel 70%) a kémiai változás mellett döntöttek. Kilencedikre kiegyensúlyozottá válik a helyzet és majdnem azonos arányban választották mindkét változást. Végül tizedikben emelkedik ki hirtelen a helyes választ (C) adók aránya (50%), míg tizenegyedikben teljes bizonytalanság lesz úrrá, kevesen válaszolnak a kérdésre.



19. ábra: A jellemzők helyes besorolásának százalékos aránya a teljes mintában

Az előzőnél sokkal konkrétabb az „új kémiai részecske megjelenése” (3.2.) feltétel, amely egyértelműen a kémiai változás meghatározója. A tanulók válaszából is kitűnik (78% választotta), hogy kellő magabiztossággal tudták megválaszolni a kérdést ebben az esetben. (Ez a feltétel a legmeghatározóbb annak eldöntésére, hogy milyen folyamattal állunk szemben.)

A „fizikai tulajdonság megváltozása” (3.3.) esetén is jól emlékeztek a tanulók arra, hogy mi van a tankönyvekben. Több mint 60%-uk a fizikai

változással hozta összefüggésbe. Mindössze közel egyharmaduk gondolta helyesen, hogy a fizikai tulajdonságok nem csak a fizikai változás során változhatnak, hanem a kémiainál is. A fejlődés kimutatható, a felsőbb évfolyamok szignifikánsan jobb eredményt értek el.

A portugál mintában nagyon alacsony a helyes választ adók aránya, a magyarokhoz képest is sokkal többen döntöttek a fizikai változás mellett

A „fizikai tulajdonság megváltozására” rímelt a „kémiai tulajdonság megváltozása” (3.6.), ahol diákjaink sikeresebbek voltak, hisz ez a feltétel is elég egyértelműen a kémiai változáshoz rendelhető. A pozitív korrelációs együttható ($r=0,378$; $p=0,01$; $N=776$) igazolja, hogy nagy valószínűséggel azok, akik a fizikai tulajdonság megváltozását a fizikai változáshoz rendelték, a kémiai tulajdonság megváltozását a kémiai folyamatokhoz kapcsolták. Ez nem csoda, ha figyelembe vesszük, hogy a tankönyvek egy része is ezt hangsúlyozza. Nagyobb baj az, hogy bizonyos esetekben a fizikai és kémiai tulajdonságokat a fizikai és kémiai változással magyarázzák (Tóth, 2002). Ugyanez a helyzet a portugál minta esetében, csak náluk kilencedikben van egy mélypont.

A „fényjelenség” (3.4.) besorolása megosztotta a tanulókat. Az életkor előrehaladásával másképp választottak. Az alsóbb évfolyamokon a kémiai változáshoz kötik a fényjelenséget. Ennek az lehet az oka, hogy a fényjelenséget, mint az égés folyamatát kísérő jelenséget tartják számon, az égés pedig kémiai változás. Később azonban megnő a helyes megoldást adók száma, miszerint a fényjelenség mindkét változást kísérheti. A 7. évfolyamhoz képest a 9.-től szignifikánsan jobb eredményeik vannak a felsőbb évfolyamoknak.

A portugál tanulók nem voltak ennyire sikeresek, többségük kitartott a kémiai változás mellett, és a fizikai változást is csak 11.-ben előzi meg nem szignifikánsan a C válasz.

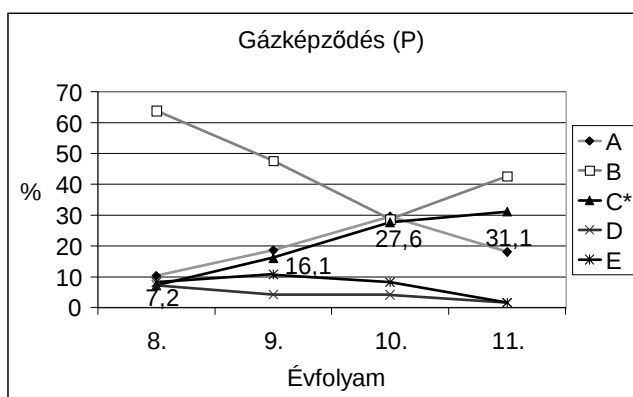
A „szín - amely fizikai tulajdonság – megváltozása” (3.5.) elvileg azt vonta volna maga után, hogy az csak a fizikai változásra lehet jellemző. Ennek ellenére a helyes megoldás mellett sokan voksoltak a kémiai változásra is. Ez a tévképzet nemzetközileg már ismert, Griffiths (1994) összefoglaló jellegű munkájában olvashatunk róla. Ez a tévképzet a portugál mintában jóval nagyobb mértékű, a helyes válasza a magyar tanulókhoz képest jóval kevesebben voksoltak.

A „halmazállapot változást” (3.7.) a „fizikai tulajdonság megváltozásához” hasonlóan, a tankönyvek a fizikai folyamatoknál említik. Mégis azok a tanulók gondolkodtak helyesen, akik azt választották, hogy mindkét változást kísérheti. Fejlődő tendencia figyelhető meg a „C” választásánál az „A” rovására, a 10. évfolyam eredménye szignifikánsan kiugró. A portugál tanulók egyértelműen a fizikai változás mellett döntöttek, és a helyes választ adók aránya is csökken az életkor előrehaladásával.

A nemzetközi eredmények között szóltam arról az ismert tévképzetről miszerint minden gázképződéssel járó folyamat kémiai változás (Tsaparris, 2003). Ez a tévképzet a mi tanulóink között is megjelent (49%). Mindamellett több mint egyharmaduk – helyesen - ezt is mindkét folyamatra jellemzőnek találta.

A portugáloknál újra érdekes tendencia látható (20. ábra). Az alsóbb évfolyamokon itt is inkább a kémiai változást választották, míg később tizedikben egészen kiegyenlítődik a helyzet az „A”, „B” és „C” választ illetően. A helyes választ adók aránya nő az életkorral, de az előbb említett tévképzet is megmarad.

A folyamatokat kísérő energiaváltozásokat már hetedikben tárgyalják a tankönyvek. Leggyakrabban kémiai reakciókkal kapcsolatban említik az endoterm és exoterm jelzőket. Ehhez képest érdekes eredmény született a „lehűlés vagy felmelegedés” (3.9.) besorolása során, a többség ugyanis a fizikai változás jellemzőjeként tartja számon. Az életkor előrehaladtával ez is csökkenő tendenciát mutat, és ezzel együtt a felsőbb évfolyamokon a tanulók közel 40 %-a döntött helyesen. Annak okát, hogy sokan választották a fizikai változást, abban látom, hogy a tankönyvek által is fizikai változásként említett halmazállapot változás a példákban általában melegítéssel vagy hűtéssel valósul meg. Ráadásul, a lehűlés és felmelegedés „mérhető” tulajdonságok, melyek ezáltal a fizikai tulajdonságok sorát szaporítják, amelyek megváltozása sokak szerint fizikai folyamatra utal.



20. ábra: A 3.8. jellemző besorolásának eredménye a portugál minta esetén

lehet. A tanulók jelentős része azonban mégis a fizikai változás mellett döntött. Ennek az lehet az oka, hogy a kémiai változások esetén gyakrabban hangsúlyozzák a tömegmegmaradás törvényét, gondoljunk a reakcióegyenlet felírásának szabályaira. A portugáloknál is a fizikai változás emelkedik ki, és nagyon kevesen adtak jó választ.

A „térfogatváltozást” (3.11.) az alsóbb évfolyamokon inkább a fizikai változáshoz kötik. Valószínűleg azért, mert ezzel a jelenséggel először a párolgás és a hőtágulás során találkozunk. Később szignifikáns különbséggel kerül előtérbe a helyes válasz.

A portugál minta esetén ez a tévképzet a felsőbb évfolyamokon is megmarad, és a többi választ közel ugyanannyian választották.

„Az anyag összetételének megváltozása” (3.12.) félreértésre ad okot. A tankönyvek ezt részecskeszinten fogalmazzák meg, és egyértelműen a kémiai

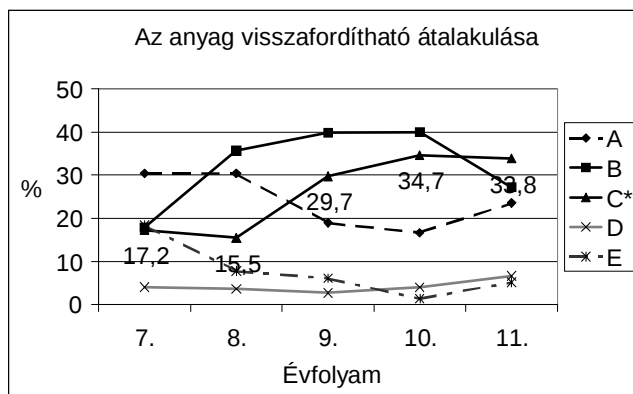
Szinte ugyanez figyelhető meg a portugál tanulók esetében, csak itt nem válik annyira szét a „B” és „C” választ adók száma.

A „tömegváltozással” (3.10.) kapcsolatban két jó megoldás is van. Attól függően, hogy zárt vagy nyílt rendszerben tekintjük a változást, vagy egyikre sem, vagy mindkettőre jellemző

változás jellemzőjeként említik. Ez a makroszintű meghatározás azonban csak egykomponensű rendszerek esetén jellemző a kémiai változásra. Ugyanis ha például az oldatok összetételéről beszélünk, annak megváltozása a fizikai folyamatok közé tartozik.

Az „elsőrendű kötések felbomlása” (3.13.), „új elsőrendű kötések kialakulása” (3.16.) és „elsőrendű kötések egyidejű felbomlása és kialakulása” (3.20.) három egymáshoz szorosan kapcsolódó jellemző. Az első két jellemző mindkét változásra igaz lehet, míg a harmadik csak a kémiai változásra. Mindhárom esetben nagyon hasonló grafikont kaptam. Például hetedikben ezzel kapcsolatban nagy bizonytalanságot tapasztaltam, ami nem meglepő, mivel csak később tanulnak a kémiai kötésekről. A tanulók túlnyomó többsége mindhárom feltételt a kémiai változáshoz rendelte. Ezen sem csodálkozhatunk, hiszen a definíciókat összefoglaló táblázatból kiderül, hogy a tankönyvekben a kémiai változás részecskeszintű definíciójában a kötések felszakadása és kialakulása is megjelenik. Az azonban nincs kellő mértékben kiemelve, hogy önmagukban a kötések felszakadása, illetve kialakulása csak szükséges, de nem elégséges feltétele a kémiai folyamatoknak. Külön-külön megtörténhetnek egy fizikai változás során is, gondoljunk itt például a konyhasó oldódására, vagy az oldatból való visszanyerésére. Először elsőrendű ionkötések szakadnak fel, majd alakulnak ki, de nem egyszerre. Kémiai változásról csak akkor beszélhetünk, ha az elsőrendű kötések egyidejűleg szakadnak fel, és újak alakulnak ki helyettük.

Tartalmilag ide tartozik még a „másodrendű kötések felbomlása, vagy kialakulása” (3.24.) is. Ennek megfelelően a grafikon is hasonló eredményt mutat.

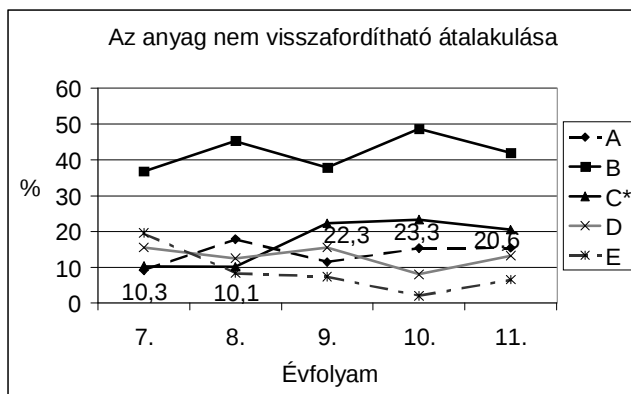


21. ábra: A 3.14. jellemző besorolásának eredménye

Hetedikben bizonytalanság, majd a tanulók egyre nagyobb része a kémiai változás mellett dönt, míg mindössze csak 10%-a tudja a helyes választ (mindkettő). Pozitív korrelációt állapítottam meg mind a négy jellemző között ($0,320 \leq r \leq 0,481$ $p=0,01$ $N=776$), azaz nagy valószínűséggel ugyanazok a tanulók

választották a kémiai változást mind a négy esetben.

„Az anyag visszafordítható átalakulását” (3.14.), illetve „az anyag nem visszafordítható átalakulását” (3.17) a tankönyvek ma már nem rendelik hozzá egyik típusú változáshoz sem, bár korábban az első a fizikai, a második a kémiai változás jellemzője volt. Talán az egyensúlyi reakcióknak köszönhető, hogy három



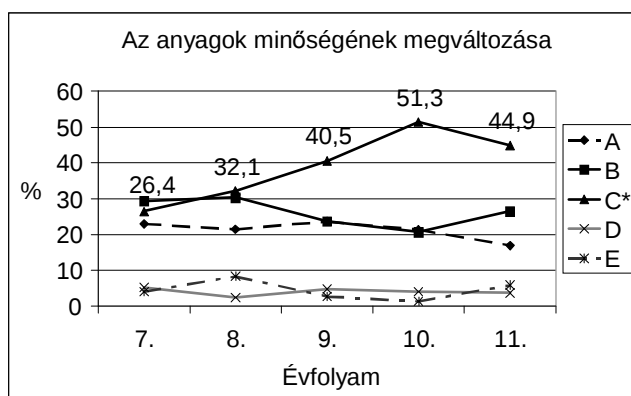
22. ábra: A 3.17. jellemző besorolásának eredménye

még visszanyerhető az oldatból. Egy kémiai reakció azonban nem könnyen fordítható vissza ilyen módon. Persze azért itt is akadtak, akik helyesen választottak, és számuk nő is.

„Az elektron kiszakadása az elektronburokból, vagy beépülése az elektronburokba” (3.15.) részecskeszintű jellemzője a kémiai változásnak. Ez a második részecskeszintű jellemző, mely egyértelműen kémiai folyamatra utal, a tanulók 64%-a választotta ezt.

„A részecskék elektronszerkezetének megváltozása” (3.21.) egy egyszerű gerjesztési folyamat során is megtörténhet, azaz nem csak a kémiai változásra lehet jellemző, ahogy azt a többség jelölte (62%).

„Az atommag összetételének megváltozása” (3.18.) félrevezető volt a tanulók számára. Igazából nehéz egyértelműen állást foglalni. Bizonyos szempontból egyik



23. ábra: A 3.22. jellemző besorolásának eredménye

mely csak a kémiai folyamatokat jellemezheti. Sőt nagyon hasonlított az „anyag

évfolyam esetén is zömmel a kémiai változást választották (21. ábra).

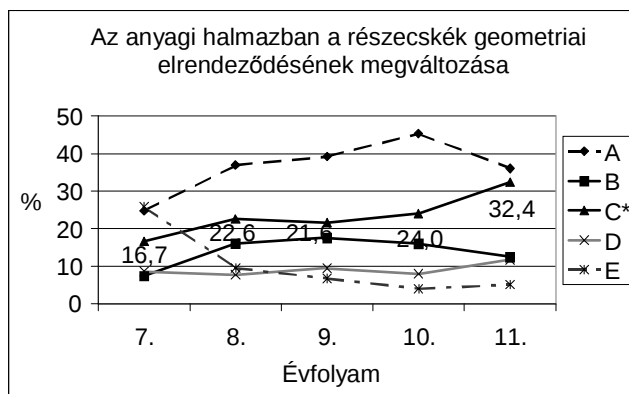
Ugyanakkor a vissza nem fordítható változásnál is a kémiára voksoltak (22. ábra) a tanulók, hiszen a fizikai változásoknál a tankönyvek hangsúlyozzák, hogy például az oldott anyag oldódás után

hangsúlyozzák, hogy például az oldott anyag oldódás után még visszanyerhető az oldatból. Egy kémiai reakció azonban nem könnyen fordítható vissza ilyen módon. Persze azért itt is akadtak, akik helyesen választottak, és számuk nő is.

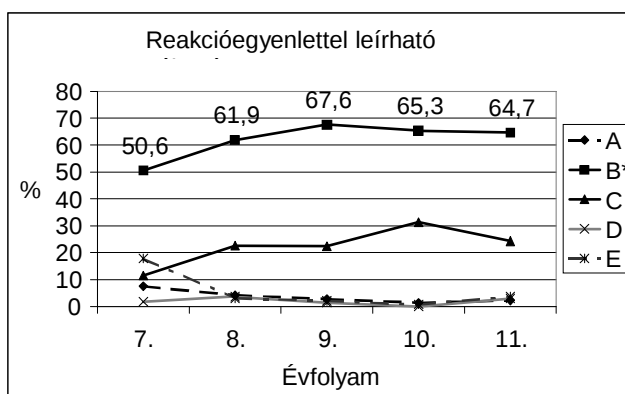
„Az elektron kiszakadása az elektronburokból, vagy beépülése az elektronburokba” (3.15.) részecskeszintű jellemzője a kémiai változásnak. Ez a második részecskeszintű jellemző, mely egyértelműen kémiai folyamatra utal, a tanulók 64%-a választotta ezt.

„A részecskék elektronszerkezetének megváltozása” (3.21.) egy egyszerű gerjesztési folyamat során is megtörténhet, azaz nem csak a kémiai változásra lehet jellemző, ahogy azt a többség jelölte (62%).

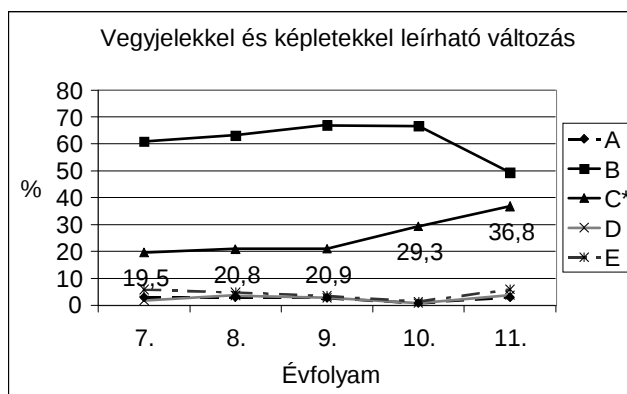
„Az atommag összetételének megváltozása” (3.18.) félrevezető volt a tanulók számára. Igazából nehéz egyértelműen állást foglalni. Bizonyos szempontból egyik



24. ábra: A 3.23. jellemző besorolásának eredménye



25. ábra: A 3.19. jellemző besorolásának eredménye



26. ábra: A 3.25. jellemző besorolásának eredménye

összetételének megváltozásához”, amely valóban a kémiai folyamatokat jellemzi, ezért több okból is dönthettek helytelenül.

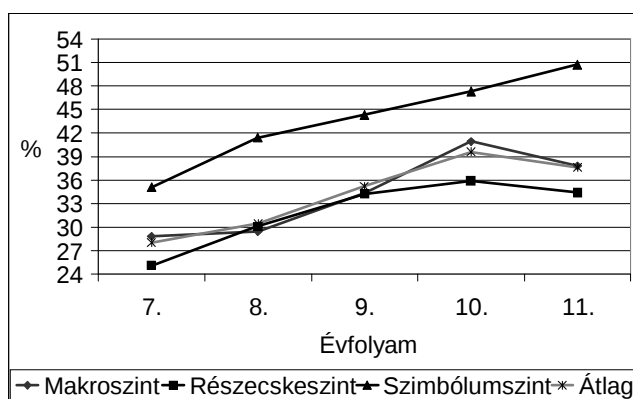
Szép fogalmi fejlődést mutat a 23. ábra. Tanulóink az életkor előrehaladásával érzékelhetik, hogy az anyag minősége sok mindent jelenthet. Olyan, mint az új tulajdonságú anyag megjelenése. Túlságosan felszínes a megfogalmazás ahhoz, hogy egyértelműen el lehessen dönteni, melyik típusú változást jellemezheti.

A 24. ábrán szintén a tankönyv hatása figyelhető meg. Ez a jellemző ugyanis a fizikai változásnál jelenik meg, pedig mindkét folyamatot jellemezheti, gondoljunk például az izoméria jelenségére. (Ha kizárólag a halmaz szerkezete változik meg a folyamat során, akkor beszélhetünk fizikai

változásról.)

A 25. és 26. ábrán két szimbólumszintű jellemző besorolásának eredménye látható. Érdekes elgondolkodni a közöttük lévő különbségen. A kémiai változások mellett, a fizikai folyamatok felírásánál is használhatunk képleteket, illetve vegyjeleket. Annak ellenére azonban, hogy a kémiai reakcióegyenletet kifejezetten a kémiai folyamatok leírására hozták létre, sokan gondolták azt, hogy a fizikai folyamatok esetén is használható.

Végül kiszámoltam, hogy az évfolyamok milyen eredményt értek el az egyes szinteken. A 27. ábrán az átlag teljesítmény mellett ezt tüntettem fel. Ez



27. ábra: Az évfolyamok szintenkénti és átlag eredménye

alapján látható, hogy szimbólumszinten érték el a legjobb eredményt a tanulók, A tendencia azonban mindhárom szinten hasonló.

Tizenegyedikben makro- és részecskeszinten is visszaesés mutatkozik az eddigiekhez hasonlóan, tekintve, hogy ezen az évfolyamon a

tanulóknak már csak kis hányada tanul kémiát.

3.3.7. Összefoglalás

A tankönyvekben a fizikai és kémiai változásra adott definíciók nem elég egyértelműek ahhoz, hogy segítségükkel a tanulók kellő biztonsággal eldönthessék egy folyamatról, hogy hova tartozik. Ennek két fő oka van. Egyrészt ezek a fogalmak túlságosan összetettek, nehéz egy-két mondatos meghatározást adni rájuk. Másrészt a tanulók életkori sajátosságukból adódóan, nem rendelkeznek még megfelelő szintű fogalmi rendszerrel és anyagismerettel ahhoz, hogy bizonyos folyamatokat csoportosíthassanak. A tanulók képesek elsajátítani a tankönyvekben szereplő definíciókat, de amikor azok tényleges értelmezésére kerül a sor, akkor már nehezebben tudnak megbirkózni a feladattal.

A tanulói definíciókat egy 0-tól 5-ig terjedő skálán pontozva a fizikai változás átlagos megértési szintje 3,6, míg a kémiai változásé 4. Ez viszonylag jónak mondható, bár meg kell jegyeznem, hogy a fogalmak meghatározásakor nem voltak nagy elvárásaim. A háromszintű értelmezés közül megelégedtem azzal is, ha legalább az egyik szinten helyesen volt leírva az adott fogalom. A fizikai változásra megadott példák zömmel halmazállapot-változások voltak, és kb. 11%-ban jelent meg az „üveg összetörése”, mely az egyik feladat példaként szerepelt, tehát nem

önálló ötlet. A kémiai változásra adott példák is elsősorban a tankönyvekből valók. Általában említik az égést, ezen belül konkrétan a magnéziumszalag égését. Szintén kedvelt folyamatok a bomlás és egyesülés, az oxidáció, ezen belül is a különböző fémek oxidációja, a vas korróziója (szintén az előbb említett feladat és a tankönyv példája). A víz képződése elemeiből, illetve elektromos áram hatására történő bomlása is gyakran előfordult.

A fenomenografikus elemzés eredményei arra mutatnak, hogy a legegyszerűbb példa megadásával szemléltetni, hogy milyen változásról beszélünk. Ezt követik a makroszintű meghatározások, majd a szubmikro szintűek. A tanulók 7%-a nem hogy megfogalmazni nem tudta a fizikai és kémiai változást, de még példát sem volt képes adni. Ha e tanulókhoz hozzávesszük a csak példákat adókat, akkor már közel 20%-ra tehető azoknak a tanulónak az aránya, akik érdemben nem tudtak definíciót írni. Mindössze 15% volt képes mindhárom szinten egyszerre megfogalmazni mindkét folyamat lényegét.

A különböző szinteken megadott folyamatok besorolása (2. feladat) sok helyen problémát okoz. A legtöbb gond függetlenül az értelmezési szinttől, az oldódással volt (2.3., 2.6., és 2.8.). A tanulók kevesebb, mint egyharmada tudta helyesen besorolni ezeket a folyamatokat. A tanulók sikerességét %-ban kifejezve a 25. táblázatban láthatjuk.

25. táblázat: A tanulók sikeressége %-ban kifejezve a 2. feladatban.

folyamat	2.1.	2.2.	2.3.	2.4.	2.5.	2.6.	2.7.	2.8.	2.9.
szint	makro			szimbólum			részecske		
%	77	74	32	51	56	15	75	24	56

Ebben a feladatban néhány helyen lehetőség volt a portugál minta adataival összevetni saját eredményeimet. A két minta által mutatott tévképzeteket a 26. táblázatban foglaltam össze.

26. táblázat: Tévképzetek a 2. feladatban

Tévképzet	magyar minta %	portugál minta %
A vas rozsdásodása fizikai változás.	11	22,2
Az üveg törése egyik sem.	20	10,1
A cukor oldása vízben kémiai változás.	51	41,2
A cukor oldása vízben mindkettő.	13	18,8
A nátrium halmazállapot változása kémiai változás.	20	29,4
Az ezüst-klorid képződése mindkettő.	13	-
A nátrium-klorid vízben való oldása	49	-

kémiai változás.		
A nátrium-klorid vízben való oldása mindkettő.	10	-
A kálium-klorid vízben való oldása kémiai változás.	41	32,6
A jég olvadása kémiai változás.	-	14,6
A jég olvadása egyik sem.	20	-

A fizikai, illetve kémiai változás jellemzőinek válogatása (3. feladat) még nehezebb feladatnak bizonyult. Bizonyos esetekben az életkor előrehaladásával fejlődik a tanulók fogalmi rendszere, melyet a grafikonokból is leolvashatunk. Ez néhány helyen statisztikailag is kimutatható. Az összesített pontszámokra elvégezve a varianciaanalízist azt tapasztaltam, hogy fogalmi fejlődés a 9. és 10. évfolyamokon következik be. A részeredményeket figyelembe véve a következő jellemzők besorolása során mutatkozik szignifikáns fejlődés az évfolyamok között.

- új tulajdonságú anyag megjelenése
- fizikai tulajdonság megváltozása
- fényjelenség
- halmazállapot változás
- az anyag visszafordítható átalakulása
- az anyag nem visszafordítható átalakulása
- reakcióegyenlettel leírható változás
- elsőrendű kötések egyidejű felbomlása és kialakulása
- a részecskék (atomok, ionok, molekulák) elektronszerkezetének megváltozása
- az anyagok minőségének megváltozása
- az anyagi halmazban a részecskék geometriai elrendeződésének megváltozása
- vegyjelekkel és képletekkel leírható változás

A 25 esetből 12 helyen találtam olyan tévképzetet, mely csak a fizikai változásra vonatkozik, 19 tévképzet csak a kémiai változásra és 1 tévképzet mindkettőre érvényes, ez összesen 32 tévképzet. Itt ezek közül csak a jelentős mértékben előfordulókat fogalmazom meg.

A fizikai változásra vonatkozó tévképzetek:

- Az anyag fizikai tulajdonsága kizárólag fizikai változás alkalmával változhat meg.
- A fényjelenség a fizikai változást kíséri.
- A színváltozás fizikai változásra utal.
- A halmazállapot megváltozása csak fizikai változás során következhet be.
- Lehülés vagy felmelegedés csak fizikai folyamatot kísérhet.

- Tömegváltozásról csak fizikai folyamat esetén beszélhetünk.
- Térfogatváltozás kizárólag fizikai változás során történhet meg.
- Az anyagi halmazban a részecskék geometriai elrendeződésének megváltozása csak fizikai folyamat során valósulhat meg.

A kémiai változásra vonatkozó tévképzetek:

- Új tulajdonságú anyag csak kémiai változás során keletkezhet.
- Fényjelenség csak kémiai változást kísérhet.
- A színváltozás kémiai változásra utal.
- Gáz képződése kizárólag kémiai folyamat során valósulhat meg.
- Az anyag összetétele csak kémiai folyamat során változhat meg.
- Elsőrendű kémiai kötések csak kémiai változás során bomolhatnak fel.
- Elsőrendű kémiai kötések csak kémiai változás során alakulhatnak ki.
- Másodrendű kötések csak kémiai változás során bomolhatnak fel, vagy alakulhatnak ki.
- Csak a kémiai folyamatok visszafordíthatóak.
- Csak a kémiai folyamatok nem visszafordíthatóak.
- A részecskék elektronszerkezetének megváltozása csak kémiai folyamat során valósulhat meg.
- Az atommag összetételének megváltozása csak kémiai folyamat során valósulhat meg.
- Csak a kémiai folyamatokat lehet vegyjelekkel és képletekkel leírni.

Mindkettőre vonatkozó tévképzet:

- Mind fizikai, mind kémiai változást leírhatunk reakcióegyenlettel.

A NAT megjelenése előtt sokkal nagyobb hangsúlyt fektettek a kémia anyagszerkezeti részére, újabban a tantervekben inkább a kémia hétköznapi életben való felhasználására összpontosítanak. E probléma azonban éppen arra világít rá, hogy sokszor nem érthetjük meg a kémiát hétköznapi aspektusból, ha nincs anyagszerkezeti tudás a háttérben. Ha lemondunk tehát az anyagszerkezet megismeréséről, a kémia lényegét veszítjük el, hiszen pontosan arra hívatott, hogy az anyag egy szabad szemmel láthatatlan dimenzióit írja le számunkra.

3.4. Az anyagmennyiség és a mól fogalmával kapcsolatos felmérés részletes értékelése

Az anyagmennyiség fogalmát más alapfogalmakkal együtt a kémia oktatásának elején vezetik be, az általános iskola 7. évfolyamán. Ismerete elengedhetetlen a kémiai számítások és az egyenletek felírása során. A tapasztalat azonban azt mutatja, hogy a tanulók e két témától idegenkednek a legjobban (Lazonby és mtsai, 1982). Ha megkérdezzük őket, hogy mit nem szeretnek a kémiában, akkor biztosak lehetünk abban, hogy zömmel a számítási feladatokat és a reakcióegyenleteket fogják megemlíteni. Joggal vetődik fel a kérdés, hogy mi lehet ennek az oka. A matematikai felkészültség mellett az anyagmennyiség fogalmának megfelelő értelmezése is hiányozhat. Vizsgálatomat ezért kiterjesztettem a tanulók anyagmennyiséggel kapcsolatos fogalmi megértésére és fejlődésére is. Ebben a fejezetben - terjedelmi okokból – csak a felmérőlap első és tizenegyedik feladatának eredményeit mutatom be.

3.4.1. Irodalmi előzmények

Nemzetközi szinten már több évtizede foglalkoznak ezzel a témával, és a tapasztalat szerint sokszor nem csak a tanulóknak, de a tanároknak is gondot okoz az anyagmennyiség fogalmának megfelelő értelmezése. Ezt támasztja alá egy svéd kutatás (Strömdahl és mtsai, 1994), amely során interjúkat végeztek tanárokkal, akiket arra kértek, mondják el, mit jelent számukra az „1 mol”. A válaszokat a következő 4 kategóriába sorolták be:

1. Egy mól az anyagnak egy adagja.
2. Egy mól az az elemi egység (entitás), mely meghatározott tömeget jelent.
3. Egy mól megegyezik az Avogadro-számmal.
4. A mól az anyagmennyiségnek, mint fizikai mennyiségnek a mértékegysége.

Hasonló eredményekre jutottak Furió és mtsai (2000), akik a tankönyvekben is találtak helytelen fogalmakat. Megállapítható, hogy az első három definíció a mól fogalmának egy korábbi történeti megfogalmazásával hozható összefüggésbe, és csak a negyedik van összhangban a mai, SI definícióval. Bár az első három megközelítés makroszintű, ennek ellenére a tanárok gyakran használnak részecske szintű analógiákat és példákat a megértés elősegítésére az oktatás során. A kutatás alátámasztja azt a tényt, hogy a tanárok anyagmennyiségről alkotott saját elképzelése nagymértékben befolyásolja azt a tanítási módot, ahogy a tanulóknak bevezetik és megtanítyják a fogalmat. Nem csodálkozhatunk tehát azon, ha a tanulók is meglehetősen zavarosnak ítélik ezt a fogalmat. Mindemellett a vizsgálat

arra is rávilágított, hogy a tanulók egyáltalán nem látják az összefüggést az anyagmennyiség és más természettudományos fogalmak között.

Természetesen a tanár előadása mellett fontos szerepet tölt be a tankönyv is. Egy olasz kutatócsoport (*Cervellati és mtsai*, 1982) ezért tankönyvelemzést is végzett, mielőtt középiskolások elképzeléseit vizsgálta az anyagmennyiség fogalmával kapcsolatban. A kutatás elsősorban azért érdekes, mert több mint 20 éves, és így egészen korai tankönyvek is górcső alá kerültek. Ez azt jelenti, hogy a tankönyvek segítségével tulajdonképpen nyomon követhették a mól fogalmának fejlődését.

A definíciók között először a gramm-atom-, illetve gramm-molekula-súly jelent meg. Később a mólból egység lett, amelyet először még nem, de később összefüggésbe hoztak az Avogadro-számmal. Majd a gramm-atom- és gramm-molekula-súly fogalmak el is tűnnek a tankönyvekből. Azaz annak is megvan az oka, hogy a tanárok miért vélekednek másképp az anyagmennyiségről, mint ahogy az az SI szerint elvárható. (A tanárok idősebb nemzedéke még nem az 1971-ben elfogadott definíciót tanulta az iskolában.)

A vizsgálat során az is kiderült, hogy az Avogadro-szám bevezetésére és használatára vonatkozólag négyféle módot különböztettek meg, amelyekből kettő uralkodott a könyvekben. Az egyik szerint csak megemlítik az Avogadro-szám értékét, míg a másik szerint a gázok moláris térfogatával kapcsolatban számolnak vele.

A mólt kétféleképpen használják: vagy „részecske-számlálóként” vagy sztöchiometriai magyarázatokban, beleértve az oldatok koncentrációját is.

Egy másik tankönyvelemzést azért találtam fontosnak bemutatni, mert itt már főiskolai könyvek is bekerültek a mintába, és időben későbbre tehető (*Staver és Lumpe*, 1993). A kutatási kérdések hasonlóak voltak, annyiban nyújt többet, hogy itt nagyobb hangsúlyt fektettek a szövegkörnyezetre. Nézzük a tartalmi elemzés eredményét!

- Kétféle definíció jelenik meg a tankönyvekben. Az egyik a részecskeszámmal hozza összefüggésbe a mól fogalmát, míg a másikban a 12-es tömegszámú szénizotóppal. (Ez a két definíció jelenik meg a magyar tankönyvekben is, ahogy azt később bemutatom.)
- Minden olyan tankönyv, amely a definícióban felhasználja a C-12-t, előzőleg bevezeti az atommal kapcsolatos fogalmakat.
- A legtöbb tankönyv, mindkét oktatási szinten bemutatja, hogy az Avogadro-állandó egy kísérletileg meghatározott mennyiség.
- Majdnem minden tankönyv azzal a problémával hozza összefüggésbe a mól bevezetését, hogy hogyan számolhatjuk meg azokat a részecskéket, melyek túl kicsik ahhoz, hogy tömegük mérhető legyen. A tankönyvek nagy része a tucatot használja analóg példaként a mól bevezetésére.

Nelson (1991) nemes egyszerűséggel csak „elusive”, azaz megfoghatatlan mólnak nevezi az anyagmennyiség mértékegységét, és megfogalmazza a

tévképzetek egyik okát. Eszerint nem használhatjuk számoló egységként a mólt úgy, mint a tucatot. Vagyis a tucat mégsem a legjobb analóg példa a szemléltetésre. Nem jó példa, mert a „tucat” és a „darab” (megjegyezzük, hogy ráadásul egyik sem fizikai mértékegység) mindkettő egy halmaz számosságát fejezi ki, tehát az anyag ugyanazon szempontból kifejezett mennyisége között csak egy átváltást jelent. 1 tucat = 12 darab. A mól viszont már az anyagmennyiség mértékegysége, így nem ugyanabból a nézőpontból írja le az anyag mennyiségét, mint a tucat. Az más kérdés, hogy 1 mól anyagmennyiséget hogyan definiálunk. Igaz tehát, hogy a tojások száma 2 tucat, ami egyenlő 24 darabbal, de választanunk kell, hogy az anyag részecskéinek száma $12 \cdot 10^{23}$, vagy az anyagmennyisége 2 mol. A kettő közé nem tehető egyenlőségjel.

Nelson a probléma másik okát az anyagmennyiség kifejezés kettős jelentésében látja. Mivel az anyagmennyiségnek már van jelentése általában, ezért a „kémiai anyagmennyiség” kifejezés használatát javasolja helyette. Általában az anyag mennyiségét nem csak mólban, de kg-ban, literben stb. is megadhatjuk.

Az anyagmennyiségnek alapvető szerepe van a sztöchiometriai számításokban is. A fogalom megfelelő elsajátítása után, még mindig több út kínálkozhat egy feladat megoldására. A kutatások szerint a problémamegoldó stratégiák tanulói alkalmazása különböző tényezők függvénye. Schmidt (1994, 1997) szerint a német középiskolások – és újabb vizsgálatok alapján a svéd középiskolások is (Schmidt, 2003) – egyszerű sztöchiometriai számítások esetén sikeresebben alkalmazzák saját stratégiáikat, de bonyolultabb feladatok megoldásakor már algoritmikus módszereket használnak. Reakcióegyenletek rendezésének vizsgálatakor (Tóth, 2004) kiderült, hogy a magyar középiskolások saját rendező stratégiát (többnyire egy próbálgatáson alapuló módszert) találnak ki, mielőtt az iskolában megismernék az oxidációs számmal való rendezés elvét. Még akkor is ragaszkodnak ehhez a módszerhez, amikor olyan bonyolult redoxi egyenleteket kell rendezniük, melyekre csak kis hatásokkal alkalmazható.

3.4.2. Kutatási kérdések

- Milyen definíciókat fogalmaznak meg a tanulók az anyagmennyiség fogalmával kapcsolatban?
- Milyen tévképzeik vannak a fogalommal kapcsolatban?
- Alkalmazzák-e az anyagmennyiség fogalmát a tanulók a számítási feladatokban?
- Milyen stratégiákat használnak a tanulók egy egyszerű sztöchiometriai feladatban?

3.4.3. Az SI definíció

Ez a fejezet nem lenne teljes, ha nem tartalmazná a hivatalos definíciót, melyet 1971-ben a IUPAP és IUPAC javaslatára fogadtak el (Riedel, 1990). Eszerint a korrekt meghatározás, mely két részből áll, a következő:

1. A mól annak a rendszernek az anyagmennyisége, mely annyi elemi egységet tartalmaz, mint ahány atom van 0,012 kg szén-12-ben; jele: „mol”
2. Amikor a mólt használjuk, meg kell határozni az elemi egységet, amely lehet atom, molekula, ion, elektron, egyéb részecskék, vagy ezek meghatározott csoportja.

Vegyük észre, hogy ez nem az anyagmennyiségnek, hanem a mértékegységének, a mólnak a meghatározása! Mindössze egy helyen találtam kísérletet ténylegesen az anyagmennyiség fogalmának leírására (Riedel, 1990), mely szerint: "Az anyagmennyiség független alapegység, amely a részecskék és az átalakulások diszkontinuus voltát és megszámlálhatóságát fejezi ki. Adott anyag anyagmennyisége arányos az elemi egységeinek számával."

3.4.4. Tankönyvi definíciók

Megvizsgáltam a kutatásban résztvevő minta által leggyakrabban használt kémia tankönyveket is, hogy megtudjam, mikor és hogyan definiálják az anyagmennyiség fogalmát. Azt találtam, hogy már hetedikben előkerül a fogalom. Ezután nyolcadikban nem, hanem kilencedikben fordul elő újra az általános kémiai fogalmak között. Az anyagmennyiség bevezetésének okaként általában arra hivatkoznak, hogy egyetlen részecske tömegét nem lehet megmérni, vagy a kémiai reakciók sem néhány részecske között mennek végbe. Az irodalomból jól ismert definíciókkal találkoztam, amelyek közül az első a fiatalabb korosztály részére érthetőbb, a második azonban nagyobb összhangban van az SI-vel.

Jobban megfigyelve a definíciókat azonban láthatjuk, hogy valójában itt sem az anyagmennyiségről, hanem annak mértékegységéről van szó.

Def. 1. Az anyagmennyiség mértékegysége a mól. 1 mol annak az anyagnak az anyagmennyisége, amely $6 \cdot 10^{23}$ db részecskét tartalmaz.

Def. 2. Az anyagmennyiség mértékegységét, a mólt, a szén-12 izotópra vonatkoztatják. 1 mol annak a rendszernek az anyagmennyisége, amely annyi elemi egységet tartalmaz, mint ahány atom van 0,012 kg szén-12-ben.

3.4.5. Az anyagmennyiség tanulói definícióinak elemzése

Bár a szakember szerint a „mól fogalma” elavult, téves kifejezés, tekintve, hogy az egy mértékegység (Riedel, 2004), mégis láthattuk, hogy valójában nem az anyagmennyiséget, hanem a mértékegységét definiáljuk. Tulajdonképpen az

anyagmennyiség fogalmi meghatározásával a tankönyvekben nem lehet találkozni. A jelenlévő zavarhoz pedig az is hozzájárul, hogy amikor az anyagmennyiség definíciójáról beszélünk, a mértékegysége meghatározását értjük alatta.

Az első feladatban arra kértem a tanulókat, hogy írják le az anyagmennyiség fogalmát. Kíváncsi voltam, hogy miképp oldják meg ezt a feladatot, fel tudják-e oldani a zavart. Válaszaikat a korábban már bemutatott hatfokú skála segítségével pontoztam (Abraham és mtsai, 1992). A 27. táblázatban láthatjuk, hogy a tanulók hány százaléka érte el az adott pontot, a 28. táblázatban pedig bemutatok néhány jellemző választ is.

27. táblázat: A tanulói válaszok pontjainak évfolyam szerinti megoszlása %-ban

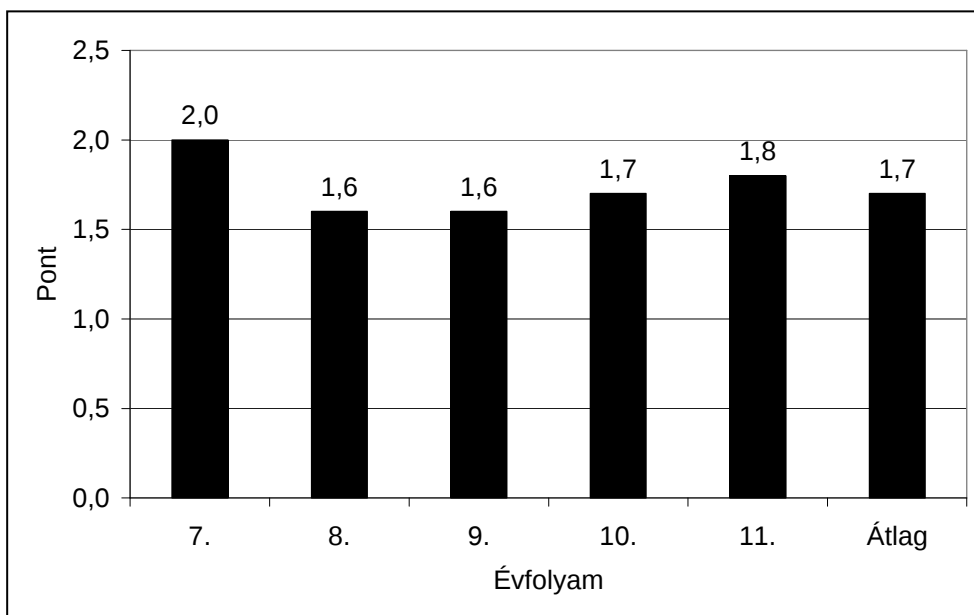
	0	1	2	3	4	5
7. évf.	28	6	34	8	19	5
8. évf.	35	18	24	4	18	2,5
9. évf.	30	25	25	1	20	0
10. évf.	34	16	22	3	22	3,5
11. évf.	28	16	32	1	24	0
összes (átlag)	31	16	27	4	20	2

A táblázat szerint a tanulók közel egyharmada nem tudott válaszolni, másik harmaduk tévképzetekkel rendelkezik, és csak egyötödük tudott olyan meghatározást írni, mely elfogadható volt (4 és 5 pont). A 28. táblázatban a 2 pontot érő válaszok a két leggyakoribb tévképzetet írják le, mely a nemzetközi szakirodalom eredményeivel is egyezik.

28. táblázat: Az anyagmennyiségre adott tanulói válaszok

	Jellemző válasz
0	Nincs válasz.
1	Az anyagmennyiséggel az anyagi rendszerek mennyiségét lehet megadni. Az anyagmennyiség a tömeg és a moláris tömeg hányadosa.
2	Az anyagmennyiség megmutatja az anyagban lévő atomok számát. Az anyagmennyiség azt mutatja meg, hogy 1 mol részecskének mekkora a tömege.
3	Az anyagmennyiség a megadott tömegű anyagban lévő atomok számát mutatja meg. Mértékegysége a mol. $1 \text{ mol} = 6 \cdot 10^{23}$ db atom.
4	1 mólbán $6 \cdot 10^{23}$ db részecske van.
5	Az anyagmennyiség mértékegysége a mól. 1 mol annak az anyagnak az anyagmennyisége, amely $6 \cdot 10^{23}$ db részecskét tartalmaz. Az anyagmennyiség mértékegységét, a mólt, a szén-12 izotópra vonatkoztatják. 1 mol annak a rendszernek az anyagmennyisége, amely annyi elemi egységet tartalmaz, mint ahány atom van 0,012 kg szén-12-ben.

A 28. ábrán az évfolyamok megértési szintjét látjuk, amelyet az előbbi pontszámok átlagaként számoltam.



28. ábra. A megértési szint évfolyamonként

Az eredmények szerint minden évfolyamon alacsony a fogalom megértési szintje, de a hetedikeseké a legnagyobb. Bár szignifikáns különbség nincs az évfolyamok között, az életkor előrehaladásával csökken a megértés, kilencedikben éri el a minimumot, majd újra növekszik, de a hetedikesekét már nem éri el. Kérdés, hogy mi lehet ennek az oka? Egyrészt gondolhatunk a definícióváltásra, hiszen a felsőbb évesek körében már a bonyolultabb, szén-12-es izotópra vonatkozó definíció a követelmény, amely azonban sokak számára érthetetlen marad. Másrészt maga az értékelési rendszer is lehet oka az alacsony átlagoknak. Előfordult, hogy a tanuló válasza fejlettebb gondolkodásról árulkodott, de a rendszer miatt mégsem kaphatott több pontot. Megfigyelhető volt például, hogy a magasabb évfolyamokon a diákok igyekeztek ténylegesen az anyagmennyiséget definiálni a mértékegysége helyett. Nézzünk néhány törekvést!

- Az anyagmennyiség a tömeg és a moláris tömeg hányadosa.
- Az anyagmennyiség a részecskeszám és az Avogadro szám hányadosa.
- Az anyagmennyiséggel az anyagi rendszerek mennyiségét lehet megadni.
- Az anyagmennyiség megmutatja, hogy adott mennyiségű anyagban hány mólnyi részecske van.

Az első kettő felépítését tekintve hasonló, ezekkel a hányadosokkal számolnak a sztöchiometriai feladatokban. Mindkettő tartalmaz azonban egy moláris mennyiséget, amely már eleve feltételezi az anyagmennyiség fogalmának ismeretét, így segítségükkel az nem definiálható. A következő is a semmitmondó meghatározások közé került, és így az első kettőhöz hasonlóan 1 ponttal értékeltem. Az utolsó viszont 4 pontos volt, mert itt már megjelenik, hogy az anyagmennyiség mértékegysége a mól.

Mindezzel együtt elmondhatjuk, hogy bizonyos fogalmi fejlődés tetten érhető. Például, míg az alacsonyabb évfolyamokon az első típusú definíciót részesítik előnyben, addig a felsőbb évesek esetén már megjelenik a bonyolultabb, szén-12 izotópra vonatkoztatott meghatározás is. Igaz nem nagymértékben, így nem növeli az átlagot túlzottan, de mindenképpen utal fejlődésre. Másrészt a felsőbb évesek jobban érzékelik a különbséget az anyagmennyiség és mértékegysége, a mól között. Ezt bizonyítják az előzőleg leírt törekvések arra, hogy ne a mértékegységet, hanem magát a fogalmat definiálják.

3.4.6. Egy sztöchiometriai feladat megoldásának elemzése

Ebben a feladatban (11. feladat) Schmidt kutatásaihoz hasonlóan, egy egyszerű, két összetevőből álló vegyület összetételének számítása volt a feladat. Schmidt (1994, 1997) munkájából ismertek a következő stratégiák ilyen típusú sztöchiometriai problémák kiszámítására.

1-es stratégia (mól módszer)

1. A vegyület moláris tömegének kiszámítása:
 $M(\text{MgC}_2) = 48 \text{ g/mol}$
2. A vegyület anyagmennyiségének kiszámítása:
 $n(\text{MgC}_2) = 96 \text{ g} : (48 \text{ g/mol}) = 2 \text{ mol}$
3. Kiszámoljuk annak az elemnek az anyagmennyiségét, amelynek a tömegére kíváncsiak vagyunk:
 $n(\text{C}) = 2 \cdot n(\text{MgC}_2) = 4 \text{ mol}$
4. Az elem tömegének kiszámítása:
 $m(\text{C}) = (4 \text{ mol}) \cdot (12 \text{ g/mol}) = 48 \text{ g}$

2-es stratégia („hármasszabály”)

1. A vegyület moláris tömegének kiszámítása:
 $M(\text{MgC}_2) = 48 \text{ g/mol}$
2. A tömegek és moláris tömegek közötti egyenes arányosság felírása:
 $M(\text{MgC}_2) : 2M(\text{C}) = m(\text{MgC}_2) : m(\text{C})$
 $(48 \text{ g/mol}) : (2 \cdot 12 \text{ g/mol}) = 96 \text{ g} : m(\text{C})$
3. A kívánt tömeg kiszámítása:
 $m(\text{C}) = (96 \text{ g}) \cdot (2 \cdot 12 \text{ g/mol}) : (48 \text{ g/mol}) = 48 \text{ g}$

3-as stratégia (logikai módszer)

1. A moláris tömegek arányának felírása:

$$M(\text{Mg}) : M(\text{C}) = 24 : 12$$
2. Megadjuk a tömegek arányát, a moláris tömegek illetve az anyagmennyiségek arányainak segítségével.

$$M(\text{Mg}) : M(\text{C}) = 2 : 1 \text{ míg } n(\text{Mg}) : n(\text{C}) = 1 : 2 ,$$

$$\text{ezért } m(\text{Mg}) : m(\text{C}) = 1 : 1$$
3. A tömegek arányának megfelelően felbontjuk a vegyület tömegét:

$$98 \text{ g MgC}_2 = 48 \text{ g Mg} + 48 \text{ g C}$$

4-es stratégia (dimenzióanalízis)

$$x \text{ g C} = (96 \text{ g MgC}_2) \times [(1 \text{ mol MgC}_2) / (48 \text{ g/mol})] \times [(2 \text{ mol C}) / (1 \text{ mol MgC}_2)] \\ \times [(12 \text{ g C}) / (1 \text{ mol C})] = 48 \text{ g C}$$

(Ez a módszer Európában nem terjedt el széles körben, annak ellenére, hogy az Egyesült Államokban igen közkedvelt. A dimenzióanalízisről bővebben magyar nyelven A Kémia Tanítása című folyóiratban olvashatunk (Tóth, 2000a).)

A 29. táblázat vizsgálatom főbb eredményeit mutatja be. Fontosabb részleteit külön ábrák segítségével szemléltetem. Láthatjuk, hogy

- az életkor előrehaladásával nő a helyes választ adó („sikeres”), és csökken a nem válaszoló („nincs válasz”) tanulók száma. Kivételt képez ez alól a 11. évfolyam (29. ábra). (A 11. évfolyamon tapasztalt visszaesés a kémiaórák hiányával magyarázható.)
- A magyar diákok az iskolában tanult stratégiákat részesítik előnyben, különösen az 1-es, a mól módszert. Megjegyzem, hogy 34 magyar kémia tankönyv közül 24 tárgyalja sztöchiometriai feladatok megoldását: 11 a mól módszert (1-es stratégia), 3 a hármasszabályt (2-es stratégia) alkalmazza, és 10 könyv mindkét stratégiát bemutatja.
- A 3-as ún. logikai módszert alkalmazók száma nagyon alacsony, akár a teljes létszámhoz, akár a helyes választ adó tanulók számához viszonyítjuk.
- Az 1-es stratégiát alkalmazó tanulók száma a 2-essel dolgozókéhoz képest nő az életkor előrehaladtával, jelezve, hogy minél képzetebbek a tanulók kémiából, annál inkább előnyben részesítik a mól módszert még egyszerűbb sztöchiometriai problémák esetén is (30. ábra).

29. táblázat: A sztöchiometriai feladat megoldásának eredményei

Tanulók	N	Sikeres	Str 1	Str 2	Str 3	Ismeretlen	Nincs válasz
7. évf.	171	26%	23% ^a (41%) ^b 46% ^c	13% ^a (36%) ^b 73% ^c	2% ^a (7%) ^b 75% ^c	13% ^a (16%) ^b 32% ^c	49%
8. évf.	166	36%	23% ^a (45%) ^b 79% ^c	16% ^a (32%) ^b 73% ^c	2% ^a (7%) ^b 100% ^c	18% ^a (17%) ^b 33% ^c	44%
9. évf.	142	47%	35% ^a (66%) ^b 90% ^c	15% ^a (19%) ^b 62% ^c	3% ^a (7%) ^b 100% ^c	11% ^a (7%) ^b 31% ^c	36%
10. évf.	144	56%	42% ^a (62%) ^b 83% ^c	16% ^a (24%) ^b 83% ^c	4% ^a (6%) ^b 83% ^c	13% ^a (8%) ^b 33% ^c	26%
11. évf.	127	47%	39% ^a (63%) ^b 78% ^c	8% ^a (17%) ^b 100% ^c	5% ^a (10%) ^b 100% ^c	9% ^a (10%) ^b 50% ^c	39%
Összes	750	41%	31% ^a (57%) ^b 77% ^c	14% ^a (25%) ^b 75% ^c	3% ^a (7%) ^b 92% ^c	13% ^a (11%) ^b 35% ^c	39%

N: A teszt megírásában közreműködő tanulók száma.

Str 1: 1-es stratégia (mól módszer).

Str 2: 2-es stratégia (hármasszabály).

Str 3: 3-as stratégia (logikai módszer).

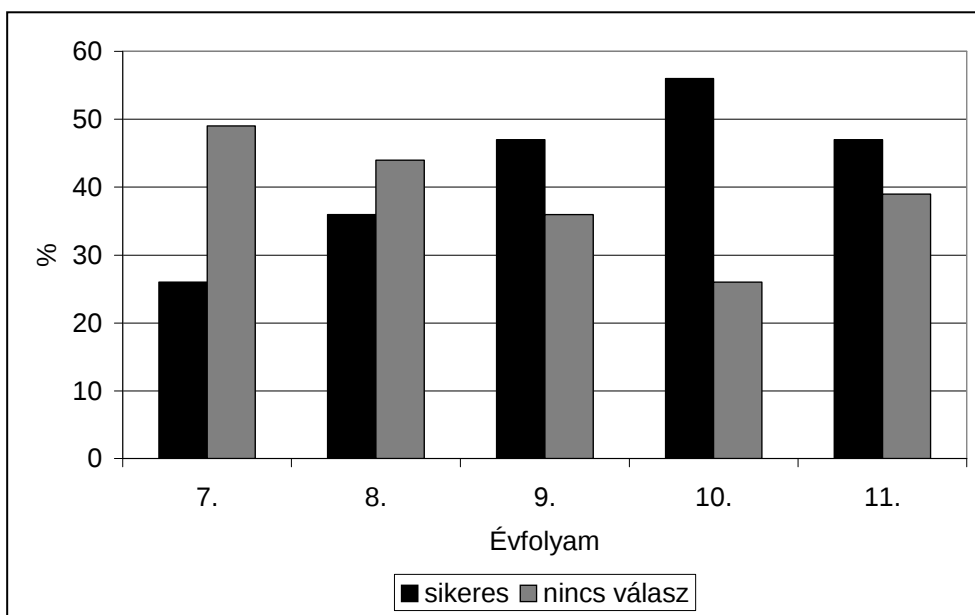
Ismeretlen: Azonosíthatatlan vagy kevert módszer.

Nincs vál: Nem válaszolt.

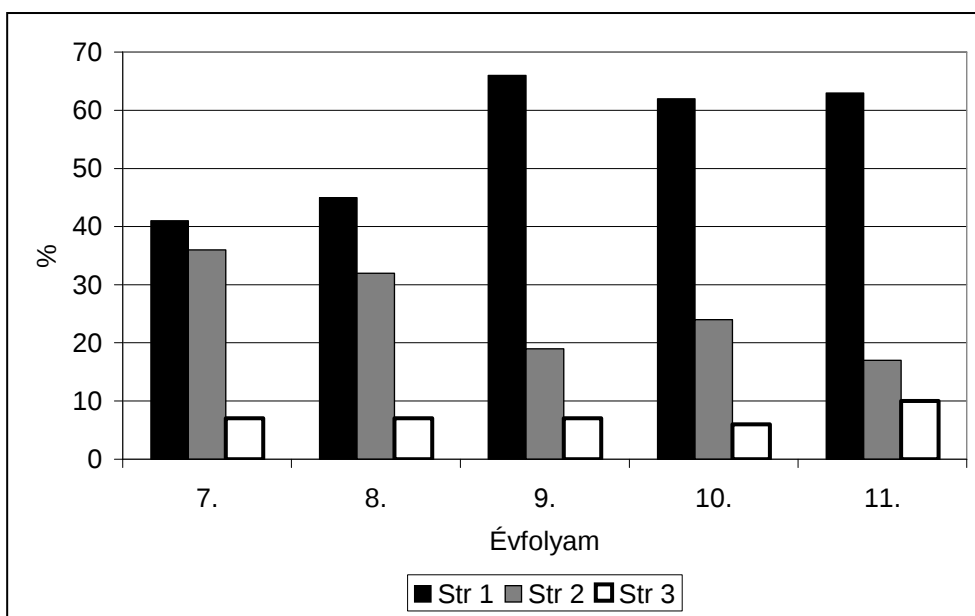
^a Az adott stratégiát alkalmazó tanulók száma/Teljes tanulói létszám – százalékban.

^b Az adott stratégiát alkalmazó tanulók száma/A feladatot sikeresen megoldó tanulók száma – százalékban.

^c A stratégia sikeressége.



29. ábra: A sikeres és nem válaszoló tanulók %-ban megadott aránya a teljes létszámhoz képest évfolyamonként



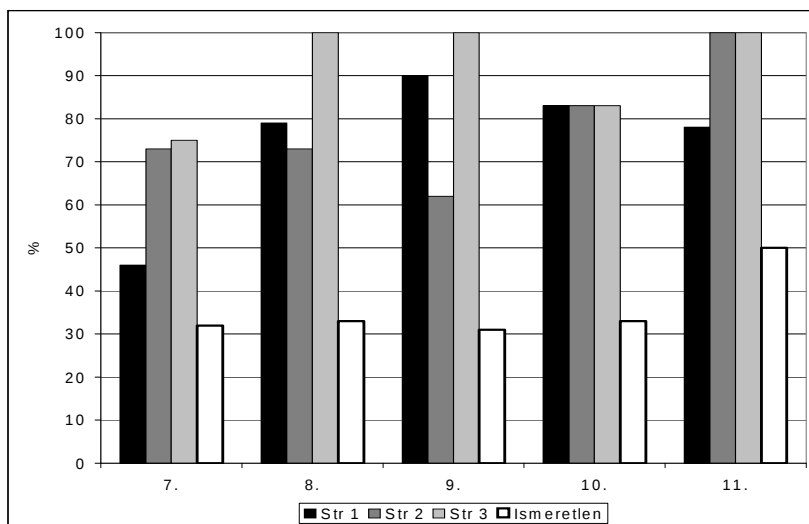
30. ábra: Az adott stratégiát alkalmazó tanulók %-ban megadott aránya a feladatot sikeresen megoldók számához képest évfolyamonként

Sajnos a tanulók 9-18%-a azonosíthatatlan vagy kevert módszerrel dolgozott. A 29. táblázatban megtalálhatjuk az ismert stratégiák sikerességét is, mely azt mutatja be, hogy az adott stratégiát használó diákok hány százaléka számolt jól. Az adatokból kitűnik, hogy az ismert stratégiák sikeressége sokkal nagyobb mértékű, mint az azonosíthatatlan módszereké. A legsikeresebb a 3-as stratégia, kár hogy csak kevesen alkalmazták. (31. ábra)

Különbség figyelhető meg a lányok és a fiúk stratégia választása között. A lányok sokkal gyakrabban használták a hármasszabályt, mint a fiúk. (A lány/fiú arány 2,16.) A fiúk relatíve nagyobb arányban alkalmazták a mól módszert, vagy dolgoztak azonosíthatatlan stratégiával, mint a lányok. (A lány/fiú arány 1,24 illetve 1.) (A χ^2 -próba szerint a lányok és fiúk közötti különbség $p=0,05$ szinten szignifikáns.)

Végül nem hagyhatunk figyelmen kívül két tapasztalatot.

- A tanulók egy része (13%) a problémát a magnézium és szén között végbemenő kémiai reakcióként értelmezte. Felírták a kémiai egyenletet, és annak segítségével próbálták meg kiszámolni a 96 gramm MgC_2 -ben a szén tömegét. Véleményem szerint ez annak a következménye, hogy a kémiai problémák megoldása során a kémia tanárok és tankönyvek kiindulási pontként a kémiai reakció felírását javasolják.
- A másik figyelemreméltó észrevétel, hogy a tanulók 14%-a (a válaszadók 23%-a) használta a C_2 jelölést a MgC_2 -ben lévő szén leírására. Ezek a tanulók egy egységnek tekintették a C_2 -t. Így azt választották, hogy 96 g MgC_2 48 g „ C_2 ”-t tartalmaz, vagy – néhány esetben – „48 g C_2 -t tehát 48:2 = 24 g C-t”. Szerencsére e tanulók száma a 7. évfolyamtól a 11. évfolyam felé haladva kevesebb, mint a felére csökken.



31. ábra: A stratégiák sikeressége

3.4.7. Összefoglalás

Az irodalom szerint nem csak a tanulóknak, de a tanároknak is vannak problémáik az anyagmennyiség fogalmának megértésével, márpedig a tanárnak jut a legfontosabb szerep a fogalmak átadásában, megtanításában. Sokan a tucatot használják analóg példaként a mól szemléltetéséhez, de az mégsem jó példa, mert a mól és a darab nem ugyanazt a fizikai mennyiséget fejezik ki. (A darab nem is fizikai mértékegység.)

Az anyagmennyiségnek éppúgy nincs elterjedt definíciója, mint az időnek vagy a hosszúságnak. Amikor az anyagmennyiség fogalmáról beszélünk, akkor a mértékegységének, a mólnak a meghatározását értjük alatta. (Ezért sok esetben az angolban sem az anyagmennyiség (amount of substance) fogalmáról beszélnek, hanem a mólról (mole concept)). A tanulók nagy része nincs tisztában az anyagmennyiség fogalmával, számos tévképzetrel rendelkeznek vele kapcsolatban. Megértési szintjük nagyon alacsony. Ennek az előbb említetten kívül az is oka lehet, hogy a tankönyvekben a mólnak kétféle definíciója van. Az egyik egy könnyebb, a hetedik évfolyamon tanított, a másik, egy nehezebb, melyet a kilencedik évfolyamon vezetnek be. Ez utóbbi ráadásul a relatív atomtömeg fogalmához hasonlóan a 12-es szénizotópra vonatkozik. Ez megteremti a téves asszociációt a tömeg és az anyagmennyiség között.

A felmérőlap eredményeit értékelve a következő tévképzeteket találtam:

- Az anyagmennyiség megmutatja az anyagban lévő atomok számát.
- Az anyagmennyiség azt mutatja meg, hogy 1 mol részecskének mekkora a tömege.

A sztöchiometriai feladatok megoldása mindig problémát jelent a tanulóknak. Így vagy nem is vesződnek a megoldásával, vagy ha megoldják, akkor valamilyen figyelmetlenség, tévképzet miatt nem jó az eredmény. A felmérőlapban szereplő egyszerű feladatot csak a tanulók egyharmada tudta helyesen megoldani. Az életkor előrehaladásával nőtt a helyesen válaszolók száma, míg ezzel párhuzamosan csökken a nem válaszolóké. Háromféle stratégiát tudtam azonosítani a tanulók megoldásai alapján: a „mól módszert”, a „hármasszabályt” és a logikai módszert. A diákok az iskolában tanult módszereket részesítik előnyben, különösen a mól módszert. Alkalmazási aránya az életkorral nőtt, és háttérbe szorította a „hármasszabályt”. A logikai módszert nagyon kevesen választották, pedig sikeressége jóval nagyobb volt, mint a többi stratégiáé. Általánosan megfigyelhető, hogy a lányok inkább a „hármasszabályt”, míg a fiúk a mól módszer mellett döntenek. Két érdekes megfigyelést tettem. Az egyik, hogy a tanulók 13%-a a feladatot a magnézium és szén közötti kémiai reakció felírásával próbálta megoldani. A másik, hogy a tanulók 14%-a a MgC_2 -ban lévő szenet egy egységnek tekintette és C_2 -vel jelölte, ami a megoldásra vonatkozóan félreértéshez vezetett.

Az anyagmennyiséggel kapcsolatos megértési problémák az előzőeken kívül azért is merülnek fel, mert sok esetben a szakemberek sem jutnak közös

nevezőre bizonyos pontokban. Így ellentmondást fedezhetünk fel a tankönyvek szerzőinek álláspontja között, például a jelölésben. Az egyik szerint (*Kecskésné és Rozgonyiné*, 1997) az Fe vegyjel a következőket jelenti: vas, vasatom (1 vasatom), 1 mol vas, $6 \cdot 10^{23}$ db vasatom és 56 g vas. A másik szerint (*Nadrainé és Vargáné*, 1996) óriási különbség van a következő két jelölés között: 1 Fe és 1 mol Fe. Éppen annyi, mint 3 alma és 3 kg alma között. Ezek után azonban az is kérdésessé válik, hogy a kémiai egyenletet hogyan értelmezhetjük, hiszen ott nem szokás kiírni a mol mértékegységet, pedig a reakció nem néhány, hanem több mol részecske között megy végbe. Ugyanígy vitát vált ki az a kérdés, hogy milyen anyagi rendszernek lehet megadni az anyagmennyiségét. Igaz ugyan, hogy a definíció meghatározza, hogy milyen részecskék esetén lehet alkalmazni, de akkor nem beszélhetünk 1 mol kémiai reakcióról sem, pedig a termokémiai egyenlethez tartozó energiaváltozást eszerint értelmezzük. Ezt követően azonban a bátrabbak és a filozofikus alkatúak bármilyen rendszer anyagmennyiségét meg tudják mondani, melyben az elemek (a halmaz elemei) megszámlálhatók. Az más kérdés, hogy sokszor ennek nincs sok értelme.

Végezetül azt a tényt is fel kell sorolni az okok között, hogy az anyagmennyiség szónak a magyar nyelvben van általános jelentése („az anyag mennyisége”), mely nem csak mólból mérhető, és ez megnehezíti pontos használatát a kémiában.

3.5. Az elem, vegyület és keverék fogalmával kapcsolatos felmérés részletes értékelése

Az elem, vegyület és keverék fogalmak az előzőekhez hasonlóan a kémia tudományos alapfogalmai közé tartoznak, azaz a tanulók először az iskolában ismerkednek meg velük, 7. osztályban. Ezt megelőzően az elem szóval több értelemben és más vonatkozásban találkozhatnak már, míg a keverék szó jelentése a keverni valamit igéhez kötődik. A D felmérőlap e fogalmakkal kapcsolatos tévképzetek feltárását szolgálta.

3.5.1. Irodalmi előzmények

E három fogalom segítségével az anyag lehetséges felépítését írjuk le, melynek összetétele mellett fontos jellemzője annak halmazállapota. A tanulóknak középiskolai kémiai tanulmányaik végére rendelkezniük kellene azzal a képességgel, hogy a részecskék és a köztük lévő kölcsönhatások minőségéből következtetni tudjanak az anyag makroszkopikus tulajdonságaira. Sajnos a tapasztalat azonban azt mutatja, hogy a gyerekek nagyon nehezen tudják összekapcsolni a kétféle szintet. Így például a különböző halmazállapotú anyagok

osztályozásakor inkább azok fizikai viselkedését veszik figyelembe, mintsem az anyag felépítésének részecske elméletét (Stavy és Stachel, 1985). A gázok tulajdonságait csak 9.-ben kezdik magyarázni az anyag részecske természetével (Stavy, 1988).

Az anyag változásainak megértéséhez makroszinten a tiszta anyag, elem, vegyület és keverék, szubmikroszinten az atom, molekula és ion fogalmak, valamint ezek kapcsolatának ismerete elengedhetetlen. Del Pozo (2001) a szakirodalmi tanulmányok alapján az alábbi következtetéseket vonta le.

- A tanulók nagy mennyiségű tapasztalattal rendelkeznek az anyaggal kapcsolatban, de annak inkább külső megjelenését, mennyiségét, halmazállapotát határozzák meg anélkül, hogy megfigyeléseiknek kémiai jelentőséget tulajdonítanak.
- Nem tudnak különbséget tenni tiszta anyag, elem, vegyület és keverék között. A két leggyakoribb fogalomtársítás a tiszta anyag – elem, és vegyület – keverék páros.
- Gyakran átveszik a mindennapi nyelvhasználatot, például a tiszta tej lesz a tiszta anyag, a víz pedig egy elem.
- Az atom és molekula fogalmak ismertek a tanulók számára, de alig válik külön a jelentésük, és általában a kis mérettel és az anyagot felépítő résszel hozzák kapcsolatba.
- A tanulók egy része az elemet kizárólag atomokból, a vegyületet pedig molekulákból felépülő anyagként kezeli.

Ayas és Demirbas (1997) olyan hétköznapi anyagok besorolását vizsgálták összetételük szempontjából, mint levegő, sós víz, tiszta víz, fémréz. A török középiskolások nem tudták alkalmazni kémiai ismereteiket ebben az újszerű összefüggésben, azaz nem tudták a mindannyiuk által jól ismert anyagokat az elemek, vegyületek és keverékek közé helyesen besorolni.

Del Pozo (2001) leendő kémia tanároknak az anyag összetételéről alkotott elképzeléseit vizsgálta fogalmi térkép segítségével. 4 kategóriába tudta besorolni az elkészült térképeket, melyek a következő általános jellemzőkkel rendelkeztek.

- Helyes makro- és szubmikroszintű kapcsolatok, de az elem-atom fogalmak asszociációjával.
- Helyes makroszintű kapcsolatok, de nem tartalmazzák a keverék fogalmát, viszont megtalálható bennük az elem-atom, és vegyület-molekula fogalmak társítása.
- Más egyéni kapcsolatok jelenléte.
- Nincs semmiféle kapcsolat a fogalmak között.

E tévképzetek okaként említi az érzékelés befolyását, a mindennapi nyelv és a kulturális környezet közötti kölcsönhatást, a fogalmak absztrakt jellegét, és a tananyag hatását, melyből hiányzik ezeknek a fogalmaknak egy gyakorlatiasabb feldolgozása, mely elsődlegesen lehetővé tenné a megkülönböztetésüket, és megfelelő modelleket használna.

Onwu és Randall (2006) rávilágítanak arra a tényre, hogy megfelelő modell nélkül nagyon nehéz az anyag részecske természetéről tanulni, és következetesen használni azt. Ráadásul a modellek gyakran csak bizonyos tulajdonságok bemutatására alkalmasak, és előfordulhat, hogy más jellemzőket eltorzítanak. A szerzők egyszerű rajzokat használnak részecske modellként. A rajzokon látható atomok és molekulák segítségével kell azonosítaniuk a vizsgált tanulóknak az anyag összetételét, majd azon is el kell gondolkodniuk, hogy egy fizikai illetve kémiai folyamatban mely anyagok hogyan vehetnek részt. Legnagyobb mértékben az a tévképzet jelenik meg, hogy tiszta anyagként az ábrák alapján csak az elemeket azonosítják, a vegyületeket nem. Még nagyobb problémát jelentett azonban részecske szinten elképzelni a makroszkopikus folyamatokat. A nehézség hátterében a fogalmak túl gyors bevezetését látják, mely megakadályozza a többszörös fogalmi váltást, ami pedig mindenképpen szükséges lenne a helyes tudományos ismeret elsajátításához.

Ugyancsak részecskeábrákat alkalmazott Stains és Talanquer (2006, 2007) hasonló feladatokban. Arra voltak kíváncsiak, hogy milyen ismeretek alapján kategorizálják a különböző kémiai előképzettséggel rendelkező egyetemi hallgatók, illetve a már diplomával rendelkezők a részecskéket megjelenítő rajzokat. Del Pozohoz hasonlóan ők is arra a következtetésre jutottak, hogy az atom és elem, valamint a molekula és vegyület fogalmak között igen erős az asszociációs kötelék és ezért a vizsgált alanyok a molekuláris összetételű elemeket (A_2 , F_4) a vegyületek közé sorolják. Az erős asszociáció ahhoz vezet, hogy a hallgatók igyekeznek lecsökkenteni azon jellemzők számát, melyeket figyelembe kellene venni az anyagok megkülönböztetése során. Emiatt előtérbe helyezik a molekuláris szerkezet jelenlétét a kémiai összetétellel szemben. Ugyanakkor nem rendelkeznek megfelelő ismeretekkel ahhoz sem, hogy a vegyületeket megkülönböztessék a keverékektől. Ez azt vonja maga után, hogy irreleváns jellemzőknek túl nagy figyelmet szentelnek, és a kezdő kémikusok például úgy gondolják, hogy a vegyületeket a különböző elemek azonos arányban építik fel, és ha az anyagot felépítő részecskék között kémiai kötés van, akkor az biztosan vegyület (ld. A_2). A legnagyobb meglepetést mégis az az eredmény okozta, hogy ez utóbbi tévképzetnek az aránya párhuzamosan nő az előképzettséggel, azaz a diplomások körében a legelterjedtebb. Ennek okaként azonban nem a korábbi preconcepciók újjáéledését jelölik meg, hanem inkább arra gyanakodnak, hogy a képzés erősíti meg ezt a tévképzetet.

Az bizonyos, hogy a részecskeábrák nagyon fontos szerepet töltenek be az anyag szerkezetének bemutatásában szubmikro szinten. Számos kutatásban, különböző területeken alkalmasak voltak a tanulók fogalmainak feltárására és fejlesztésére (Briggs és Holding, 1986; Gabel és mtsai, 1987; Laverty és McGarvey, 1991; Barker, 1995; Taber, 2002; Sanger, 2005). Nurrenbern és Pickering (1987) a hagyományos sztöchiometriai feladatok mellett részecskeábrák segítségével tettek fel fogalmi kérdéseket gázokra vonatkozóan, és azt tapasztalták, hogy a tanulók képesek úgy megoldani a feladatokat, hogy valójában nincsenek

tisztában a gázok természetével. *Johnson* (1998) longitudinális vizsgálata során a diákok maguk rajzoltak részecskeábrákat az interjúkon, és ezek elemzése lehetőséget adott az alternatív fogalmak feltárására és azok változásának követésére. A tanulók munkái alapján *Johnson* négyféle részecskemodellt azonosított a folytonos anyagétól a tudományosan elfogadottig. Végül meg kell említenünk *Sanger* (2000) munkáját, melyben öt ábrát kellett azonosítani halmazállapot, fizikai összetétel és kémiai összetétel alapján. A szerző interjúk segítségével próbálta felderíteni, hogy a tanulók milyen stratégiák alapján dolgoznak, majd a legsikeresebb eljárást be is építette egy oktatási órába, és ennek hatását vizsgálta kontrollcsoport segítségével. Felmérőlapom utolsó feladatában ezeket az ábrákat használtam fel hasonló céllal, de csak a lehetséges azonosítási stratégiák feltárására vállalkoztam.

3.5.2. Kutatási kérdések

- Milyen definíciókat fogalmaznak meg tanulóink az elem, vegyület, és keverék fogalmakkal kapcsolatban?
- Mennyire értik ezeket a fogalmakat?
- Milyen tévképzetek vannak e fogalmakkal kapcsolatban?
- Képesek-e különbséget tenni az atom, molekula, elem, és vegyület fogalmak között, és azokat megfelelő szinten értelmezni?
- Tudják-e értelmezni a tanulók a részecskeábrákat, és képesek-e azok alapján felismerni az anyag halmazállapotát, fizikai illetve kémiai összetételét?
- Milyen osztályozási stratégiák és milyen tévképzetek jelennek meg a részecskeábrák azonosítása során?
- Van-e különbség az eltérő életkorok között a tudásstruktúra tekintetében?

3.5.3. Az elem, vegyület és keverék tanulói definícióinak elemzése

Az első feladat az előző felmérőlapokhoz hasonlóan egy nyílt végű kérdés volt, ahol az elem, vegyület és keverék definícióját kellett megfogalmazni. Először a hatfokú skála segítségével értékeltem a válaszokat. A 30 - 32. táblázatok a pontok évfolyam szerinti megoszlását mutatják az elem, vegyület és keverék fogalmak esetén. A 33 - 35. táblázatok tipikus tanulói válaszokat tartalmaznak. Az 5 pontos egyben az általam elfogadott definíciókat jelenti.

30. táblázat: Az elemre adott tanulói válaszok pontjainak évfolyam szerinti megoszlása %-ban

	0	1	2	3	4	5
7. évf.	24	3	15	30	24	4
8. évf.	16	3	22	26	29	4
9. évf.	26	2	27	31	11	3
10. évf.	20	3	34	25	15	3
11. évf.	27	2	25	31	13	2
összes (átlag)	22	3	24	29	19	3

31. táblázat: A vegyületre adott tanulói válaszok pontjainak évfolyam szerinti megoszlása %-ban

	0	1	2	3	4	5
7. évf.	27	3	19	16	24	11
8. évf.	20	5	24	13	33	5
9. évf.	35	0	27	13	21	4
10. évf.	18	3	38	12	27	2
11. évf.	27	5	39	6	23	0
összes (átlag)	26	3	28	12	26	5

32. táblázat: A keverékre adott tanulói válaszok pontjainak évfolyam szerinti megoszlása %-ban

	0	1	2	3	4	5
7. évf.	25	2	20	20	20	13
8. évf.	23	3	18	27	21	8
9. évf.	30	2	22	17	25	4
10. évf.	17	3	21	34	22	3
11. évf.	26	6	22	30	16	0
összes (átlag)	25	3	20	25	21	6

33. táblázat: Az elem fogalmára adott tanulói válaszok

Pont	Tanulói válasz
5	Azonos protonszámú atomok halmaza. A legegyszerűbb anyag, melyet nem lehet kémiai eljárással egyszerűbb anyagokká bontani.
4	Azonos atomokból felépülő anyag. Kémiai eljárással nem bontható egyszerűbb anyagokká.
3	Azonos atomokból épül fel. Olyan egyszerű anyag, mely azonos molekulákból áll.

2	Semleges kémiai részecske.
	Azonos atomból álló molekula.
1	Vannak alkotóelemek, amikből felépül valami.
	Elektromos áram tárolására alkalmas elektronikai termék.
0	Nem tudom.
	Nincs válasz.

34. táblázat: A vegyület fogalmára adott tanulói válaszok

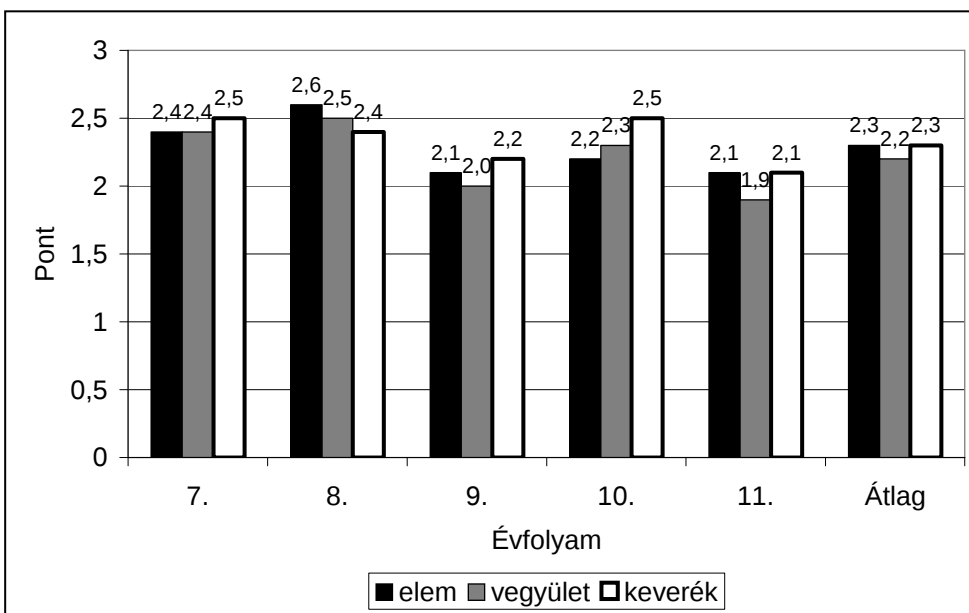
Pont	Tanulói válasz
5	Olyan kémiailag tiszta anyagok, amelyek kémiai eljárással tovább bonthatók.
	Kémiai változással felbontható összetett anyag.
	Olyan összetett anyag, amelyben az összetevők aránya állandó.
4	Különböző atomokból épülnek fel, bennük az alkotók száma állandó és meghatározott.
	Egyszerűbb anyagokká bonthatók.
	Olyan összetett anyag, amely olyan molekulákból épül fel, melyek többféle atomot tartalmaznak.
3	Alkotói kémiai eljárással választható szét. Az alkotórészek aránya állandó, összetevőik megőrzik eredeti tulajdonságaikat
	Csak kémia eljárással bonthatók, benne az alkotórészek alapvető tulajdonságai megváltoznak, különböző molekulák alkotják.
	Több vagy két anyagból felépülő kémiai eljárással egyszerűbb anyagokká bontható rendszer
2	Különböző atomokból felépülő molekula
	Két anyag összeöntéséből származó harmadik anyag
	Anyagok egy másik anyag hatására kémiai reakcióba lépnek egymással. Az anyagok tulajdonságai megváltoznak
1	Az anyagok egymással oldódnak
	A vegyületek kémiailag keverednek.
0	Nem tudom.
	Nincs válasz.

35. táblázat: A keverék fogalmára adott tanulói válaszok

Pont	Tanulói válasz
5	A keverékek összetett anyagok. Különböző elemekből és vegyületekből állhat. Fizikai módon szétválaszthatók.
	Olyan anyag, melyben elemek és vegyületek találhatók, nem meghatározott arányban.
4	Különböző részecskékből épülnek fel. Fizikai eljárással elválaszthatók.
	Kémiai anyagok többsége, amelyek nem tiszta anyagok.

	Több kémiailag tiszta anyagból áll.
	A benne lévő összetevők eredeti tulajdonságaikat megőrzik.
3	Többféle elem keveréke, melyeknek aránya állandó.
	Különböző molekulákból felépülő halmaz.
	Alkotók fizikai eljárással szétválaszthatók, az alkotórészek aránya nem állandó, összetevői eredeti tulajdonságaikat elveszítik
2	Két vagy annál több anyag reakcióba lépésének eredménye.
	Mesterségesen állítható elő.
	Benne az alkotórészek aránya állandó.
1	Több anyagból áll, a részecskék kitöltik a rendelkezésre álló teret.
	Az anyagok egymással nem oldódnak.
	Két különböző anyag egy helyen.
0	Nem tudom.
	Nincs válasz.

A pontok alapján számolt átlagokat évfolyamonként a 32. ábra mutatja be. Két fontos tény látható. Az egyik az átlagok alacsony értéke. A másik, hogy ezek az értékek hasonló tendenciákat mutatnak mindhárom fogalom esetén.



32. ábra: A hatfokú skála alapján számolt átlagok évfolyamonként

Összességében elmondható, hogy makroszkopikus fogalmakról lévén szó, azok az évfolyamok értek el jobb átlagokat, ahol hasonló témát tanulnak. Ilyen nyolcadikban a szervetlen kémia és tizedikben a szerves kémia. Az átlagok 2 és 2,5

között vannak, amely a hagyományos tanári gyakorlat szerint nem túl magas, de figyelembe véve, hogy itt 0 pontot kaptak a nem válaszolók, tulajdonképpen közepesnek tekinthető a megértési szint. A varianciaanalízis szerint szignifikáns különbség csak az elem és vegyület fogalmak esetén mutatható ki a 8. és 9., valamint a 8. és 11. évfolyam eredményei között. A legjobb átlagot a nyolcadikosok érték el, az ő fogalmi megértésük a legfejlettebb, sajnos a nagyobbak visszaesést mutatnak. A keverék esetén a 7. és 8. évfolyam közel azonos átlagot produkált, míg a tizedikeseké a legnagyobb. Az évfolyamok között azonban itt nincs szignifikáns különbség.

A definíciókat tartalmi elemzésnek is alávettem aszerint, hogy melyek a leggyakrabban megjelenő válaszelemek és ún. válaszelem-kategóriákat hoztam létre. A 36 - 38. táblázatokban az adott választ adó tanulók száma és százalékos előfordulása látható.

36. táblázat: Az elemre adott tanulói definíciók válaszelem-kategóriái

	Válaszelem-kategória	%
1.	Azonos atomokból felépülő anyag	10,5
2.	Azonos atomokból épül fel.	10,0
3.	Kémiai részecske.	5,8
4.	A periódusos rendszer alkotója.	5,7
5.	Valamilyen részecskéből épül fel (atom, molekula).	5,7
6.	A legkisebb alapegység.	3,6
7.	Azonos atomokból épül fel, egyszerű anyag.	3,4
8.	A természetben is előforduló anyag.	3,1
9.	Kémiai részecske, azonos atomokból felépülő molekula.	2,4
10.	Atom.	1,7

37. táblázat: A vegyületre adott tanulói definíciók válaszelem-kategóriái

	Válaszelem-kategória	%
1.	Kémiai eljárással tovább bontható.	19,1
2.	Az alkotórészek aránya állandó.	12,0
3.	Különböző atomokból épül fel.	10,7
4.	Két vagy több elemből alkotott anyag.	10,4
5.	Keverék/Anyagok keveredése által jön létre.	7,8
6.	Összetett anyag.	6,1
7.	Kémiai kötések által jön létre.	4,0
8.	Az alkotók elvesztik eredeti tulajdonságaikat.	3,0
9.	Kémiai reakció során alakul ki.	2,4
10.	Kémiailag tiszta anyag.	2,0

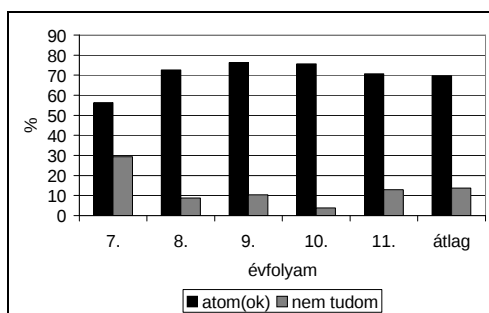
38. táblázat: A keverékre adott tanulói definíciók válaszelem-kategóriái

	Válaszelem-kategória	%
1.	Két vagy több különböző anyagból, elemből vagy vegyületből áll.	32,8
2.	Anyagok keveréke/keverésével jön létre.	17,0
3.	Fizikai úton összetevői szétválaszthatók.	16,2
4.	Két vagy több különböző részecske (atom, molekula) építi fel.	11,4
5.	Az alkotórészek aránya nem meghatározott.	8,4
6.	Összetett anyag.	6,3
7.	Az alkotórészek megőrzik eredeti tulajdonságaikat.	4,0
8.	Az összetevők között kémiai reakció nem megy végbe.	3,0
9.	Az alkotórészek között nem alakul ki kémiai kötés.	1,9

Összesen a tanulók 13,5 %-a rendelkezik azzal a tévképzettel, hogy az elem valamilyen részecske. A vegyület és a keverék esetében megfigyelhető a tankönyvek definícióinak megjelenése. Az azokban szereplő válaszelemek azonban az életkor előrehaladásával általában egyre kisebb arányban fordulnak elő. Az is érzékelhető, hogy a tanulók nagyon nehezen tudnak különbséget tenni közöttük. Mindkét esetben többször használják például a keverés folyamatát a megfogalmazásokban. A többféle részecske jelenléte meghatározóvá válik, de csak nagyon ritkán írják le azt is, hogy milyen körülmények között, tehát, hogy milyen részecskéről van szó, vagy hogy van-e kémiai kötés közöttük.

3.5.4. Egy, az anyag felépítésével kapcsolatos feladat megoldásának elemzése

Az ötödik feladatban 12 hiányos mondatot kellett kiegészíteni, előre megadott szavakból kiválogatva a helyes megoldást. A megadott szavak: *atom, atomok, molekula, molekulák, elem, elemek, vegyület, vegyületek*. Emellett, ha a tanuló úgy érezte, hogy az adott helyre nem hiányzik semmi, akkor ezt kihúzással jelölhette, vagy üresen hagyhatta a kipontozott helyet, ha nem tudta a megfelelő választ.



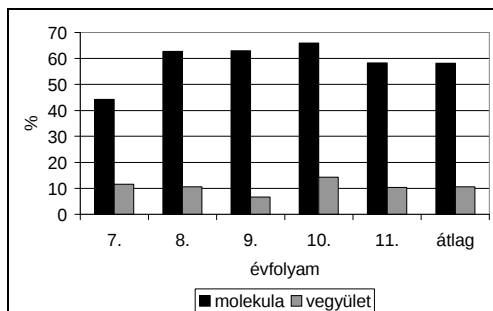
33. ábra: Az 5. feladat első mondata első részének eredménye
keletkezik.

A feladat segítségével kimutatható az irodalomban már leírt néhány tévképzet jelenléte. Általában megfigyelhető, ahogy korábban is, hogy az életkor előrehaladásával javulnak az eredmények, azonban 11.-ben visszaesés mutatkozik.

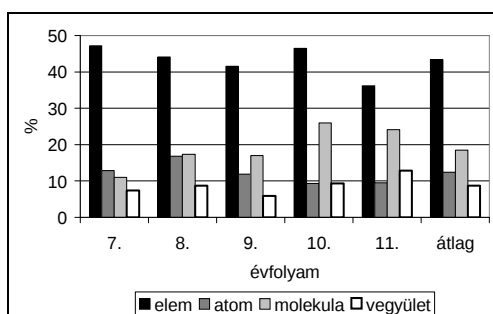
Az első mondat:

A kovalens kötés eredményeként néhány meghatározott számú összekapcsolódásával

Az első helyre a többség helyesen írta be az *atom/atomok* szót. Nyelvtanilag ugyan helytelen a többes szám használata, de tartalmilag helyes volt a megoldás, így a két válasz együttes eredményét számoltam, ami 69,8%-os előfordulást jelentett (33. ábra). Több, mint 10% egyáltalán nem tudta, hogy mit írjon be.

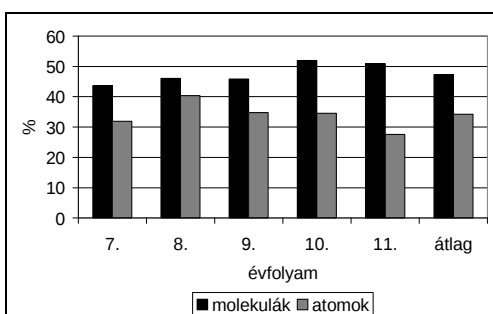


34. ábra: Az 5. feladat első mondata második részének eredménye



35. ábra: Az 5. feladat második mondatának eredménye

sőt a *vegyület* is közelíti a 10%-ot (35. ábra).



36. ábra: Az 5. feladat harmadik mondatának eredménye

A második helyen már nem volt ilyen egyértelmű a helyzet. A helyes megoldás a *molekula* volt, de mellette 10%-ot meghaladó arányban jelent meg a *vegyület* is (34. ábra). Meg kell említenünk, hogy 7.-ben nagy volt a bizonytalanság, amit a *nem tudom* lehetőség választása jelzett mindkét helyen kb. 30%-ban.

A második mondat:

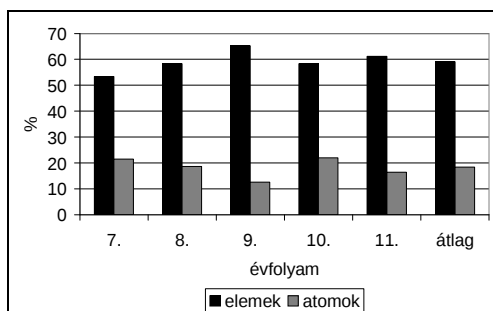
Ha a vizet elektromos árammal bontjuk (elektrolizáljuk), akkor kétféle keletkezik.

A második mondatba attól függően, hogy makro- vagy részecske szinten gondolkodunk, az *elem* és a *molekula* szó illik. Az elemet a tanulók több, mint 40%-a tudta, a molekulát már fele ennyien sem jelölték. Nagy gyakorisággal fordul elő azonban az *atom* szó is,

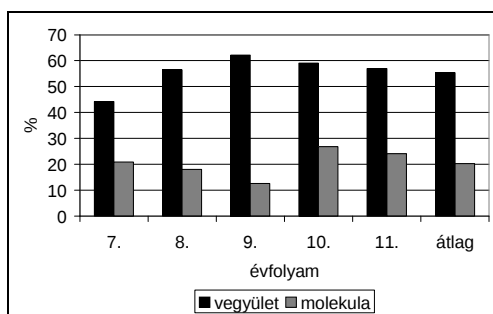
A harmadik mondat:

A szilárd jó melegítésekor lilás színű gőz keletkezik, melyben jó vannak.

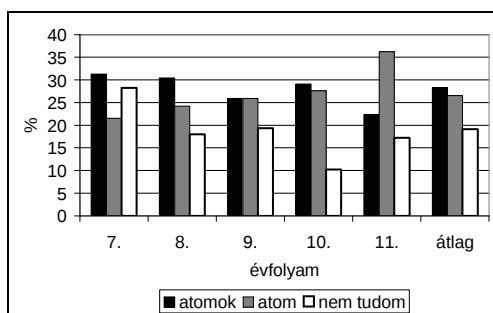
A harmadik mondat hibás megoldása, az *atomok*, a tanulók anyagszerkezeti ismereteinek hiányából eredhet. Igen jelentős mértékben (kb. 30%) fordul elő a helyes *molekulák* szó mellett (36. ábra).



37. ábra: Az 5. feladat negyedik mondatának eredménye



38. ábra: Az 5. feladat ötödik mondata első részének eredménye



39. ábra: Az 5. feladat ötödik mondata második részének eredménye

A negyedik mondat:

Az az egyszerű anyagok közé tartoznak.

Itt a többség tudta, hogy az *elemek* a helyes megoldás, de még mindig sokan választották az *atomokat*, mely arra utal, hogy a két fogalom nem differenciálódik a tanulók fogalmi rendszerében (37. ábra). Kezdetben úgy tűnik, hogy az életkor előrehaladásával jobb lesz a helyzet, de sajnos 10. osztályban újra megnő a tévképzet aránya.

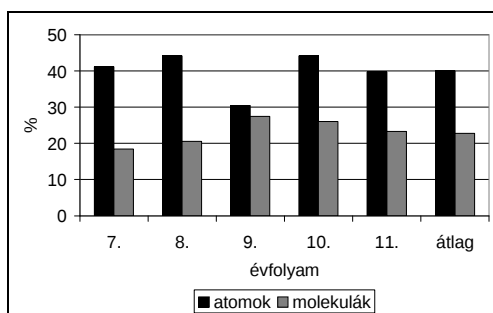
Az ötödik mondat:

A SiO_2 összegképletű felépítésében szilícium és oxigén vesznek részt.

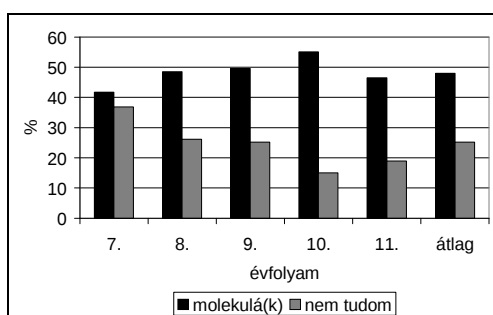
Az első kipontozott helyen a *vegyület* volt a helyes megoldás, viszont sokan jelölték a *molekulát* is. Korábban már előfordult, hogy a *molekula* helyett a *vegyület* fogalmát használták tanulóink, de akkor a különböző értelmezési szintek keverése miatt alakult ki a tévképzet. Most fordított a helyzet, a *vegyület* helyett alkalmazzák a *molekula* szót, de anyagszerkezeti ismeretek hiányában. Nem tudják, hogy a SiO_2 atomrácsos szerkezetű és az összegképlet alapján molekuláris felépítésűnek gondolják. A tévképzet aránya nagy, 20% (38. ábra). A második

és harmadik helyre egyöntetűen az *atomok* szó illik. A második helyre viszonylag sokan írták az *atomot*, melynek aránya az életkor előrehaladásával nő (39. ábra).

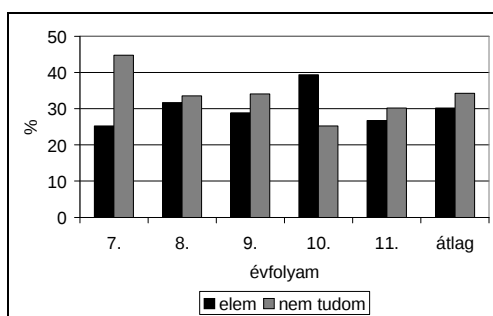
Ennek a tévképzetnek az oka kettős. Vagy tévesen a molekula felépítését tekintve írták be az atomot egyes számban, hisz egy molekula felépítéséhez az összegképlet



40. ábra: Az 5. feladat ötödik mondata harmadik részének eredménye



41. ábra: Az 5. feladat hatodik mondata első részének eredménye



42. ábra: Az 5. feladat hatodik mondata második részének eredménye

alapján egy atom lenne szükséges. De az is előfordulhat, hogy azt nem vették figyelembe, hogy a vegyület sok atomból épül fel.

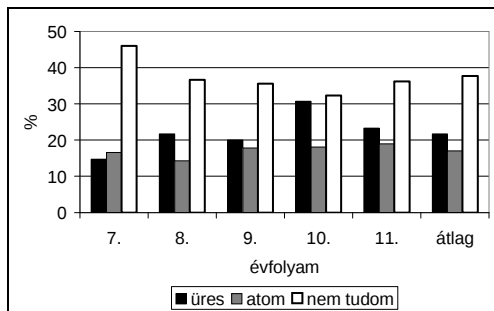
Ennél a résznél feltűnően nagy mértékű volt a bizonytalanság, mely *nem tudom* választ eredményezett üresen maradt kipontozott helyekkel. A harmadik résznél a tévképzetet a *molekulák* szó beírása mutatta (40. ábra), mely teljes félreértésre utal, hisz az oxigén nem molekula formájában vesz részt a vegyület felépítésében. Ráadásul meglepő módon éppen kilencedikben, amikor anyagszerkezettel foglalkoztak tanulóink, a jó megoldás előfordulási százaléka szignifikánsan lecsökken. A *molekula* szó választása is egyedül itt haladta meg a 10 %-ot.

A hatodik mondat:

Az O_3 és az O_2 egyazon, az oxigén részecskéi.

Az első helyen a jó megoldás a *molekula* vagy *molekulák*. Itt az összetétel miatt várhatnánk az *elem* szó megjelenését is, de választása egyedül a 11. évfolyamon haladja meg a 10 %-ot. Ehelyett nagyfokú bizonytalanság figyelhető meg, amely a helyes válasz arányának növekedésével csökken (41. ábra). A második helyre az *elem* szót kellett beírni, ez azonban még több problémát okozott. Átlagosan az adott helyre

semmit nem írók voltak többségben (42. ábra). Az utolsó részt pedig ki kellett húzni, ha el akartuk kerülni a szóismétlést. Az *elem* szó ugyanis az egyetlen, ami ide is megfelel. Ehhez képest változatos válaszok születtek (43. ábra). Az *atom* szó



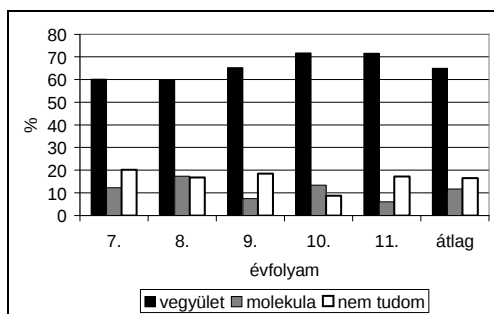
43. ábra: Az 5. feladat hatodik mondata harmadik részének eredménye

mellett a *molekula* is megjelent a 9. és 11. évfolyamon 10%-ot meghaladó arányban. Ennél a részfeladatnál volt a legnagyobb mértékű a bizonytalanság is.

A hetedik mondat:

Az összetett anyagok közé tartozik a

Az egyik legegyszerűbb feladat, ahol a *vegyület* mellett átlagosan több, mint 10%-ban a *molekulát* is választották (44. ábra). A *molekula* anyagi halmazként való kezelése bizonyítja a fogalmi zavart.

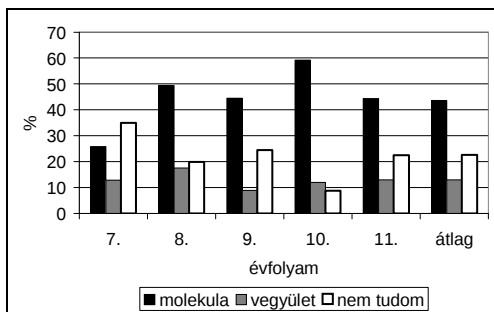


44. ábra: Az 5. feladat hetedik mondatának eredménye

A nyolcadik mondat:

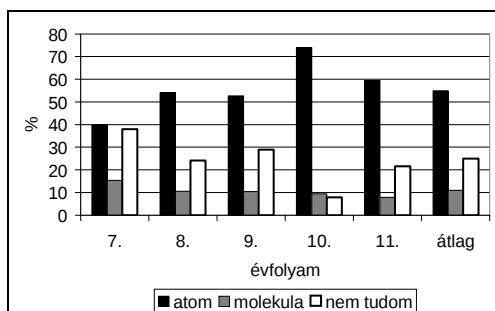
Az ammónia alakja háromszögalapú piramis, és benne valamennyi hidrogén egyvegyértékű.

Ebben az összefüggésben az előzővel ellentétben, a *molekula* szó helyett a *vegyületet* írták be néhányan, nem törődve azzal, hogy a *vegyület* alakját ilyen módon nem értelmezzük (45. ábra).

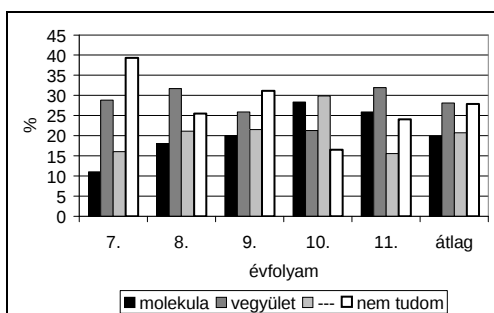


45. ábra: Az 5. feladat nyolcadik mondata első részének eredménye

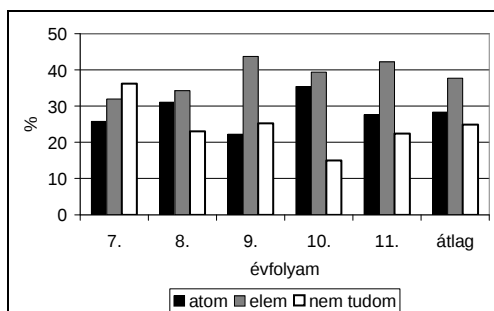
A második részben az első részhez hasonlóan a 10. évfolyam érte el a legjobb eredményt. Az életkor előrehaladásával csökken a *nem tudom* válasznak és annak a tévképzetnek az aránya, hogy az ammónia molekuláját hidrogén molekulák alkotják (46. ábra).



46. ábra: Az 5. feladat nyolcadik mondata második részének eredménye



47. ábra: Az 5. feladat kilencedik mondata első részének eredménye

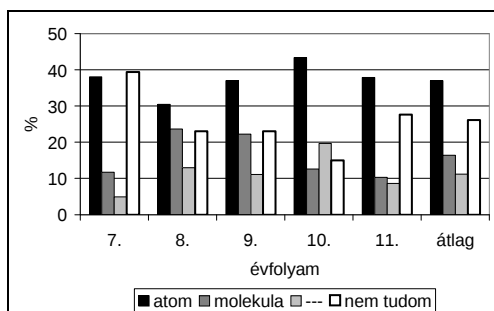


48. ábra: Az 5. feladat kilencedik mondata második részének eredménye

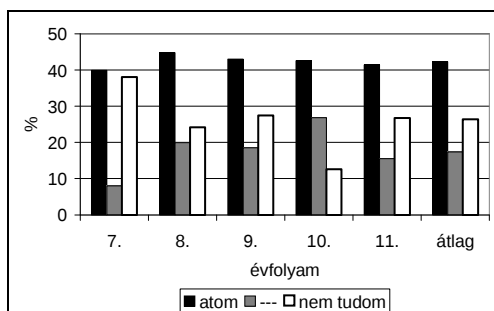
A kilencedik mondat:

A kénsav felépítésében
háromféle vesz részt:
hidrogén, kén, és
oxigén

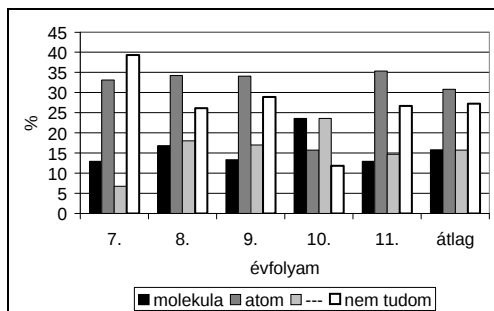
Ennél a mondatnál mindhárom az irodalomban már említett fogalomtársítást megfigyelhetjük. A mondat első részében a molekula-vegyület (47. ábra), második részében az atom-elem (48. ábra), míg a további helyeken az atom-molekula páros jelenik meg. Az utolsó három helyen nagyon hasonló eredmények születtek, ezért csak az elsőre vonatkozó ábrát mutatom be (49. ábra). Mindeközben végig nagy mértékű a *nem tudom* válasz jelenléte (kb. 25%).



49. ábra: Az 5. feladat kilencedik mondata harmadik részének eredménye



50. ábra: Az 5. feladat tizedik mondata első részének eredménye



51. ábra: Az 5. feladat tizedik mondata második részének eredménye

az összegképlet alapján közel 20% írt molekulát.

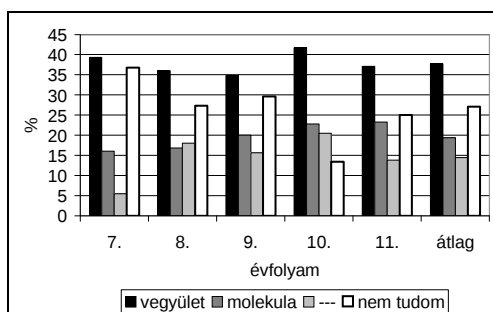
A tizedik mondat:

Nátrium és klór
reakciójában NaCl
keletkezik.

Az eredményeket a 50–52. ábrákon láthatjuk.

Itt két helyes megoldás közül választhattak a tanulók. Egyrészt írhatták azt, hogy nátrium *atomok* és klór *molekulák* reakciójában NaCl *vegyület* keletkezik. A másik megoldás, hogy mindenütt kihúzzák az üres helyet, mert így is helyes lesz a mondat értelme. Kb. 15% a második lehetőséget választotta.

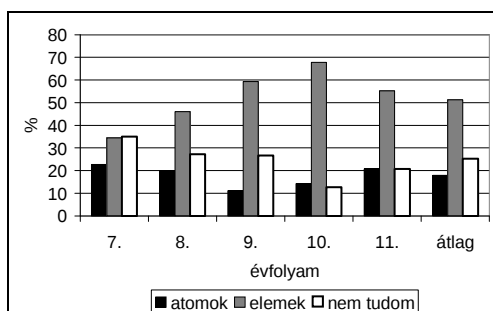
A mondat első két helyén azonban a többes számú megoldás alig jelenik meg. Helyettük egyes számban fogalmaznak tanulóink, nem törődve azzal, hogy a kémiai reakciók sohasem egy-egy részecske között játszódik le. A klór esetében jelentős mértékű az *atom* szó behelyettesítése is, illetve végig 25% felett választották a *nem tudom* lehetőséget. A NaCl-ra



52. ábra: Az 5. feladat tizedik mondata harmadik részének eredménye

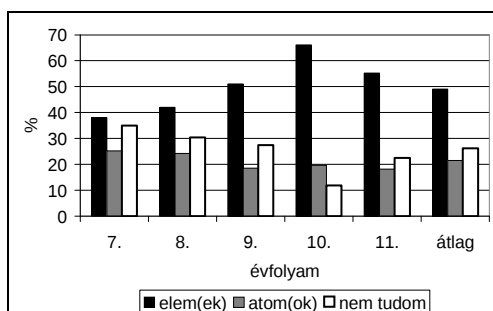
A tizenegyedik mondat:

Az periódusos rendszerében általában feltüntetik az halmazállapotát és az méretét is.



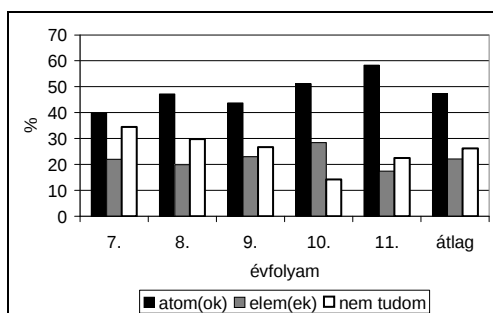
53. ábra: Az 5. feladat tizenegyedik mondata első részének eredménye

Az első helyre az *atomok*, illetve az *elemek* szó tetszés szerint helyettesíthető. Az, hogy melyik a helyes, mindig attól függ, hogy éppen mire vonatkozó adatokat tartalmaz. A mi mondatunkban azonban szerepelt a halmazállapot is, ami az elemekre vonatkozik, és a méret is, ami viszont az atomokra. Ehhez képest az életkor előrehaladásával egyre többen írták be az első helyre az elemeket, és átlagosan több mint kétszer annyian jelölték, mint az atomokat (53. ábra). A második és harmadik helyen az *elem*, illetve az *atom* szavak egyes és többes száma egyaránt elfogadható. Az eredmények nagyon hasonlóak, mindkét esetben kb. 50% írta be a helyes megoldást, míg 20% az

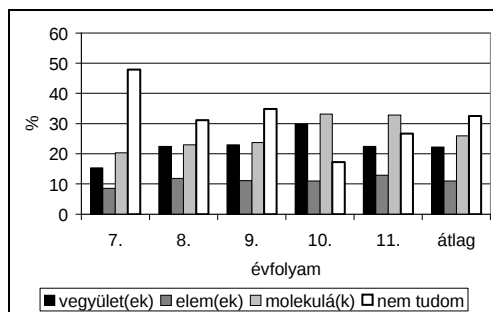


54. ábra: Az 5. feladat tizenegyedik mondata második részének eredménye

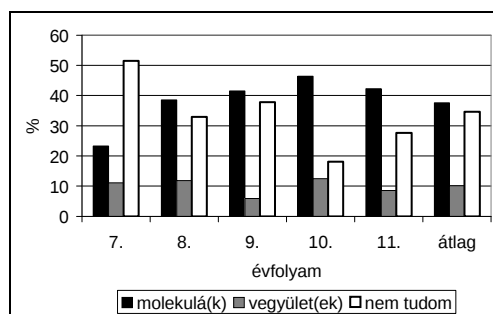
elem helyett atomot és fordítva. A tanulók több mint 25%-a nem tudta a helyes választ egyik helyre sem (54. és 55. ábrák).



55. ábra: Az 5. feladat tizenegyedik mondata harmadik részének eredménye



56. ábra: Az 5. feladat tizenkettedik mondata első részének eredménye



57. ábra: Az 5. feladat tizenkettedik mondata második részének eredménye

Az utolsó, tizenkettedik mondat:

A periódusos rendszer nem tartalmaz a oldhatóságára vagy a alakjára vonatkozó adatokat.

Tartalmilag nem jelentett különbséget az egyes és többes szám használata, ezért ezek eredményeit összevontam. Ugyancsak megjelenik a vegyület és a molekula fogalmak keverése. Rossz megoldásként jelent meg és sajnos igen nagy arányban (20%) a molekulák oldhatósága, és kisebb mértékben ugyan, de a vegyületek alakja is. Egy molekula éppúgy nem rendelkezhet oldhatósági adattal, mint ahogy egy vegyületnek sincs alakja (56. és 57. ábrák).

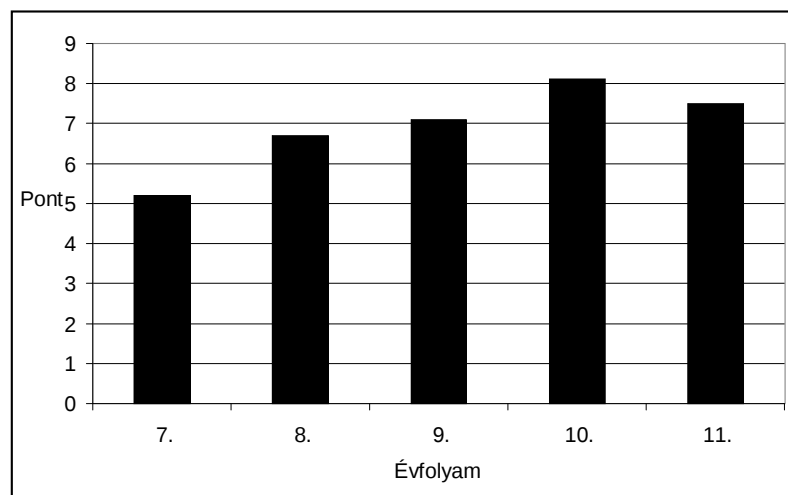
3.5.5. A részecskeábrák azonosításával kapcsolatos feladat megoldásának elemzése

A D felmérőlap utolsó, hatodik feladatát, ahogy azt korábban írtam, Sanger (2000) munkájából vettem át. Öt, részecskéket megjelenítő ábra besorolását kértem a tanulóktól három szempont alapján: halmazállapot, fizikai összetétel és kémiai összetétel. Az adatok statisztikai vizsgálatán túl strukturális, majd tartalmi elemzést is végeztem. A statisztikai elemzés során mindhárom esetben meggyőződtem a teszt megbízhatóságáról, valamint az ábrák differenciáló hatásáról és nehézségéről. Ezek után évfolyamonként néztem a teljesítmény változását aszerint, hogy minden helyes azonosításra 1 pontot adtam, míg a hibás vagy hiányzó válasz 0 pontot ért. Végül varianciaanalízissel határoztam meg, hogy mely évfolyamok között van szignifikáns különbség. A strukturális elemzést a tudástér-elmélet segítségével végeztem. Ennek során a tanulócsoporthat válaszszerkezete alapján meghatároztam az empirikus tudásszerkezetet, amelyből háromféle módszerrel juthatunk el a jellemző tanulási úthoz. A háromféle módszer a következő:

- khi-négyzet próbával ($p > 0,05$)
- a populációk valószínűsége alapján
- a hDA számítógépes programmal

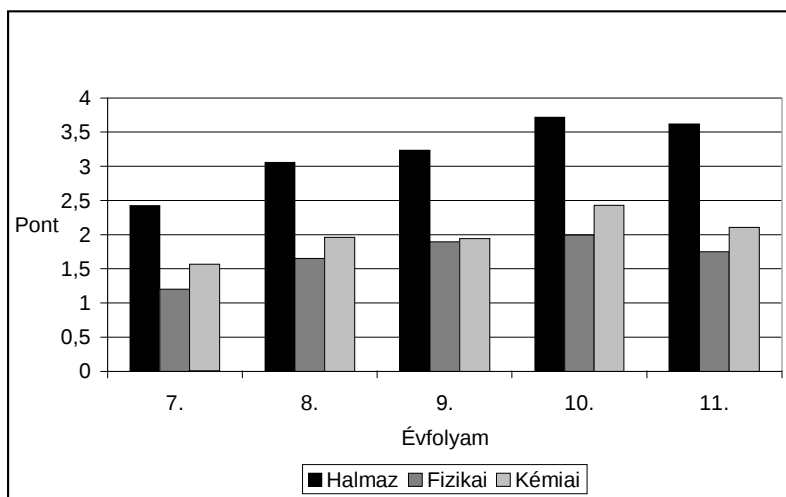
A háromféle eljárás minden esetben ugyanarra az eredményre vezetett.

Tanulóink teljesítménye hasonló tendenciát követett az évfolyam növekedésével, mint máskor. A 10. évfolyam volt a legeredményesebb, és azután visszaesés következik (58. ábra). Az öt ábra három szempont alapján történő osztályozásával maximum 15 pont volt szerezhető.



58. ábra: Az évfolyamok átlagpontjai a 6. feladatban

Legsikeresebb minden évfolyam esetén a halmazállapot szerinti osztályozás volt, legnehezebben pedig a fizikai összetétel meghatározása ment (59.ábra). A maximális pontszám a részfeladatoknál 5 pont volt.

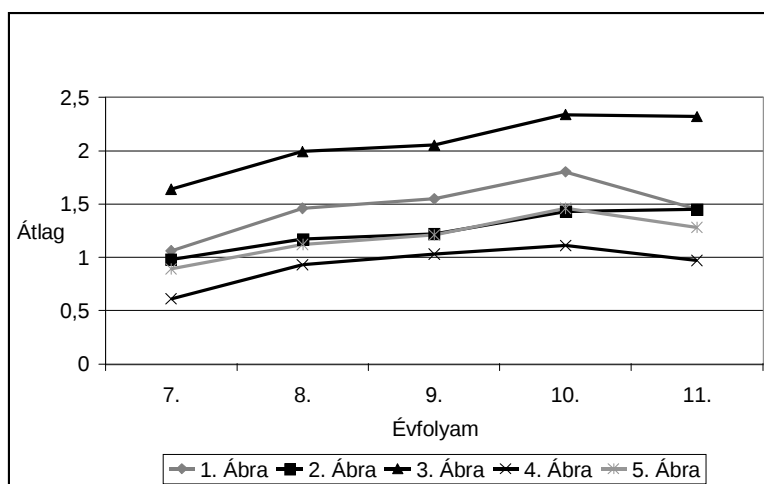


59. ábra: Az évfolyamok átlagteljesítménye részfeladatonként

A halmazállapot szerint legkönnyebb a szilárd anyag, legnehezebb a folyadék kiválasztása volt. A fizikai összetétel alapján legnagyobb arányban az elemet ábrázoló tiszta anyagot osztályozták helyesen, míg a legsikertelenebb a vegyület, mint tiszta anyag azonosítása volt. A kémiai összetételét az egyféle elemet tartalmazó anyagnak volt legkönnyebb megállapítani, míg legproblémásabbnak a többféle elemet tartalmazóé bizonyult.

Az ábrákat tekintve legkönnyebb a szilárd elem, legnehezebb a folyadék halmazállapotú elemek keverékét bemutató ábra osztályozása volt (60. ábra). A helyes megoldás a következő:

- Szilárd: 1 és 3
- Folyékony: 4
- Gáz: 2 és 5
- Tiszta anyag: 3 és 5
- Heterogén keverék: 1
- Homogén keverék: 2 és 4
- Elem: 3 és 4
- Vegyület: 5
- Mindkettő: 1 és 2



60. ábra: Az egyes ábrák évfolyam szerinti átlaga a 6. feladatban

3.5.5.1. A halmazállapot szerinti besorolás eredményei és értékelésük

Sanger vizsgálata során itt voltak legeredményesebbek az egyetemisták. Míg a kontrollcsoport 83-91% között teljesített, addig a kísérleti csoport 94-98% között. A szilárd anyag, azaz a 3-as és 5-ös ábrák azonosítása tűnt a legkönnyebbnek.

A Cronbach-alfa értékek a kis item szám (5) ellenére is elfogadhatóak (39.táblázat). A feladat eszerint a 7. osztályosok esetén mér a legmegbízhatóbban, míg a legkevésbé a 10.-eseknél.

39. táblázat: A feladat Cronbach-alfa értékei a halmazállapotról
vonatkozóan, évfolyamonként

Évfolyam	7.	8.	9.	10.	11.
Cr-alfa	0,850	0,829	0,796	0,752	0,842

A 40. táblázatban az egyes ábrák adatait láthatjuk.

40. táblázat: Az ábrák minőségét jellemző statisztikai adatok

Ábra	Differenciáló hatás	Érték	Nehézség %
1. ábra	változó	0,487 – 0,991	71,2
2. ábra	jó	0,754 – 0,994	60,8
3. ábra	jó	0,732 – 0,995	65,5
4. ábra	jó	0,825 – 0,989	58,3
5. ábra	jó	0,838 – 0,995	60,0

Az évfolyamok teljesítményére ugyanaz jellemző, mint korábban. A 10. évfolyamig nő az átlag, majd 11.-ben csökkenés tapasztalható (41. táblázat). Mindemellett elmondható, hogy tanulóink ezt a részfeladatot oldották meg a legsikeresebben.

41. táblázat: Az évfolyamok teljesítményét jellemző statisztikai adatok

Évfolyam	Fő	Átlag	%	Szórás
7.	163	2,42	48,4	1,97
8.	161	3,06	61,2	1,87
9.	135	3,23	64,6	1,77
10.	127	3,72	74,4	1,54
11.	116	3,62	72,4	1,75
Összes	702	3,16	63,2	1,86

Szignifikáns növekedés a 7. évfolyam után következik be. Ezt a varianciaanalízis is igazolta ($p = 0,000 - 0,011$). Ezen kívül jelentős eltérés még a 8. és 10. évfolyam között van ($p = 0,017$).

A strukturális elemzés során a 42. táblázatban látható jellemző tanulási utakat határoztam meg. Ez az adott ábrák besorolásához szükséges tudáselemek elsajátításának sorrendjét is mutatja, melyek a halmazállapot esetén a következők:

Gáz: 2-es és 5-ös ábra

- a részecskék távol helyezkednek el egymástól (a részecskék közötti összetartó erő minimális)
- a részecskék kitöltik a rendelkezésükre álló teret
- a részecskék eloszlása rendezetlen

Folyadék: 4-es ábra

- a részecskék egymáshoz viszonylag közel helyezkednek el (a részecskék között az összetartó erő jelentősebb, mint gázok esetén)
- a részecskék nem töltik ki a rendelkezésükre álló összes helyet, a tartó edény alján helyezkednek el
- a részecskék eloszlása rendezetlen

Szilárd anyag: 1-es és 3-as ábra

- a részecskék egymáshoz közel helyezkednek el (a részecskék közötti összetartó erő itt a legnagyobb)
- a részecskék szabályos rendben helyezkednek el

42. táblázat: Az egyes évfolyamokra jellemző tanulási út

Évfolyam	Jellemző tanulási út
7.	1 → 3 → 2 → 4 → 5
8.	1 → 3 → 2 → 4 → 5
9.	5 → 1 → 2 → 4 → 3
10.	1 → 2 → 3 → 4 → 5
11.	1 → 3 → 2 → 4 → 5

7.-ben és 8.-ban megegyezik a tanulási út, és a szilárd anyagok azonosítása a legkönnyebb. 9.-ben változás történik, és a gázok kerülnek előrébb, ezt követően azonban visszarendeződés figyelhető meg. Egyedül a 4-es ábra helyzete nem változik az utolsó előtti helyről, amely arra utal, hogy a folyadékok reprezentáló ábra besorolása mindig nehéz. Egy kivétellel az 5-ös ábra mindig az utolsó helyen áll. Ez feltehetőleg annak a félreértésnek köszönhető, hogy sokan a vízmolekulát vélik felfedezni az ábrán, és ezért a folyadékok közé sorolják, ahogy erről a tévképzetről már szóltam.

A tartalmi elemzés során a hibátlan megoldás mellett összegyűjtöttem az egyéb jellemző stratégiákat, melyek százalékos előfordulását a 43. táblázat tartalmazza évfolyamonként. Az azonos kipontozott helyekre beírt ábrák számát „/” jellel választottam el egymástól.

43. táblázat: A feladat megoldása során alkalmazott stratégiák, évfolyamonként

Stratégia	Eredménye ^a	7. (%)	8. (%)	9. (%)	10. (%)	11. (%)
Hibátlan	13/4/25	25,8	36,0	34,1	48,8	50,9
„A”	13/45/2	3,7	3,7	5,9	3,9	2,6
„B”	1/34/25	1,8	1,9	6,7	4,7	3,4
„C”	13/24/5	1,2	5,0	5,2	2,4	3,4
„D”	13/25/4	3,1	4,3	3,0	3,9	1,7
„rendezettség”	13/5/24	1,8	2,5	0,7	0,0	1,7

^a Gáz/Folyadék/Szilárd

A táblázatban a hibátlan megoldás után kiemeltem a legnagyobb arányban előforduló hibás stratégiát (vastag), és az utána következőt (dőlt). Az „A” stratégia alkalmazása során figyelhetjük meg, hogy az 5-ös ábrán a vízmolekulára ismernek és a folyadékok közé sorolják. A „B” esetén csak a teljesen szabályos elrendeződés utal a szilárd halmazállapotra, azaz a 3-as igen, de az 1-es már nem. A „rendezettség” stratégia alkalmazásakor az ábrán lévő részecskék rendezettsége a meghatározó. Ha a részecskék nem töltik ki a teret, de rendezettek, akkor a halmazállapot szilárd. Ha kitöltik a teret és rendezettség figyelhető meg, akkor folyadék, míg rendezetlen elhelyezkedés a gázhalmazállapotra utal. A hibás stratégiák előfordulási százaléka sehol nem haladja meg a 7 %-ot. A helyes

megoldás előfordulása nő az évfolyam növekedésével, 9.-ben a visszaesés nem szignifikáns.

3.5.5.2. A fizikai összetétel szerinti besorolás eredményei és értékelésük

Sanger adatai itt a legszélsőségesebbek. A kontrollcsoport 22-98% között teljesített, míg a kísérleti csoport 46 és 100% között. Legkönnyebben a 3-as ábrát sorolták be, legnehezebben pedig az 5-öst. Ezzel a saját eredmények is összhangban vannak.

A statisztikai eredmények azt mutatják, hogy a Cronbach-alfa értékek itt jóval alacsonyabbak, mint az előző feladatrészen, ami magyarázható a kis item számmal (5), de az ábráknak a feladat szempontjából nem megfelelő minőségével is (44. táblázat).

44. táblázat: A feladat Cronbach-alfa értékei a fizikai összetételre vonatkozóan, évfolyamonként

Évfolyam	7.	8.	9.	10.	11.
Cr-alfa	0,608	0,610	0,711	0,480	0,508

Legmegbízhatóbban a 9. osztályosok esetén mér a feladat, míg a legkevésbé jól a 10. osztályosoknál. A 45. táblázat már az egyes ábrák jellemzőit mutatja. Látható, hogy jelentősen eltér az ábrák besorolási nehézsége. A legkisebb az 5-ös ábráé, így differenciáló hatása gyengének mondható.

45. táblázat: Az ábrák minőségét jellemző statisztikai adatok

Ábra	Differenciáló hatás	Érték	Nehézség %
1. ábra	jó	0,715 – 0,987	34,9
2. ábra	közepes	0,570 – 0,822	23,8
3. ábra	változó	0,416 – 0,980	72,2
4. ábra	változó	0,538 – 0,908	27,5
5. ábra	gyenge	0,197 – 0,440	8,5

Az évfolyamok teljesítménye a nehézségnek megfelelően jóval alacsonyabb, de az eddigi tendencia itt is teljesül (46. táblázat).

46. táblázat: Az évfolyamok teljesítményét jellemző statisztikai adatok

Évfolyam	Fő	Átlag	%	Szórás
7.	163	1,2	24,0	1,22
8.	161	1,65	33,0	1,35
9.	135	1,89	37,8	1,49
10.	127	1,99	39,8	1,19
11.	116	1,75	35,0	1,17
Összes	702	1,67	33,4	1,32

A varianciaanalízis szerint egyedül a 7. osztály teljesítménye különbözik szignifikánsan az összes többiétől ($p = 0,000 - 0,018$). Azaz 7. után következik be jelentős változás.

A strukturális elemzés 7. osztály kivételével ugyanazt a tanulási utat eredményezte, igazolva az előbbi állítást (47. táblázat). A fizikai összetétel megállapításához szükséges tudáselemek a következők:

Tiszta anyag: 3-as és 5-ös ábra

- csak egyféle részecske található benne, de ez a részecske felépülhet több atomból, illetve ionból
- az egyféle részecskén belül az azt felépítő részecskék közel helyezkednek el egymáshoz (köztük elsőrendű kötések vannak)
- az egyféle részecskén belül az azt felépítő többféle részecske aránya állandó

Homogén keverék: 2-es és 4-es ábra

- többféle részecske van jelen, melyek között a távolság viszonylag nagy (a köztük lévő összetartó erő minimális/viszonylag kicsi)
- ha elképzeljük a részecskék egy nagyobb halmazát, akkor a halmazon belül bárhol, ugyanazok a részecskék ugyanolyan arányban lesznek jelen (a részecskék eloszlása egyenletes)

Heterogén keverék: 1-es ábra

- többféle részecske van jelen, melyek eloszlása nem egyenletes
- ha elképzeljük a részecskék egy nagyobb halmazát, akkor a halmazon belül nem mindenütt lesznek ugyanazok a részecskék ugyanolyan arányban

47. táblázat: Az egyes évfolyamokra jellemző tanulási út

Évfolyam	Jellemző tanulási út
7.	$3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 5$
8.	$3 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 5$
9.	$3 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 5$
10.	$3 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 5$
11.	$3 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 5$

A 3-as ábra azonosításához szükséges ismeretekkel rendelkeznek a legtöbben, míg az 5-öshöz szükségesek nagyon bizonytalanok.

Sanger a szóbeli interjúk alapján háromféle módszert feltételezett. Az elsőnek a „vizuális” („visual”) nevet adta, ugyanis bármilyen látható különbség a heterogén keverék összetételre utal. Ennek alapján azonban az anyagok csak kétféleké lehetnek, vagy tiszta anyagok, vagy heterogén keverékek. Az ebből származó megoldás: 3/1245/-. A második a „mintavételezési eljárás” („sampling”), mely szerint az ábra homogén keveréket mutat, ha a halmaz egyik területéről vett minta megegyezik a másik területről származóval, illetve heterogén a keverék, ha nem egyezik meg. Makroszkopikus rendszerek esetén jól működhet ez a megkülönböztetés, de mivel ezek az ábrák csak kis számú részecskét tartalmaznak, ezért hibás következtetésre vezethet. Eredménye: 3/14/25. A harmadik pedig a „véletlenszerűen kevert” („randomly mixed”) elnevezésű azonosítási módszer. Eszerint a homogén keverék részecskéi véletlenszerűen helyezkednek el, míg a heterogén keveréké szabályosan. Ez a módszer a legjobban alkalmazható. A fejlesztő program után végzett vizsgálatok során két jellemző hibás megoldást talált. Az X1-gyel a 3/124/5 besorolást jelölte, melyben minden keverék heterogén, a tiszta vegyület pedig homogén keverék. Az X2-vel jelölt 3/1/245 besorolásban a keverékek értelmezése már helyes, de a tiszta vegyület még mindig homogén keverék marad. A program során a kísérleti csoport az X1-től az X2-n keresztül jutott el a helyes megoldáshoz.

A tartalmi elemzés rávilágított, hogy a magyar tanulók nem rendelkeztek olyan egységes stratégiával, mint Sanger egyetemistái. A legkiugróbb hibás válasz előfordulása is csak egyes évfolyamokon haladja meg a 10 %-ot. Két újabb azonosítási módszert figyelhető meg. Az egyiknek a „sokféleség” nevet adtam. Eszerint ha az ábrán egyféle jel látható, akkor tiszta anyagról van szó, kétféle jel esetén homogén keverékről, míg háromféle szimbólum jelenléte már heterogén keveréket jelent. A „rendezettség” itt is megjelenik, mint meghatározó tényező. Egyféle jel itt is a tiszta anyagot jelenti. Többféle jel esetén azonban a rendezettség homogén, míg a rendezetlenség heterogén keverékre utal. Az azonosított stratégiákat és évfolyamonkénti előfordulási százalékukat a 48. táblázatban gyűjtöttem össze. A helyes megoldás nagyon kis mértékben fordul elő. A jellemzőbb azonosítási módokat az előzőhöz hasonlóan jelöltem. Inkább a felsőbb évfolyamokon figyelhető meg egységesebb stratégia használata.

48. táblázat: A feladat megoldásakor alkalmazott stratégiák, évfolyamonként

Stratégia	Eredménye ^a	7. (%)	8. (%)	9. (%)	10. (%)	11. (%)
Hibátlan	35/1/24	0,6	1,9	2,2	1,6	0,9
„visual”	3/1245/-	1,2	0,6	1,5	2,4	0,0
„sampling”	3/14/25	4,9	2,5	3,7	2,4	4,3
X1	3/124/5	0,0	5,6	5,9	3,9	6,0
X2	3/1/245	0,6	5,0	10,4	2,4	3,4
„sokféleség”	3/12/45	3,7	6,8	6,7	15,7	7,8
„rendezettség”	3/24/15	1,2	3,1	3,7	6,3	10,3

^a Tiszta anyag/Homogén keverék/Heterogén keverék

3.5.5.3. A kémiai összetétel szerinti besorolás eredményei és értékelésük

Sanger vizsgálatában ezt a feladatrészt a kontrollcsoport 49 – 81 % között, a kísérleti csoport pedig 51 – 96 % között oldotta meg. Legkönnyebbnek a 3-as és az 5-ös ábra besorolása bizonyult, míg legnehezebbnek a 4-es.

A feladatrészt Cronbach-alfái nem nagyok, de közel azonosak, ami szintén a kis item számmal magyarázható (49. táblázat).

49. táblázat: A feladat Cronbach-alfa értékei a fizikai összetételre vonatkozóan, évfolyamonként

Évfolyam	7.	8.	9.	10.	11.
Cr-alfa	0,753	0,677	0,670	0,707	0,661

Az ábrák differenciáló hatása és nehézsége igen eltérő (50. táblázat). A 4-es ábra besorolása nagyon nehéz volt, ezért kicsi a differenciáló hatása is.

50. táblázat: Az ábrák minőségét jellemző statisztikai adatok

Ábra	Differenciáló hatás	Érték	Nehézség %
1. ábra	jó	0,810 – 0,995	38,4
2. ábra	kiváló	0,899 – 0,993	38,3
3. ábra	jó	0,754 – 0,994	66,1
4. ábra	változó	0,131 – 0,337	5,7
5. ábra	kiváló	0,917 – 0,997	48,9

Az egyes évfolyamok teljesítménye jobb, mint a fizikai összetétel esetén, de még itt sem tekinthetjük túlzottan sikeresnek a megoldást. A szokásos tendencia fennáll az évfolyamok sorrendjét illetően (51. táblázat). A varianciaanalízis szerint a 7. évfolyam eredményéhez képest a 10. és 11. évfolyam eredménye szignifikánsan jobb ($p = 0,000 - 0,025$).

51. táblázat: Az évfolyamok teljesítményét jellemző statisztikai adatok

Évfolyam	Fő	Átlag	%	Szórás
7.	163	1,56	31,2	1,55
8.	161	1,96	39,2	1,51
9.	135	1,94	38,8	1,45
10.	127	2,43	48,6	1,50
11.	116	2,10	42,0	1,42
Összes	702	1,97	39,4	1,51

A strukturális elemzés változatos tanulási utakat adott, viszont az utak elején és végén ugyanazok az ábrák állnak (52. táblázat). Sanger eredményével összhangban a magyar minta számára is a 3-as ábra besorolása volt a legkönnyebb és a 4-es a legnehezebb. A kémiai összetétel megállapításához szükséges tudáselemek:

Csak elem van benne: 3-as és 4-es ábra

- csak egyféle részecskéből áll, vagy, ha többféleből, akkor azok aránya nem ír le ismert vegyület összetételét (így csak elemek keveréke lehet)

Csak vegyület van benne: 5-ös ábra

- csak olyan részecskéket tartalmaz, melyek többféle részecskéből épülnek fel
- a részecskén belül a felépítő részecskék egymáshoz közel helyezkednek el (köztük elsőrendű kötések vannak)

Mindkettő van benne: 1-es és 2-es ábra

- az előző két esetben felsorolt tudáselemek mind szükségesek

52. táblázat: Az egyes évfolyamokra jellemző tanulási út

Évfolyam	Jellemző tanulási út
7.	3 → 2 → 5 → 1 → 4
8.	3 → 5 → 1 → 2 → 4
9.	3 → 1 → 5 → 2 → 4
10.	3 → 5 → 1 → 2 → 4
11.	3 → 5 → 2 → 1 → 4

A tartalmi elemzés több stratégiát eredményezett (53. táblázat). A „visual” a legegyszerűbb, ahol egyféle jel elemre, többféle pedig vegyületre utal. Az X1 azonosítási mód használatakor az egyféle részecske egyféle atomból felépülve az elem alkotója. Ha még mindig egyféle részecske jelenik meg, de többféle atomból felépülve, akkor vegyületről beszélhetünk, míg minden más esetben mindkét típusú anyag jelen van. A „sokféleség” névvel jelölt esetén, ha az ábrán egyféle jel található, akkor elemről van szó, kétféle jel vegyületet jelöl, míg háromféle mindkettőt. A „rendezettség” itt is szerepet játszott. Egyféle jel itt is elemre utal.

Többféle jel rendezett elhelyezkedésben vegyületet jelöl, míg ha rendezetlenül vannak jelen, akkor mindkét kémiai összetételű anyag megjelenik. A hibás stratégiák közül évfolyamonként a legnagyobb arányban előfordulókat az előzőekhez hasonlóan jelöltem.

53. táblázat: A feladat megoldása során alkalmazott stratégiák, évfolyamonként

Stratégia	Eredménye ^a	7. (%)	8. (%)	9. (%)	10. (%)	11. (%)
Hibátlan	34/5/12	1,2	1,9	1,5	2,4	0,9
„visual”	3/1245/-	0,6	1,2	3,7	4,7	5,2
„X1”	3/5/124	6,1	6,2	5,9	12,6	7,8
„X2”	3/245/1	3,7	9,3	9,6	7,1	6,9
„sokféleség”	3/45/12	5,5	9,3	6,7	14,2	7,8
„rendezettség”	3/15/24	1,8	3,1	5,2	4,7	6,0
„X3”	3/145/2	2,5	0,6	3,7	5,5	4,3

^a Elem(ek)/Vegyület(ek)/Mindkettő

3.5.6. Összefoglalás

Az elem, vegyület és keverék fogalmak meghatározása, illetve azok jelentésének differenciálása gyakran okoz nehézséget tanulóinknak. Az 1. feladatban a tanulói definíciók vizsgálata során nagymértékben találtam olyan válaszokat, melyek részlegesen vagy teljes egészében tévképzetten alapult. A 54. táblázatban a hatfokú skála által jelzett tévképzetet tartalmazó válaszok százalékos arányát mutatja az egyes fogalmak esetén, illetve azok arányát, akik egyáltalán nem tudtak válaszolni. Ez utóbbiak a tanulók közel negyedét alkották.

54. táblázat: Tévképzetet tartalmazó definíciók és nem válaszolók aránya

	2 (%)	3 (%)	0 (%)
Elem	24,1	28,6	22,4
Vegyület	28,3	12,3	25,4
Keverék	20,4	25,1	24,5

A hatfokú skála alapján számított évfolyamonkénti átlagok 2 és 2,5 között vannak, ami közepes eredménynek számít a megértésre vonatkozóan. A legrosszabb átlagok a 9. és 11. évfolyamokon születtek. A tanulói definíciók elemzése során feltárt tipikus tévképzetek a következők:

- Az elem semleges kémiai részecske.
- Az elem azonos atomokból álló molekula.
- A vegyület különböző atomokból felépülő molekula.
- A keverék két vagy annál több anyag reakcióba lépésének eredménye.
- A keverék mesterségesen állítható elő.

- A keverékben az alkotórészek aránya állandó.

Az 5. feladat értékelése során feltárt tévképzetek:

- A kovalens kötés eredményeként néhány meghatározott számú atom összekapcsolódásával *vegyület* keletkezik.
- Ha a vizet elektromos árammal bontjuk (elektrolizáljuk), akkor kétféle *atom* keletkezik.
- A szilárd jód melegítésekor lilás színű gőz keletkezik, melyben jód *atomok* vannak.
- Az *atomok* az egyszerű anyagok közé tartoznak.
- A SiO_2 összegképletű *molekula* felépítésében szilícium atom és oxigén *atom/molekula* vesznek részt.
- Az O_3 és O_2 molekulák egyazon elem, az oxigén *atom* részecskéi.
- Az összetett anyagok közé tartozik a *molekula*.
- Az ammónia *vegyület* alakja háromszög alapú piramis, és benne valamennyi hidrogén *molekula* egyvegyértékű.
- A kénsav *vegyület* felépítésében háromféle elem vesz részt: hidrogén *molekula*, kén *molekula*, és oxigén *molekula*.
- Nátrium *atom* és klór *molekula/atom* reakciójában NaCl *molekula* keletkezik.
- Az atomok/elemek periódusos rendszerében általában feltüntetik az *atom(ok)* halmazállapotát és az *elem(ek)* méretét is.
- A periódusos rendszer nem tartalmaz a *molekulá(k)* oldhatóságára vagy a *vegyület(ek)* alakjára vonatkozó adatokat.

Az elem, vegyület és keverék fogalmak megértését nagymértékben elősegítheti az anyagok részecskeszintű felépítésének elemzése. A tankönyvek a részecskék illetve az azokból felépülő anyagok bemutatására gyakran használnak ábrákat. Ezeknek az ábráknak az értelmezése ezért különösen fontos szerepet játszik a fogalmak helyes elsajátításában. Az utolsó feladat ilyen képességet mért. 5 különböző ábrát 3 eltérő szempont alapján kellett besorolni. Az ábrák értelmezésében változatos eredmények születtek. A tanulók a halmazállapot megítélésében, különösen a szilárd anyag megállapításában voltak a legsikeresebbek. Komoly gondjaik vannak a homogén és heterogén keverék megkülönböztetésében. Bizonyos, hogy sokan nem értik a különbséget az anyag fizikai illetve kémiai összetétele között. A legtöbb stratégia az ábrák vizuális és formális vizsgálatán alapult (valamilyen különbség észrevétele, megszámlálva a különböző típusú szimbólumokat, vizsgálva azok elhelyezkedését). A fogalmi módszerek általában a makroszkopikus és részecskeszintű leírás félreértése és keverése miatt eredményezett hibás válaszokat. A feltárt tévképzetek:

- A víz mindig folyékony halmazállapotú.
- A gázokat azonos részecskék alkotják.
- A szilárd mintákban a részecskék ugyanolyan sorrendben ismétlődnek.
- Az elemek és vegyületek mindig tiszta anyagként vannak jelen.
- A heterogén keverékekben a különböző típusú részecskék eloszlása rendezetlen.

A tudástér-elmélet alapján nem mutatható ki hosszú távú változás a tanulók kognitív struktúrájában. Csekély és ideiglenes változás figyelhető meg a 9. évfolyamon (halmazállapot) és a 8. évfolyamon (fizikai és kémiai összetétel). A 55. táblázat az egymás után következő évfolyamok közötti szignifikáns különbséget jelöli + jellel, különböző szempontok szerint. Látható, hogy legnagyobb változás a 7. és 8. évfolyam között van.

55. táblázat: Az egyes évfolyamok közötti szignifikáns különbség jelzése

	7-8	8-9	9-10	10-11	Megjegyzés
Összes pont	+	-	+	+	$10 > 11 > 9 > 8 > 7$
Halmazáll.	+	-	+	-	legsikeresebb
Fiz. össz.	+	-	-	-	legkevésbé sikeres
Kém. össz.	+	-	+	-	
1. ábra	+	-	-	+	
2. ábra	-	-	-	-	de évfolyammal nő az átlag
3. ábra	+	-	+	-	legsikeresebb
4. ábra	+	-	-	-	legkevésbé sikeres
5. ábra	+	-	-	-	

A statisztikai, tartalmi és strukturális elemzés egyöntetűen leírja, hogy a 8. és 10. évfolyamokon következik be kismértékű fejlődés. A 8. évfolyamon szerves kémiai, a 10. évfolyamon pedig szerves kémiai tanulnak a diákok. Ez alapján a valódi kémiai rendszerek vizsgálata és azok természetének tanulmányozása valószínűleg jobban hozzájárulnak a részecskeábrák azonosításának sikerességéhez, illetve az anyag természetének részecskeszintű bemutatásához, mint egymagában az általános kémia tanulása.

3.6. Az eredmények összefoglalása

Kutatásom során a kémia néhány tudományos alapfogalmát vizsgáltam abból a szempontból, hogy a középiskolás tanulók milyen szinten képesek elsajátítani azokat, vannak-e tévképzeik velük kapcsolatban, tetten érhető-e fogalmi fejlődés az életkor előrehaladásával illetve hogyan szerveződik a tudás a tanulók kognitív rendszerében. Eredményeim szerint a tanulók fogalmi megértése változó az életkortól függően és nem független a fogalom tartalmától sem. Az viszont minden általam vizsgált tudományos fogalomra igaz, hogy a teljes megértés minden életkorban alacsony szintű, és még a legjobb eredményt adó fogalom esetén is alig haladja meg a 60%-ot.

3.6.1. A fizikai változás és a kémiai változás fogalmával, megértésével kapcsolatos eredmények

A tanulók a fizikai változás és kémiai változás definícióját elsősorban makroszinten fogalmazzák meg, a részecskeszintű értelmezéssel nem tudják azt összekapcsolni.

- A hatfokú skála (0-5) alapján számolt megértési szint a fizikai változás esetén 3,6, a kémiai változásra 4,0. A korrelációs együtthatók szerint a két fogalom megértése összefügg, hasonló tudáselemek birtokában lehet elsajátítani őket.
- A fenomenografikus elemzés által két fő kategóriába sorolhatók be a tanulói definíciók (makroszint, részecskeszint). A tanulók mindkét változás esetén a makroszintű meghatározásokat részesítették előnyben, azonban a fizikaihoz képest a kémiai változásra több részecskeszintű válaszelem született.
- A kétszintű értelmezés mellett lehetőség volt például is szemléltetni a változások e két típusát. A tanulók 7 %-a azonban példát sem tudott említeni, míg 15 %-uk képes volt a legösszetettebb szinten (példa, makro- és részecskeszint) megfogalmazni a definíciókat.
- A tudástér-elmélet alapján végzett értékelés szerint a szakértői úthoz hasonlóan a tanulók tudásszerkezetében mindkét változás esetén a makroszintű értelmezés megelőzi a részecskeszintűt. Azzal ellentétben azonban a kémiai változás előrébb helyezkedik el, mint a fizikai változás. A legszembetűnőbb eltérés pedig az, hogy a fizikai változás részecskeszintű értelmezése a kémiai változás részecskeszintű megközelítésére épül. Ugyancsak megállapítható volt, hogy az oktatás előrehaladásával nem változik a tudásszerkezet.
- A kémiai változás tanulói értelmezéseit öt különböző modell segítségével írhatjuk le. A legjobban illeszkedő modell mind a makroszintű, mind a részecskeszintű értelmezést tartalmazza, viszont azok között nincs kapcsolat, ami azt jelenti, hogy a legtöbb tanuló nem képes összefüggést találni a kétféle értelmezés között. Ha mégis, akkor a tudományos modellel ellentétben, éppen

- a makroszintű értelmezésre építi a részecskeszintű megközelítést és nem fordítva.

A konkrét folyamatok azonosítása során a tanulók a kémiai változások, illetve a makroszinten értelmezett folyamatok esetén a legsikeresebbek.

- Az egyes évfolyamok teljesítménye mindössze 44-55% között van.
- Szignifikáns fejlődés a 7. évfolyam után mutatható ki.
- Az egyes folyamatok besorolásának sikerességét az 56. táblázat mutatja.

56. táblázat: A folyamatok besorolásának sikeressége %-ban kifejezve.

folyamat	2.1.	2.2.	2.3.	2.4.	2.5.	2.6.	2.7.	2.8.	2.9.
szint	makro			szimbólum			részecske		
típus	kém.	fiz.	old.	fiz.	kém.	old.	kém.	old.	fiz.
%	77	74	32	51	56	15	75	24	56

- Legsikeresebb a makroszintű folyamatok besorolása, de az életkor előrehaladásával nincs növekedés. Ezt követik a részecskeszintű folyamatok, ahol kis mértékű fejlődés tapasztalható az évfolyam növekedésével. Legnehezebb a szimbólumszinten megadott folyamatok besorolása, viszont szembevetve a fejlődés az oktatással. Ezt támasztja alá a 7. évfolyamon adott „nem tudom” válaszok nagy száma is utalva a kezdeti bizonytalanságra, amely a következő évfolyamokon rohamosan csökken.
- A folyamatok típusát tekintve a kémiai változások felismerése a legkönnyebb, ezután következnek a fizikai változások. Mindkét esetben van fejlődés az életkor előrehaladásával. Ezzel szemben az oldási folyamatok besorolása nagyon kritikus, és nincs változás az idővel.
- Két általános tévképzet figyelhető meg.
 - (a) A tanulók az oldódást kémiai változásnak tekintik. Az indoklások alapján ennek az az oka, hogy a folyamatok megítélésekor a kémiai változás makroszintű jellemzői a meghatározóak.
 - (b) A szimbólumszinten megadott folyamatokat is kémiai változásként értelmezik, és 8.-ban valamint 9.-ben szignifikánsan nő e tanulók száma. Ennek hátterében az a tévképzet áll, hogy vegyjelekkel és képletekkel csak kémiai reakciókat lehet leírni.
- A tudástér-elmélet segítségével meghatározott jellemző tanulási utakkal kapcsolatos megállapítások a következők:
 - (a) Az egyes tanulócsoportokra jellemző tanulási utak lényegesen különböznek a szakértői úttól. Attól eltérően, az oldási folyamatok mindenütt az utolsó helyre kerülnek.

- (b) 7. és 8. évfolyamon a tanulási út a fizikai és kémiai változás makroszintű leírásával indul, majd ezt követi a részecskeszint, végül a szimbólumszint.
- (c) A kémiai változás szimbólumszintű értelmezése egyre előrébb kerül az életkor előrehaladásával, 10. évfolyamon van legelől.
- (d) 10. és 11. évfolyamon az oldási folyamatokkal kapcsolatban a helyes besoroláshoz szükséges részecskeszint kerül előtérbe.
- (e) A tudásszerkezet 9.-ben a leghomogénebb (1 tanulási út), míg 11.-ben a legdiffúzabb (4 tanulási út).
- A feladat elemzése során az 57. táblázatban lévő tévképzeteket azonosítottam.

57. táblázat: Tévképzetek az A/2. feladatban

Tévképzet	magyar minta %	portugál minta %
A vas rozsdásodása fizikai változás.	11	22
Az üveg törése sem nem fizikai, sem nem kémiai változás.	20	10
A cukor oldása vízben kémiai változás.	51	41
A cukor oldása vízben fizikai és kémiai változás is.	13	19
A nátrium halmazállapot változása kémiai változás.	20	29
Az ezüst-klorid képződése fizikai és kémiai változás is.	13	-
A nátrium-klorid vízben való oldása kémiai változás.	49	-
A nátrium-klorid vízben való oldása fizikai és kémiai változás is.	10	-
A kálium-klorid vízben való oldása kémiai változás.	41	33
A jég olvadása kémiai változás.	-	15
A jég olvadása sem nem fizikai, sem nem kémiai változás.	20	-

A folyamatok jellemzőinek besorolásakor a tanulók kategorikusan ragaszkodnak vagy a fizikai, vagy a kémiai változáshoz még akkor is, ha az adott tulajdonság mindkettőre jellemző lehet.

- Fogalmi fejlődés összességében a 9. és 10. évfolyamokon következik be
- A részeredményeket figyelembe véve a következő jellemzők besorolása során mutatkozik szignifikáns fejlődés az évfolyamok között.
 - (a) új tulajdonságú anyag megjelenése
 - (b) fizikai tulajdonság megváltozása
 - (c) fényjelenség
 - (d) halmazállapot-változás
 - (e) az anyag visszafordítható átalakulása

- (f) az anyag nem visszafordítható átalakulása
- (g) reakcióegyenlettel leírható változás
- (h) elsőrendű kötések egyidejű felbomlása és kialakulása
- (i) a részecskék (atomok, ionok, molekulák) elektronszerkezetének megváltozása
- (j) az anyagok minőségének megváltozása
- (k) az anyagi halmazban a részecskék geometriai elrendeződésének megváltozása
- (l) vegyjelekkel és képletekkel leírható változás
- A 25 esetből 12 helyen találtam olyan tévképzetet, mely csak a fizikai változásra vonatkozik, 19 tévképzet csak a kémiai változásra és 1 tévképzet mindkettőre érvényes, ez összesen 32 tévképzet. Itt ezek közül csak a jelentős mértékben előfordulókat fogalmazom meg.

A fizikai változásra érvényes:

- (a) Az anyag fizikai tulajdonsága kizárólag fizikai változás alkalmával változhat meg.
- (b) A fényjelenség a fizikai változást kíséri.
- (c) A színváltozás fizikai változásra utal.
- (d) A halmazállapot megváltozása csak fizikai változás során következhet be.
- (e) Lehűlés vagy felmelegedés csak fizikai folyamatot kísérhet.
- (f) Tömegváltozásról csak fizikai folyamat esetén beszélhetünk.
- (g) Térfogatváltozás kizárólag fizikai változás során történhet.
- (h) Az anyagi halmazban a részecskék geometriai elrendeződésének megváltozása csak fizikai folyamat során valósulhat meg.

A kémiai változásra érvényes:

- (a) Új tulajdonságú anyag csak kémiai változás során keletkezhet.
- (b) Fényjelenség csak kémiai változást kísérhet.
- (c) A színváltozás kémiai változásra utal.
- (d) Gáz képződése kizárólag kémiai folyamat során valósulhat meg.
- (e) Az anyag összetétele csak kémiai folyamat során változhat meg.
- (f) Elsőrendű kémiai kötések csak kémiai változás során bomolhatnak fel.
- (g) Elsőrendű kémiai kötések csak kémiai változás során alakulhatnak ki.
- (h) Másodrendű kötések csak kémiai változás során bomolhatnak fel, vagy alakulhatnak ki.
- (i) Csak a kémiai folyamatok visszafordíthatóak.
- (j) Csak a kémiai folyamatok nem visszafordíthatóak.
- (k) A részecskék elektronszerkezetének megváltozása csak kémiai folyamat során valósulhat meg.

- (l) Az atommag összetételének megváltozása csak kémiai folyamat során valósulhat meg.
- (m) Csak a kémiai folyamatokat lehet vegyjelekkel és képletekkel leírni.

Mindkettőre érvényes:

- (a) Mind fizikai, mind kémiai változást leírhatunk reakcióegyenlettel.

3.6.2. Az anyagmennyiség fogalmával, megértésével kapcsolatos eredmények

Az anyagmennyiség tanulói definícióinak elemzése során kiderült, hogy a legkritikusabb fogalommal állunk szemben, legkevésbé ezt a fogalmat értik a tanulók. Az ezzel kapcsolatos tévképzeik a nemzetközi szinten már ismert tévképzetekkel egyeznek meg.

- A hatfokú skála alapján értékelve a válaszokat, a tanulók közel egyharmada nem tudott válaszolni, másik harmaduk tévképzetekkel rendelkezik, és csak egyötödük tudott olyan meghatározást írni, mely elfogadható volt (4 és 5 pont).
- A két leggyakoribb tévképzet:
 - (a) Az anyagmennyiség megmutatja az anyagban lévő atomok számát.
 - (b) Az anyagmennyiség azt mutatja meg, hogy 1 mol részecskének mekkora a tömege.
- A megértési szint nagyon alacsony minden évfolyamon, az átlag 1,7.
- Bizonyos szintű fogalmi fejlődés kétféle módon jelenik meg. Az egyik, hogy a magasabb évfolyamokon a tanulók a bonyolultabb, C-12-re vonatkozó definíciót igyekeznek megfogalmazni. A másik, hogy a mértékegység helyett, ténylegesen az anyagmennyiség fogalmát próbálják leírni.

Egy bináris vegyület összetételével kapcsolatos feladat megoldásának elemzése során kiderült, hogy – korábbi nemzetközi tapasztalatokkal ellentétben – a magyar tanulók az iskolában tanult algoritmusokat részesítik előnyben a logikai módszer helyett.

- A tanulók feladatmegoldó módszerei alapján három stratégia különböztethető meg.
 - (a) mól módszer
 - (b) hármasszabály
 - (c) logikai módszer
- Az életkor előrehaladásával nő a helyes választ adó, és csökken a nem válaszoló tanulók száma. Kivételt képez ez alól a 11. évfolyam. (A 11. évfolyamon tapasztalt visszaesés a kémiaórák hiányával magyarázható.)

- A tanulók az iskolában tanult stratégiákat részesítik előnyben, különösen a mól módszert.
- A logikai módszert alkalmazók száma nagyon alacsony a teljes létszámhoz, vagy a helyes választ adó tanulók számához képest is.
- A mól módszert alkalmazó tanulók száma a hármasszabállyal dolgozókéhoz képest nő az életkor előrehaladtával, jelezve, hogy minél képzetebbek a tanulók kémiából, annál inkább előnyben részesítik a mól módszert még egyszerűbb sztöchiometriai problémák esetén is.
- A tanulók 9-18%-a azonosíthatatlan vagy kevert módszerrel dolgozott. Az ismert stratégiák sikeressége sokkal nagyobb mértékű, mint az azonosíthatatlan módszereké. A legsikeresebb a logikai módszer, de csak kevesen alkalmazták.
- Különbség figyelhető meg a lányok és a fiúk stratégiaválasztása között. A lányok sokkal gyakrabban használták a hármasszabályt, mint a fiúk. (A lány/fiú arány 2,16.) A fiúk relatíve nagyobb arányban alkalmazták a mól módszert, vagy dolgoztak azonosíthatatlan stratégiával, mint a lányok. (A lány/fiú arány 1,24 illetve 1.) (A χ^2 -próba szerint a lányok és fiúk közötti különbség $p=0,05$ szinten szignifikáns.)
- Érdekes tapasztalat volt, hogy a tanulók egy része (13%) a problémát a magnézium és szén között végbemenő kémiai reakcióként értelmezte. Felírták a kémiai egyenletet, és annak segítségével próbálták meg kiszámolni a 96 gramm MgC_2 -ben a szén tömegét. Ez valószínűleg annak a következménye, hogy a kémiai problémák megoldása során a kémiatanárok és tankönyvek kiindulási pontként a kémiai reakció felírását javasolják.
- A másik figyelemreméltó észrevétel, hogy a tanulók 14%-a (a válaszadók 23%-a) használta a C_2 jelölést a MgC_2 -ben lévő szén leírására. Ezek a tanulók egy egységnek tekintették a C_2 -t. Így azt válaszolták, hogy 96 g MgC_2 48 g „ C_2 ”-t tartalmaz, vagy – néhány esetben – „48 g C_2 -t tehát $48:2 = 24$ g C-t”. Szerencsére e tanulók száma a 7. évfolyamtól a 11. évfolyam felé haladva kevesebb, mint a felére csökkent.

3.6.3. Az elem, vegyület és keverék fogalmával, megértésével kapcsolatos eredmények

Az elem, vegyület és keverék fogalmak tanulói megértése közepes szintű, amely a jelentős mértékben előforduló tévképzeteknek köszönhető.

- A hatfokú skála alapján számított évfolyamonkénti átlagok 2 és 2,5 között vannak, ami közepes eredménynek számít a megértésre vonatkozóan. Az átlag: elemre 2,3, vegyületre 2,2, keverékre 2,3. A legrosszabb eredmények a 9. és 11. évfolyamokon születtek.
- A tanulói definíciók elemzése során feltárt tipikus tévképzetek a következők:

- (a) Az elem semleges kémiai részecske.
- (b) Az elem azonos atomokból álló molekula.
- (c) A vegyület különböző atomokból felépülő molekula.
- (d) A keverék két vagy annál több anyag reakcióba lépésének eredménye.
- (e) A keverék mesterségesen állítható elő.
- (f) A keverékben az alkotórészek aránya állandó.

Az anyag felépítésével kapcsolatos mondatok kiegészítése során gyakran találkoztam az atom és molekula, az atom és elem, valamint a molekula és vegyület fogalmak asszociációjával, keverésével.

- A feltárt tévképzetek a következők:
 - (a) A kovalens kötés eredményeként néhány meghatározott számú atom összekapcsolódásával *vegyület* keletkezik.
 - (b) Ha a vizet elektromos árammal bontjuk (elektrolizáljuk), akkor kétféle *atom* keletkezik.
 - (c) A szilárd jód melegítésekor lilás színű gőz keletkezik, melyben jód *atomok* vannak.
 - (d) Az *atomok* az egyszerű anyagok közé tartoznak.
 - (e) A SiO_2 összegképletű *molekula* felépítésében szilícium atom és oxigén *atom/molekula* vesznek részt.
 - (f) Az O_3 és O_2 molekulák egyazon elem, az oxigén *atom* részecskéi.
 - (g) Az összetett anyagok közé tartozik a *molekula*.
 - (h) Az ammónia *vegyület* alakja háromszög alapú piramis, és benne valamennyi hidrogén *molekula* egyvegyértékű.
 - (i) A kénsav *vegyület* felépítésében háromféle elem vesz részt: hidrogén *molekula*, kén *molekula*, és oxigén *molekula*.
 - (j) Nátrium *atom* és klór *molekula/atom* reakciójában NaCl *molekula* keletkezik.
 - (k) Az atomok/elemek periódusos rendszerében általában feltüntetik az *atom(ok)* halmazállapotát és az *elem(ek)* méretét is.
 - (l) A periódusos rendszer nem tartalmaz a *molekulá(k)* oldhatóságára vagy a *vegyület(ek)* alakjára vonatkozó adatokat.

A részecskeábrák azonosításakor a halmazállapot meghatározása a legkönnyebb, a keverékek megkülönböztetése a legnehezebb. Kismértékű fejlődés a 8. és 10. évfolyamokon tapasztalható.

- A tanulók a halmazállapot megítélésében, különösen a szilárd anyag megállapításában voltak a legsikeresebbek.

- Komoly gondjaik vannak a homogén és heterogén keverék megkülönböztetésével.
- Bizonyos, hogy sokan nem értik a különbséget az anyag fizikai, illetve kémiai összetétele között.
- A legtöbb osztályozási stratégia az ábrák vizuális és formális vizsgálatán alapult (valamilyen különbség észrevétele, megszámlálva a különböző típusú szimbólumokat, vizsgálva azok elhelyezkedését).
- A fogalmi módszerek általában a makroszkopikus és részecskeszintű leírás félreértése és keverése miatt eredményeztek hibás válaszokat.
- A feltárt tévképzetek:
 - (a) A víz mindig folyékony halmazállapotú.
 - (b) A gázokat azonos részecskék alkotják.
 - (c) A szilárd mintákban a részecskék ugyanolyan sorrendben ismétlődnek.
 - (d) Az elemek és vegyületek mindig tiszta anyagként vannak jelen.
 - (e) A heterogén keverékekben a különböző típusú részecskék eloszlása rendezetlen.
- A tudástér elmélet alapján nem mutatható ki hosszú távú változás a tanulók kognitív struktúrájában. Csekély és ideiglenes változás figyelhető meg a 9. évfolyamon (halmazállapot) és a 8. évfolyamon (fizikai és kémiai összetétel).
- A statisztikai, tartalmi és strukturális elemzés egyöntetűen azt írja le, hogy a 8. és 10. évfolyamokon következik be kismértékű fejlődés. A 8. évfolyamon szervetlen kémiát, a 10. évfolyamon pedig szerves kémiát tanulnak a diákok. Ez alapján valószínűsíthető, hogy a valódi kémiai rendszerek vizsgálata és azok természetének tanulmányozása valószínűleg jobban hozzájárulnak a részecskeábrák azonosításának sikerességéhez, illetve az anyag természetének részecskeszintű bemutatásához, mint egymagában az általános kémia tanulása.

4. ÖSSZEGZÉS ÉS JAVASLAT AZ EREDMÉNYEK ALKALMAZÁSÁRA

A természettudományos nevelés célja mára a diszciplináris tudás helyett az alkalmazható ismeretek közvetítése lett. A természettudományos tantárgyak, ezen belül a kémia többszörös kihívással állnak szembe, ha népszerűségüket tekintjük. A tanulók elvont, nehezen tanulható tárgynak tartják a kémiát, és a kerettanterv által bevezetett óraszámcsökkentés csak súlyosbította a helyzetet.

Régóta ismert tény, hogy a tanulók nem tudják elsajátítani a tudományos fogalmakat kellő mértékben. Az utóbbi évtizedekben egyre több olyan kutatás született, mely bebizonyította, hogy tanulóink olyan ismertekkel rendelkeznek, melyek nem egyeztethetők össze a tudományos nézetekkel, s melyek sok tekintetben hasonló tulajdonságokkal bírnak. Az egyes területeken a tanulók jelentős része ugyanazokat a helytelen nézeteket vallja. Megfogalmazódott a kérdés, hogy mi lehet ennek az oka, s ennek kiderítésére megnőtt azoknak a kutatásoknak a száma, melyek egyrészt a tanulók ismereteit próbálták feltérképezni, másrészt, melyek az ismeretek elsajátításának folyamatát vizsgálták. A tudományos ismeretekkel ellentétben álló tanulói elképzeléseket először tévképzeteknek nevezték el, majd egyre több olyan kifejezést alkottak, amelyek sokkal árnyaltabban tudták kifejezni a tanulói ismeretek sokszínűségét.

Bár sok diák igyekszik megtanulni a kémiát, mégis gyakran sikertelenek maradnak. Ennek egyik oka abban rejlik, hogy már az alapfogalmakat sem értik meg igazán és a továbbiakban nem tudják mire ráépíteni ismereteiket (*Nakhleh*, 1992). Ezért vizsgálatom során a kémia néhány alapfogalmával kapcsolatos tévképzet feltárására vállalkoztam. Bár a kutatás elsősorban diagnosztizáló jellegű, ezen kívül célom volt a tanulók fogalmi fejlődésének követése is az életkor előrehaladásával. Ez a kutatás azért is vált időszerűvé, mert míg nemzetközi szinten már előrehaladott a téma megismerése, addig Magyarországon kevés olyan vizsgálat zajlott, mely hasonló célokat tűzött volna ki maga elé a kémia területén (*Korom*, 2001).

Kutatásom során a fizikai változás és kémiai változás, az anyagmennyiség, valamint az elem, vegyület és keverék fogalmakat vizsgáltam. Ezek a kémia tudományos alapfogalmai közé tartoznak, azaz először az iskolában találkoznak velük diákjaink. Ez azt jelenti, hogy az iskolába lépés előtt nem rendelkeznek előzetes ismeretekkel velük kapcsolatban, vagyis a hozzájuk kapcsolódó tévképzetek elsősorban az oktatás következményei.

Vizsgálatomat írásbeli felmérőlapok segítségével végeztem, melyek mindegyikének első feladata az adott fogalom definiálása volt. Ennek eredményei szerint a fogalmak elsajátítása változó mértékű a tanulók életkorát tekintve és nem független a fogalom tartalmától sem. Az viszont minden általam vizsgált tudományos fogalomra igaz, hogy a teljes megértés minden életkorban ritka, és a

megértés szintje még a legjobb eredményt produkáló fogalom esetén (kémiai változás) is csak 60%. A legnagyobb mértékben a kémiai változás, illetve a fizikai változás fogalmát sajátították el a tanulók, az elem, keverék és vegyület fogalmak hasonló megértést mutattak, míg a legtöbb problémát az anyagsűrűség fogalma jelentette. A megértés szintjét tekintve nem volt számottevő, szignifikáns különbség az évfolyamok között.

A fogalmak megértésének második lépcsőfoka azok alkalmazása különböző feladatokban. A fizikai illetve kémiai változással kapcsolatban kilenc konkrét folyamatról kellett eldönteni, hogy melyik típusba tartozik. A kilenc folyamat három különböző szinten volt megfogalmazva (makro-, részecske-, és szimbólumszint). Mindhárom szinten volt egy fizikai változás, egy kémiai változás és egy oldódás. Az adatok szerint, függetlenül a reprezentálás szintjétől, az oldódás okozta a legtöbb fejtörést a diákoknak. Ez összhangban van a nemzetközi eredményekkel, és nem is csodálkozhatunk rajta, ha figyelembe vesszük, hogy sokszor még a tanároknak is problémát okoz eldönteni, hogy az oldódás fizikai vagy kémiai folyamat-e. Így lehetséges, hogy néhány helyen megjelenik a folyamatok egy harmadik típusa, a fizikai-kémiai változás. Ennek oka, hogy az oldódás makro- és részecskeszintű értelmezése nem esik egybe. Részecskeszinten fizikai változás, mert új kémiai részecske nem jelenik meg, azonban makroszinten kémiai változásként is tekinthetjük, hisz új tulajdonságú anyag jelenik meg. Mindezek mellett a legsikeresebben a kémiai változásokat, illetve a makroszinten megadott folyamatokat tudták azonosítani a tanulók.

Még ennél is nehezebb volt azt megítélni, hogy az egyes típusú folyamatok milyen tulajdonságokkal rendelkezhetnek, illetve milyen változások kísérhetik azokat. Az itt feltárt tévképzetek oka az lehet, hogy a tankönyvek egyrészt példák segítségével mutatják be ezeket a változásokat, másrészt az általuk megfogalmazott definíciók nem kellőképpen egyértelműek. A tanórákon nem tudatosítjuk a tanulóknak, hogy egy kémiai változás többet jelenthet a fizikaihoz képest, amennyiben a fizikai változás során végbemenő változások akkor is megtörténhetnek. Így például a halmazállapot-változást kizárólag a fizikai változásnál tárgyalják a tankönyvek, de azt később már nem tisztázzák, hogy ugyanez a változás egy kémiai folyamat során is bekövetkezhet. Ezáltal a folyamatok jellemzőinek besorolásakor a tanulók kategorikusan ragaszkodnak vagy a fizikai, vagy a kémiai változáshoz még akkor is, ha az adott tulajdonság mindkettőre jellemző lehet.

A fizikai és kémiai változás fogalmával kapcsolatos félreértések egyértelműen az oktatás következményei, melyhez a tankönyvek is hozzájárulnak. Alapvetően az a baj, hogy ezeket a fogalmakat az általános iskola hetedik osztályában tanítják, és ebben az életkorban a diákok még nem képesek a folyamatokat ebből a szempontból elkülöníteni, és ennek nem csak a többszintű értelmezés az oka, hanem az is, hogy a tanulók nem rendelkeznek kellően széles körű ismeretekkel a probléma megoldásához (Tóth, 2000). Mivel így nem történik meg az alapok szilárd megépítése, és a további évfolyamokon már nem kerülnek

újra elő ezek a fogalmak mélyebben, így később sem válnak biztossá a megfelelő ismeretek.

Az anyagmennyiséggel kapcsolatban két olyan tévképzetet tártam fel, melyek megegyeztek a nemzetközi szinten is megjelenő téves elképzelésekkel. A fogalommal kapcsolatos megértési hiányosságok több okra vezethetők vissza. Egyrészt a tanulóknak nem tudatosul, hogy amikor az anyagmennyiségről tanulnak, akkor valójában annak mértékegységét, a mólt definiáljuk. Ráadásul a mólnak kétféle definíciója is van. Egy egyszerűbb, amit hetedikben tanulnak, és egy bonyolultabb, mely a relatív atomtömeghez hasonlóan a 12-es szénizotópra van vonatkoztatva, és ezáltal téves asszociáció kialakulását segítheti elő az anyag tömegével.

Az anyagmennyiség fogalmának helyes értelmezése nagyon fontos szerepet játszik a sztöchiometriai feladatok megoldásában is. Ezért egy ilyen jellegű, egyszerűbb feladat megoldásán keresztül vizsgáltam, hogy a tanulók milyen stratégiát választanak. A megoldások lépései alapján három stratégiát lehetett megkülönböztetni (mól-módszer, hármasszabály, logikai módszer).

A diákok inkább az iskolában tanult stratégiákat részesítik előnyben, és kevesebben próbálkoznak saját megoldási módszerrel. A leggyakoribb a mól-módszer használata, és legkevesebben a logikai módszert követik, pedig aki ez utóbbit választotta, nagyobb eséllyel tudta kiszámolni a helyes eredményt. Itt is két tévképzetre utaló megfigyelést tettem.

Az elem, vegyület és keverék fogalmak vizsgálata során, a konkrét tévképzeteken kívül – a nemzetközi megfigyelésekhez hasonlóan – nálunk is találgattam az elem-atom, és vegyület-molekula fogalomtársításokkal. A részecskeábrák helyes értelmezését vizsgáló feladat megoldásából kiderült, hogy a mi tanulóink esetében is gyakran előfordul, hogy a makroszintű tulajdonságokat részecskeszinten alkalmazzák.

Az adatok értelmezését több feladatnál nagyban elősegítette a tudástér-elmélet használata, mely a kémia területén még új (*Taageperea és mtsai*, 2000, 2002, *Arasasungham és mtsai*, 2004), idehaza pedig egyedi vizsgálati módszernek számít. Az egyes tanulócsoportok tanulási útjának meghatározásával olyan tanmenetek készítését segíthetjük, melyekben a tananyag elemei az életkori sajátosságoknak megfelelő sorrendben kerülnek megtanításra.

Az eredmények közvetlen alkalmazására három fő területen látok lehetőséget. Elsőként a tanárképzést kell megemlíteni. Másodsorban tanári segédletek létrehozását, míg harmadikként szólnom kell arról is, hogy eredményeim további kutatási irányok kijelölésére is alkalmasak.

A felsőoktatás tanárképzésben betöltött egyik feladata, hogy megfelelő mesterségbeli kompetenciákkal vértessze fel a leendő tanárokat, akik az iskola falain belül képesek lesznek olyan ismereteket átadni a tanulóknak, melyeket azok az iskolapadból kikerülve is hasznukra fordíthatnak. Ehhez a tanároknak fel kell venni a versenyt a mindennapok igényeivel, illetve azok hatásával. A kémia oktatása különösen nehéz feladatot ró tanárainkra. Miután a kémia egy olyan

világot tár tanulóink elé, amelyben szemmel láthatatlan részecskéknek van döntő szerepe, nagyon fontos lenne, hogy az alapfogalmakat kellő mértékben megértsék. Ez azonban nem mindig történik meg, és diákjaink gyakran tévképzetekkel rendelkeznek. Két eset fordulhat elő. Vagy már az iskolába lépéskor rendelkeznek ezekkel az előzetes ismeretekkel, vagy az oktatás során alakulnak ki. Ahhoz, hogy tanáraink felkészültek legyenek a problémára, tisztában kell lenniük a tanuló ismeretsajátítási folyamatával, valamint konkrétan ismerniük kell egy-egy adott témakör tévképzeteit is. Tudniuk kell, hogy milyen előzetes elképzeléseket hogyan, milyen lépéseken keresztül lehet felváltani a tudományos ismeretre, és hogy hogyan tartósíthatók azok. Azaz nem elegendő pusztán a tévképzetekkel megismertetni őket, hanem különböző módszertani eszközöket kell a rendelkezésükre bocsátani, illetve meg kell tanítani őket arra, hogy hogyan készíthetik el önállóan azokat. Meg kell ismerniük a fogalmi fejlődés, illetve fogalmi váltás dinamikáját, hogy maguk is elő tudják idézni azt. Ez természetesen azt is jelenti, hogy alapvetően meg kell változtatni hozzáállásukat az ismeretsajátítás folyamatához, illetve magához az oktatáshoz is.

A kémiaoktatás egyik problémája, hogy a didaktikai kutatások eredményei nagyon nehezen, hosszú idő elteltével kerülnek át a gyakorlatba. Ezt a problémát többek között azzal is megpróbálhatjuk leküzdeni, hogy – amint azt már említettem – olyan módszertani eszközöket bocsátunk a tanárok rendelkezésére, melyek nagy segítséget jelenthetnek a mindennapi gyakorlatban, az oktatás során. A legjobb az lenne, ha magához a tankönyvekhez, munkafüzetekhez kapcsolódóan készülne el ezek a segédletek, így rögtön bevethetők lennének. Ezzel jelentős időt takaríthatnánk meg tanárainknak. Egyben példákat is szolgáltatnánk a további, önálló munkák elkészítéséhez. Ezek az eszközök tulajdonképpen a tévképzetkutatás, illetve a fogalmi fejlődés, fogalmi váltás vizsgálata során használt eszközök közül kerülhetnének ki elsődlegesen. Konkrétan lehetnek fogalmi térképek, diagnosztizáló tesztek, utótesztek, illetve tanítási módszerek is. E módszerek között kell felsorolni a fogalmi váltás technikáit is.

Végül meg kell említenem a jövőbeni kutatások fontosságát is. Céлом a magyar tanulók kémiai tévképzeteinek feltárása volt az alapfogalmak területén, de eredményeim további kérdések megfogalmazását vonták maguk után. Hipotéziseket alkottam az egyes tévképzetek kialakulásának okáról, amelyek csakis újabb kutatások segítségével igazolhatók. Időszerűvé vált az előző bekezdésben említett eszközök elkészítése, majd a gyakorlatban való tesztelése, hatásuk vizsgálata a tanulási folyamatban.

5. SUMMARY

Nowadays the aim of the scientific education is to transmit the applicable knowledge instead of the disciplinary one. Scientific subjects including chemistry must face multiple challenges considering their popularity. Students find chemistry an abstract discipline and difficult to study, and the reduction of lessons per week in the national curriculum is making the situation worse.

For a long time it has been a well-known fact that the students are not able to acquire the scientific concepts properly. In the last decades a lot of research works have proved that students have ideas, which are not harmony with the scientific concepts, and they have a lot in common. In certain fields the students have the same misconceptions. The question arises what the reason is. Many researchers tried to find the answer for it. One of the main research fields is to reveal students' misconceptions and the other one is to examine the process of knowledge acquirement. After the name of misconception more and more expressions were created which can express better the varied knowledge of students.

Although many students do their best to learn chemistry, nevertheless they are unsuccessful. One of the reasons for it is that they do not understand the basic concepts in truth and further on they can not build their knowledge on them. Because of this during my research work I intended to reveal some misconceptions concerning chemical basic concepts. Though the research has diagnostic nature first of all, beyond that my aim was to follow the students' conceptual development with the grades. This investigation became timely because while internationally the topic is dealt with at an advanced stage, whereas in Hungary a few inquiries have been made, which had similar aim in the field of chemistry (Korom, 2001).

During my research I examined the concepts of physical change, chemical change, amount of substance and element, compound and mixture. They are the basic scientific concepts of chemistry, so our students meet them first at school. In this case before entering school students have not pre-instructional concepts about them. Misconceptions concerning these concepts are the result of the education.

For my research I used written tests, in which the first task was to define the given concepts. The results show that the acquisition of these ideas is different considering students' age and it is not independent of the content of concept. However the complete understanding is rare at every age and level of understanding is only 60% even in the best case (chemical change). To the highest degree the students acquired the concept of physical change and chemical change. The concept of element, compound and mixture showed similar understanding. The biggest problem was to comprehend the idea of amount of substance. Considering the level of understanding there was not significant difference between the grades.

The second step of apprehension of concepts is to apply them in different tasks. In connection with physical change and chemical change students had to decide about 9 given processes which type they belong to. The 9 processes were given on three different levels (macro, sub-micro, and symbolic levels). On all the three levels there was a physical change, a chemical change and a dissolving. According to the results, independently of the level of representation, the dissolving caused the most problems for the students. This is line with the literary results. We should not wonder at it, if we take into consideration that to decide about the dissolving is hard for the teachers too. In this way in some cases a third type of processes: physico-chemical changes appear. The reason is that the interpretations of dissolving on particulate and macro levels do not coincide. On sub-micro level it is physical change because a new chemical particle does not appear, but on macro level we can regard it as a chemical change because a substance with new feature is formed. Besides all these the students could identify the chemical changes and the processes given on macro level most successfully.

It was even more difficult to judge which kind of characteristics the different processes have and what sort of changes can go with these processes. There may be some reasons for misconceptions revealed here. Firstly the textbooks present these kinds of processes by examples, and the second one the definitions given by course books are not unambiguous as required. Teachers do not make the students realise that a chemical change can mean more than a physical one, if the changes occurring during the physical change can happen in case of chemical change too. As an example the change of physical condition is discussed in textbooks at the topic of physical change, but later it is not cleared that this change can occur during a chemical change as well. Hereby during classifying features of processes, the students stick either to physical change or to chemical change categorically even if the feature can be characteristic of both.

The misunderstandings considering physical and chemical changes are the consequence of education, and the textbooks contribute to this too. Fundamentally the problem is that these concepts are taught in the 7th grade of primary school and at this age the students cannot distinguish the processes from this point of view. The reason is not only the multilevel interpretation, but that the students have not wide range of knowledge to solve this problem (Tóth, 2000). As the base is not built firmly and at the further grades these ideas are not discussed again, so these conceptions do not become secure in later years either.

Regarding amount of substance I revealed two misconceptions, which correspond to the wrong concepts appearing in the international literature. The lacks of understanding concerning the concept are due to several reasons. On the one hand the students do not realise that when they learn about the amount of substance then in fact its unit of measurement, the mole is defined. In addition the mole has two kinds of definitions. One is simple, it is taught at the 7th grade and another one which is more complicated. This one is referred to the C¹² isotope

similarly to the relative atomic mass and in this way wrong association with the mass of substance can be formed.

Understanding the concept of amount of substance correctly plays an important role in doing stoichiometric exercises, too. Because of this I chose simple tasks of this type to examine what strategies the students choose. Studying the solutions three kinds of strategies can be distinguished (mole method, proportionality method, and logical method).

The students prefer strategies learnt at school and only few of them try out their own methods. The mole method was used most often and the logical method the least. Though who chose the latter one could calculate the right result with more chance. Hereby I also made observations concerning two misconceptions:

- One mole is equivalent to Avogadro's number.
- One mole is equivalent to the molar mass of substance

Investigating the concepts of the element, the compound and the mixture, in addition to the concrete misconceptions – similarly to international observations – here in Hungary I also met the associations of element-atom and compound-molecule. Examining the right interpretation of the particulate drawings I realised that our students also apply the macro level characteristics on the sub micro level frequently.

The interpretation of the data was greatly promoted by the use of knowledge space theory, which is quite new in the field of chemistry and is considered a unique analytical method in Hungary. Determining the learning route of certain learning groups we can aid the compilation of syllabuses, which make it possible to teach the elements of the curriculum in due course corresponding with students' age peculiarities.

In my opinion there are 3 areas where the results could be applied directly. Firstly, in teacher training, secondly in creating teaching aids and thirdly to determine further research directions.

One of the tasks of higher education in teacher training is to provide appropriate professional skills for prospective teachers. With these skills they will be able to teach students what they can put to use after learning school. To do so teachers have to compete with the demands of our time and their influence as well. Teaching chemistry sets our teachers to an extremely difficult task as this science is about a world that is imperceptible to the eye. For this reason it would be very important for students to acquire a proper knowledge of the basic concepts. As a matter of fact, it is not always realized, our students have a lot of misconceptions. There are 2 reasons for it. Either they have them when they enter school, or they make them during education. To be prepared for the problem, our teachers should be aware of their students' learning process and their misconceptions in a given subject matter. Teachers must also know the steps how the wrong preconceptions can be replaced by scientific material of knowledge. It means that the simple realization of students' misconception is not enough for teachers. They should be

acquainted with different methodological tools that are available for them and how to create new ones by themselves. They must learn the dynamics of conceptual development and change so that they themselves can induce them. As a matter of course, it means changing our attitude radically to the learning and teaching process as well.

One of the problems of teaching chemistry is that it takes a long time for the results of didactic studies to be transferred into practice. We can cope with this problem if we provide usable and practical methodological tools for teachers to help them with teaching (mentioned above). It would be the best if these teaching aids were connected with the course books and workbooks, so that they could be used immediately. In this way teachers could save a lot of time and we could set an example for them how to make further, individual work. These tools could be chosen from the tools used in studying misconceptions, conceptual development and conceptual change mainly. More precisely they can be concept maps, diagnosing tests, post-tests or teaching methods. Among these methods we should mention the techniques of conceptual change.

At least I must mention the importance of further research work. Originally, I intended to reveal Hungarian students' misconceptions as far as the basic concepts are concerned, but the results I found during my research work raised further questions. I made hypotheses on the causes why certain misconceptions may form. It is very much on the agenda to make the tools mentioned in the above paragraph then to test them in practice and to examine their influence in the learning process.

6. IRODALOM

- ABIMBOLA, I. O. (1988). The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education*, 72 175-184.
- ABRAHAM, M. R., GRZYBOWSKI, E. B., RENNER, J. W., és MAREK, E. A. (1992). Understandings and Misunderstandings of Eighth Graders of Five Chemistry Concepts Found in Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching* 29 (2), 105-120
- AHTEE, M. és VARJOLA, I. (1998). Students' understanding of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, 20 (3), 305-316.
- ARASASINGHAM, R., TAAGEPERA, M., POTTER, F., LONJERS, S. (2004). Using knowledge space theory to asses students understanding of stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 81 (10) 1517-1523
- AUSUBEL, D. P. (1963). The psychology of meaningful verbal learning. Grune and Stratton, New York.
- AUSUBEL, D. P. (1968). Educational psychology: A cognitive view. Holt, Rinehart and Winston, New York.
- AYAS, A. and DEMBIRBAS, A. (1997), Turkish Secondary Students' Conceptions of the Introductory Concepts. *Journal of Chemical Education*, 74 (5), 518-521.
- BALÁZS Lórántné, J. BALÁZS Katalin (1996). KÉMIA I. Alapfok 13-14 éveseknek, Calibra Kiadó
- BARKER, V. (1995). A longitudinal study of 16-18 year olds' understanding of basic chemical ideas; D. Phil. Thesis; Department of Educational Studies; University of York; York, Cited in Barker V. *Beyond Appearances: Students' Misconceptions about Basic Chemical Ideas*; Royal Society of Chemistry; London, 2003; p 21.
- BRIGGS, H., HOLDING, B. (1986). Aspects of secondary students' understanding of elementary ideas in chemistry: Full report. Children's learning in science project Leeds; University of Leeds; Leeds, Cited in Barker V. *Beyond Appearances: Students' Misconceptions about Basic Chemical Ideas*; Royal Society of Chemistry; London, 2003; p 20.
- BROSNAN, T. (1999). When is a chemical change not a chemical change? *Education in Chemistry*, 36 (2), 56.
- BRUNER, S. J. (1968). Az oktatás folyamata. Tankönyvkiadó, Budapest
- CARAMAZZA, A., McCLOSKEY, M. és GREEN, B. (1981). Naiv beliefs in „sophisticated” subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9 117-123. id. KOROM, E. (2005)
- CAREY, S. (1985). Conceptual change in childhood. MIT Press, Cambridge.
- CAREY, S. (1988). Conceptual differences between children and adults. *Mind & Language*, 3, 67-181. (idézi diSessa és Sherin, 1998)

- CERVELLATI, R., MONTUSCHI, A., PERUGINI, D., GRIMELLINI-TOMASINI, N. and PECORI BALANDI, B. (1982). Investigation of Secondary School Students' Understanding of the Mole Concept in Italy. *Journal of Chemical Education*, 59 (10), 852-856.
- CHAMPAGNE, A. B., GUNSTONE, R. F. és KLOPPER, L. E. (1985). Instructional consequences of students' knowledge about physical phenomena. id. KOROM, E. (2005)
- 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. and 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.
- CLEMENT, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50 66 – 71.
- COSGROVE, M. R., és OSBORNE, R. (1981). Physical change: A working paper of the Learning in Science Project. University of Waikato, Hamilton, New Zealand
- CSAPÓ, B. (1998). Az iskolai tudás vizsgálatának elméleti keretei és módszerei. In: Csapó, B. (szerk.): *Az iskolai tudás*. Osiris Kiadó, Budapest. 11-37.
- diSESSA, A. A. (1982). Unlearning Aristotelian physics: A study of knowledge based learning. *Cognitive Science*, 6 37-75.
- diSESSA, A. A. (1998). Theoretical problems about conceptual change. Paper presented in the session "Theoretical problems about conceptual change". Second European Symposium on Conceptual Change. Universidad Autónoma de Madrid, November 6.-8.
- diSESSA, A. A. és SHERIN, B. L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1155-1191.
- DOIGNON, J-P. és FALMAGNE, J-C. (1999). Knowledge Spaces. Springer-Verlag, London.
- DRIVER, R. és EASLEY, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of the literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5 61-84.
- DRIVER, R. és ERICKSON, G. (1983). Theories-in-Action: Some Theoretical and Empirical Issues in the Study of Students' Conceptual Frameworks in Science. *Studies in Science Education*, 10 37-60.
- DUIT, R. (1991). Students' conceptual frameworks: Consequences for learning science. id. KOROM, E. (2005)
- DUIT, R. és TREAGUST, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25 (6), 671-688.

- EATON, J. F., ANDERSON, C. W. és SMITH, E. L. (1983). When students don't know they don't know. *Science and Children* 20 (7) 7-9.
- FELDMAN, A. (2000). Decision Making in the Practical Domain: A Model of Practical Conceptual Change. *Science Education*, 84 (5), 606-623.
- FURIÓ, C., AZCONA, R. és GUIASOLA, J. (2002). The learning and teaching of the concepts 'amount of substance' and 'mole': a review of the literature. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3 (3), 277-292.
- FURIÓ, C., AZCONA, R. and RATCLIFFE, M. (2000). Difficulties in teaching the concepts of 'amount of substance' and 'mole'. *International Journal of Science Education*, 22 (12), 1285-1304.
- GABEL, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76 (4), 548.
- GABEL, D. L. and BUNCE, D. M. (1994). Research on Problem Solving: Chemistry. *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Gabel D. (ed) 301-326.
- GABEL, D. L., SAMUEL, K. V. and HUNN, D. (1987). Understanding the Particulate Nature of Matter. *Journal of Chemical Education*, 64 (8), 695-697.
- 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. 69-95
- GILBERT, J. K. and SWIFT, D. J. (1985). Towards a Lakatosian Analysis of the Piagetian and Alternative Conceptions Research Programs. *Science Education*, 69 (5), 681-696.
- GILBERT, J. K., OSBORNE, R. J. and FENSHAM, P. J. (1982). Children's Science and Its Consequences for Teaching. *Science Education*, 66 (4), 623-633.
- GRIFFITHS, A. K. (1994). A critical analysis and synthesis of research on students' chemistry misconceptions. In: *Problem Solving and Misconceptions in Chemistry and Physics*, The International Council of Association for Science Education (ICASE), Schmidt, H. J. (ed.) 70-99.
- GRIFFITHS, A. K. és PRESTON, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 611-628. id. KOROM, E. (2005)
- HAMILTON, D. J. (1993). A peer-interview about complex events: Method as used in an investigation of students' preinstructional knowledge of mechanics. In. Novak, J. D. (szerk.): *Proceedings of the third international seminar on misconceptions and educational strategies in science and mathematics*. Department of education, Cornell University. New York. 2166-2185. id. KOROM, E. (2005)
- HARRISON, A. G. and TREAGUST, D. F. (2000). Learning about Atoms, Molecules, and Chemical Bonds: A Case Study of Multiple-Model Use in Grade 11 Chemistry. *Science Education*, 84 (3), 352-381.

- HENDERSON, D. W. (1987). Informal geometry is the true geometry. In: Novak, J. D. (szerk.): Proceedings of the second international seminar on misconceptions in science and mathematics. Department of Education, Cornell University. New York. 236-238. id. KOROM, E. (2005)
- HESSE, J. J. and ANDERSON, C. W. (1992). Students' Conceptions of Chemical Change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (3), 277-299.
- JOHNSON, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20 (4), 393-412.
- JOHNSON, P. (2000). Developing students' understanding of chemical change: what should we be teaching? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (1), 77-90.
- KECSKÉS Andrásné, ROZGONYI Jánosné (1997). KÉMIA 7., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- KIND, V. (2004). Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas. A report prepared for the Royal Society of Chemistry. (www.chemsoc.org/learnnet/miscon.htm)
- KINNER, J. (1983). Identification of misconceptions in genetics and the use of computer simulations in their correction. In: Helm, H. és Novak, J. D. (szerk.): Proceedings of the first international seminar on misconceptions in science and mathematics. Department of Education, Cornell University. New York. 102-111. id. KOROM, E. (2005)
- KOROM, E. (1998). Az iskolai és a hétköznapi tudás ellentmondásai: a természettudományos tévképzetek. In: Csapó Benő (szerk.): Az iskolai tudás. Osiris Kiadó, Budapest 139 – 169.
- KOROM, E. (1999). A naiv elméletektől a tudományos nézetekig. *Iskolakultúra*, 9 (10) 60-71.
- KOROM, E. (2001). A tudományos ismeretek elsajátítása – fogalmi fejlődés és fogalmi váltás. PhD értekezés, Szeged, SZTE
- KOROM, E. (2005). Fogalmi fejlődés és fogalmi váltás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- KRNEL, D., WATSON, R. és GLAZAR, S. A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of 'matter'. *International Journal of Science Education* 20 (3), 257-289.
- KUHN, T. S. (1984). A tudományos forradalmak szerkezete. Gondolat, Budapest.
- LAKATOS, I. (1998). Bizonyítások és cáfolatok. Typotex Kft., Budapest.
- LAVERTY, D. T. and MCGARVEY, J. E. B. (1991). A 'constructivist' approach to learning. *Education in Chemistry*, 28 (4), 99-102.
- LAZONBY, J. N., MORRIS, J. E. and WADDINGTON, D. J. (1982). The muddlesome mole. *Education in Chemistry*, 19 (4), 109-111.
- 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.
- McCLOSKEY, M. (1983). Naive theories of motion. In: Genter, D. és Stevens, A. (szerk.): *Mental models*. Erlbaum, Hillsdale, New Jersey. 299 – 324.
- MILLAR, R. (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, 11 (special issue), 587-596.
- NADRAINÉ Horváth Katalin, VARGA Imréné (1996). KÉMIA I. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- NAHALKA, I. (1997). Konstruktív pedagógia – egy új paradigma a láthatáron (I., II., III.). *Iskolakultúra*, 7 (2), 21-33., (3) 22-40., (4) 3-18.
- NAHALKA, I. (1999). Válságban a magyar természettudományos nevelés. Új pedagógiai szemle, 5, 3-22.
- NAHALKA, I. (2002). *Hogyan alakul ki a tudás a gyerekekben?* Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- NAKHLEH, M. B. (1992). Why Some Students Don't Learn Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 69 (3), 191-196.
- NELSON, P. G. (1991). The elusive mole. *Education in Chemistry*, 28 (4), 103-104.
- NIESWANDT, M. (2001). Problems and Possibilities for learning in an Introductory Chemistry Course from a Conceptual Change perspective. *Science Education*, 85 (2), 158-179.
- NOVAK, J. D. (1979). The reception learning paradigm. *Journal of Research in Science Teaching*, 16. 481-488.
- NOVAK, J. D. (2002). Meaningful learning: The Essential Factor for Conceptual Change in Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies Leading to Empowerment of Learners. *Science Education*, 86 (4), 548-571.
- NOVICK, S. és NUSSBAUM, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65 187-196.
- NURRENBERN, S. C.; PICKERING, M. (1987) *Journal of Chemical Education*, 64 508-510.
- NUSSBAUM, J. és NOVICK, S. (1982): Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11 183-200. id. KOROM, E. (2005)
- ONWU, G. O. M. és RANDALL, E. (2006). Some aspects of students' understanding of a representational model of the particulate nature of matter in chemistry in three different countries. *Chemistry Education Research and Practice*, 7 (4) 226-239.
- OSBORNE, R. J., BELL, B. F. és GILBERT, J. K. (1983). Science teaching and children's views of the world. *European Journal of Science Education*, 5 1-14. id. KOROM, E. (2005)
- POPPER, K. R. (1997). *A tudományos kutatás logikája*. Európa Könyvkiadó, Budapest.

- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. és GERTZOG, W. A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66 (2), 211-227.
- del POZO, R. M. (2001). Prospective teachers' ideas about the relationships between concepts describing the composition of matter. *International Journal of Science Education*, 23 (4), 353-371.
- RIEDEL, M. (1990). Fizikai kémiai definíciók és jelölések, Tankönyvkiadó, Budapest
- RIEDEL, M. (2004). XXI. Kémia tanári Konferencia, Előadásösszefoglalók, 81.
- SANGER, M. J. (2000). Using Particulate Drawings to Determine and Improve Students' Conceptions of Pure Substances and Mixtures. *Journal of Chemical Education*, 77 (6), 762-766.
- SANGER, M. J. (2005). *Journal of Chemical Education*, 82 131-134.
- SCHMIDT, H-J. (1994). Stoichiometric problem solving in high school chemistry, *International Journal of Science Education*, 16 (2), 191-200.
- SCHMIDT, H-J. (1997). An alternate path to stoichiometric problem solving, *Research in Science Education*, 27 (2), 237-249.
- SCHMIDT, H-J. (2003). Students' strategies in solving easy problems in stoichiometry. *Chemistry Education: Research and Practice*, 4 (3), 305-317.
- Dr. SIPOSNÉ Kedves Éva, PÉNTEK Lászlóné, HORVÁTH Balázs (1998). KÉMIA 7., Kémiai alapismeretek, MOZAIK Kiadó, Szeged
- Dr. SIPOSNÉ Kedves Éva, PÉNTEK Lászlóné, HORVÁTH Balázs (2001). KÉMIA 9., MOZAIK Kiadó, Szeged
- SOLSONA, N., IZQUIERDO, M. és de JONG, O. (2003). Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change. *International Journal of Science Education*, 25 (1), 3-12.
- STAINS, M. és TALANQUER, V. (2007). Classification of Chemical Substances Using Particulate Representations of Matter: An Analysis of Student Thinking. *International Journal of Science Education*,
- STAINS, M. és TALANQUER, V. (2007). A₂: Element or Compound? *Journal of Chemical Education* 84 (5), 880-883.
- STAYER, J. R. és LUMPE, A. T. (1993). A Content Analysis of the Presentation of the Mole Concept in Chemistry Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (4), 321-337.
- STAVRIDOU, H. and SOLOMONIDOU, C. (1989). Physical phenomena – chemical phenomena: do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*, 11 (1), 83-92.
- STAVRIDOU, H. és SOLOMONIDOU, C. (1998). Conceptual reorganization and construction of the chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, 20 (2), 205-221.
- STAVY, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10 (5), 553-560.

- STAVY, R. and STACHEL, D. (1985). Children's ideas about 'solid' and 'liquid'. *European Journal of Science Education*, 7 (4), 407-421.
- STRAUSS, S. és STAVY, R. (1983). Engaging children's intuitive physics concepts via curriculum units: the case of heat and temperature. In: Helm, H. és Novak, J. D. (szerk.): Proceedings of the first international seminar on misconceptions in science and mathematics. Department of Education, Cornell University. New York. 310-321. id. KOROM, E. (2005)
- STRIKE, K. A. and POSNER, G. J. (1982). Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education*, 4 (3), 231-240.
- STRIKE, K. A. (1983). Misconception and conceptual change: Philosophical reflection on the research program. In: Helm, H. és Novak, J. D. (szerk.): Proceedings of the first international seminar on misconceptions in science and mathematics. Department of education, Cornell University. New York. 85-97. id. KOROM, E. (2005)
- STRÖMDAHL, H., TULLBERG, A and LYBECK, L. (1994). The qualitatively different conceptions of 1 mol. *International Journal of Science Education*, 16 (1), 17-26.
- TAAGEPERA, M., NORI, 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.
- 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 (6) 756-762.
- TABER, K. S. (1998). An alternative conceptual framework from chemistry education. *International Journal of Science Education*, 20 (5), 597-608.
- TABER, K. S. (2002). Chemical misconceptions: - prevention, diagnosis and cure. Royal Society of Chemistry, London
- TABER, K. S. és WATTS, M. (1996). The secret life of the chemical bond: students' anthropomorphic and animistic references to bonding, *International Journal of Science Education*, 18 (5), 557-568.
- TALANQUER, V. (2006). Commonsense Chemistry: A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83 (5), 811 – 816.
- TÓTH, Z. (1999). A kémiai tankönyvek, mint a tévképzetek forrásai. *Iskolakultúra*, 9 (10), 103-108.
- TÓTH, Z. (2000a). Kémiai számítások dimenzióanalízissel. *A Kémia Tanítása*, 8 (1), 23-25.
- TÓTH, Z. (2000b). „Bermuda-háromszögek” a kémiában. *Iskolakultúra*, 10 (10) 71 – 76.
- TÓTH, Z. (2002a): A kémiai fogalmak természete. *Iskolakultúra*, 12 (4) 92-95.
- TÓTH, Z. (2002b). A fizikai és kémiai változás tanításának problémái. *A Kémia Tanítása*, 10 (5), 3-10.

- TÓTH, Z. (2004). Students' strategies and errors in balancing chemical equations. *Journal of Science Education*, 5, (1) 33 – 37.
- TÓTH, Z. (2005). A tudásszerkezet és a tudás szerveződésének vizsgálata a tudástér-elmélet alapján. *Magyar Pedagógia*, 105 (1) 59-82
- TOULMIN, S. (1972). Human understanding. Princeton University Press. (idézi Posner és mtsai, 1982)
- TSAPARLIS, G. (2003). Chemical phenomena versus chemical reactions: do students make the connection? *Chemistry Education: Research and Practice*, 4 (1), 31-43.
- VIENNOT, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1 205-221. id: KOROM, E. (2005)
- VIGOTSKIJ, L. SZ. (1967). Gondolkodás és beszéd. Akadémia Kiadó, Budapest
- VILLÁNYI Attila (2000). KÉMIA I., Bevezetés a kémiába, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- VOSNIADOU, S. and IOANNIDES, C. (1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1213-1230.
- VOSNIADOU, S. és IOANNIDES, C. (1999). A fogalmi fejlődéstől a természettudományos nevelésig. *Iskolakultúra*, 9 (10) 18-32.
- WANDERSEE, J. H., MINTZES, J. J. and NOVAK, J. D. (1994). Research on Alternative Conceptions in Science. *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Gabel D. (ed) 177-210.
- WHITE, R. T. and GUNSTONE, R. F. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11 (special issue), 577-586.
- ZOLLER, U. (1990). Students' misunderstandings and misconceptions in college freshman chemistry (general and organic). *Journal of Research in Science Teaching*, 27 1053-1065. id: KOROM, E. (2005)
- Z. ORBÁN Erzsébet (1996) KÉMIA I., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- Z. ORBÁN Erzsébet (2003) KÉMIA 7., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- ZSUGA Jánosné (1997). KÉMIA 12-13 éveseknek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest

7. TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓK

Az értekezés alapját képező közlemények

Referált, nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemények adatai:

1. Tóth Zoltán – Kiss Edina

Hungarian secondary school students' strategies in solving stoichiometric problems

Journal of Science Education, Vol. 6. No. 1, (2005) p. 47 – 49.

2. Tóth Zoltán – Kiss Edina

Using Particulate Drawings to Study 13-17 Year Olds' Understanding of Physical and Chemical Composition of Matter as well as the State of Matter

Practice and Theory in Systems of Education, Vol. 1. No. 1, (2006) p. 109 – 125.

(<http://eduscience.fw.hu>)

3. Tóth Zoltán – Kiss Edina

Modelling Students' Thinking Patterns in Describing Chemical Change at Macroscopic and Submicroscopic Levels

Journal of Science Education (beküldve)

Referált, magyar nyelvű folyóiratban megjelent közlemény:

1. Tóth Zoltán – Kiss Edina

A fizikai és kémiai változások azonosításával kapcsolatos tudásszerkezet

Iskolakultúra, 17. évfolyam, 1. szám, (2007) 19-30.

Nem referált folyóiratokban megjelent közlemények:

1. Tóth Zoltán – Kiss Edina

Középiskolai tanulók feladatmegoldó stratégiái egyszerű sztöchiometriai problémákra

A Kémia Tanítása, 12. évfolyam, 1. szám, (2004) 7-11.

2. Kiss Edina – Sebestyén Annamária – Dr. Tóth Zoltán

A tanulók tévképzei és fogalmi fejlődése a fizikai változás és kémiai változás témakörében

A Kémia Tanítása, 13. évfolyam, 4. szám, (2005) 11-22.

3. Kiss Edina – Dr. Tóth Zoltán

A tanulók anyagmennyiséggel kapcsolatos fogalmi megértése és fejlődése
Középiskolai Kémiai Lapok, XXXIII. évf. 1. szám, (2006) 72-90.

Konferenciákon tartott előadások:

1. Kiss Edina

Tévképzet kutatás a kémia néhány alapvető fogalmának területén
III. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2003. (Program és Tartalmi Összefoglalók, 347. o.)

2. Kiss Edina – Tóth Zoltán

Tanulói tévképzetek vizsgálata a kémia alapfogalmainak területén
IX. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, Románia, 2003. (Összefoglalók, 235-238. o.)

3. Kiss Edina – Tóth Zoltán

Tanulói tévképzetek kutatása a kémia alapfogalmainak területén
XXI. Kémiatanári Konferencia, Pécs, 2004. (Összefoglalók, 80-81. o.)

4. Kiss Edina – Tóth Zoltán

A tanulók fogalmi fejlődésének vizsgálata az „elem, vegyület és keverék” témakörben
XXI. Kémiatanári Konferencia, Pécs, 2004. (Összefoglalók, 82-83. o.)

5. Kiss Edina

Az anyagmennyiség fogalmával kapcsolatos tévképzetek
IV. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2004. (Program és Tartalmi Összefoglalók, 310. o.)

6. Kiss Edina – Dr. Tóth Zoltán

Tévképzetek a kémiában
Tavaszi Szél 2005 – VIII. Országos PhD Konferencia, Debrecen, 2005. (Konferencia kiadvány 220 – 223. o.)

7. Kiss Edina

A tanulók részecskeábrák azonosításában mutatott teljesítménye és tudásszerkezete
V. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2005. (Program és Tartalmi Összefoglalók, 159. o.)

8. Tóth Zoltán – Kiss Edina

Általános és középiskolás tanulók fizikai és kémiai változások megkülönböztetésével kapcsolatos tudásszerkezete

VI. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2006. (Program és Tartalmi Összefoglalók, 139. o.)

9. Kiss Edina – Tóth Zoltán

Tévképzetek a fizikai és a kémiai változásról

XXIII. Kémiatanári Konferencia, Budapest, 2008. (közlésre elfogadva)

Konferenciákon bemutatott posztterek:

1. Kiss Edina – Tóth Zoltán

Hungarian students' misconceptions in basic chemistry ideas

7th European Conference on Research in Chemical Education, Ljubljana, Slovenia, 2004. (Programme and abstracts, p. 229-230.)

2. Kiss Edina – Tóth Zoltán

Students' misconceptions regarding to the mole concept

8th European Conference of Chemistry Teachers, Eisenstadt, 2005. (Book of Abstracts, p. 68.)

3. Tóth Zoltán – Kiss Edina

Using Particulate Drawings to Study 13-17 Year Olds' Understanding of Physical and Chemical Composition of Matter as well as the State of Matter

1st European Chemistry Congress, Budapest, 2006. (Abstract Book, p. 237.)

4. Teresa M. Santos – Kiss Edina – Fontes Rosa – Nilza Costa – Tóth Zoltán

Detecção de Concepções Alternativas, ou Erradas, em Conceitos Básicos de Química, em Alunos Húngaros e Portugueses: Estudo Comparativo

(Tévképzetek és alternatív fogalmak kutatása a kémia alapfogalmai területén, magyar és portugál tanulók körében: összehasonlító vizsgálat)

XII. Encontro Nacional Educacao em Ciencias, Vila Real, Portugália 2007. Setembro 27-29.

5. Teresa M. Santos – Kiss Edina – Nilza Costa – Tóth Zoltán – Rosa Fontes

Estudo Comparativo em Alunos Húngaros e Portugueses: Detecção de Concepções Alternativas, ou Erradas, em Conceitos Básicos de Química

(Magyar és portugál tanulók körében végzett összehasonlító vizsgálat: alternatív fogalmak és tévképzetek kutatása a kémia alapfogalmai területén)

V. Encontro nacional da Divisão de Ensino e Divulgação da Química, (DEDQ) Braga, Portugália, 2007. november 8-10.

Az értekezés témájához közvetlenül nem kapcsolódó publikációk

1. Tóthné Kiss Edina - Soltész György

Jelek és szimbólumok értelmezése a kémiában és a hétköznapiakban

Módszerek és eljárások, 10. (Szerk.: Tóth Z.), KLTE Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen, 1998. 67-72. oldal

2. Soltész György - Kiss Edina

Triciklodekán-izomerek szénvázának modellezése. A lehetséges izomerek megkeresése pálcikamodellel

Módszerek és eljárások, 11. (Szerk.: Tóth Z.), DE Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen, 2000. 22-28. oldal

3. Kiss Edina - Soltész György

Gyűrűk megkeresése a triciklodekán-izomerek képleteiben. A tanulók megoldási algoritmusai

Módszerek és eljárások, 11. (Szerk.: Tóth Z.), DE Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen, 2000. 29-36. oldal

4. Soltész György - Kiss Edina

Problématiszerű feladatok a középiskolai kémia tanításában (előadás)

Program és Tartalmi Összefoglalók, I. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2001. 182. oldal

5. Kiss Edina – Tóth Zoltán

Fogalmi térképek a kémia tanításában

Módszerek és eljárások, 12. (Szerk.: Tóth Z.), DE Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen, 2002. 63-69. oldal

6. Soltész György – Kiss Edina

A kémiatankönyvek ábráinak szerepe a térlátás fejlesztésében

Módszerek és eljárások, 12. (Szerk.: Tóth Z.), DE Kémia Szakmódszertani Részleg, Debrecen, 2002. 128-132. oldal

7. Kiss Edina

Kekule álma, avagy a benzol szerkezete (poszter)

Előadás összefoglalók, XX. Kémiatanári Konferencia, Eger, 2002. 122. oldal

8. Kiss Edina – Tóth Zoltán

Fogalmi térképek (poszter)

Előadás összefoglalók, XX. Kémiatanári Konferencia, Eger, 2002. 124. oldal

9. Kiss Edina – Tóth Zoltán

Fogalmi térképek a kémia tanításában (poszter)

II. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2002. (Program és Tartalmi Összefoglalók, 254. o.)

10. Tóth Zoltán – Kiss Edina – Hans-Dieter Barke

Egy kémiatanításban használható térszemléleti teszt hazai adaptációja

Magyar Pedagógia 103. évfolyam, 4. Szám, (2003) 459 – 479. oldal

11. Tóth Zoltán – Kiss Edina – Búzásné Nagy Gabriella

Egy térszemlélet mérésére alkalmas teszt hazai adaptációja

Középiskolai Kémiai Lapok, XXXI. évf. 5. szám, (2004) 432-450. oldal

12. Kiss Edina – Tóth Zoltán

Térszemlélet mérése a kémiában (poszter)

Program és Tartalmi Összefoglalók, IV. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2004. 242. oldal

13. Kiss Edina – Tóth Zoltán – Soltész György

Egy térlátást mérő teszt hazai kipróbálásának tapasztalatai (poszter)

XXI. Kémiatanári Konferencia, Pécs, 2004. (Összefoglalók, 160. o.)

14. Soltész György – Benyó Enikő – Kiss Edina

Gyakorló feladatok a térlátás fejlesztéséhez (poszter)

XXI. Kémiatanári Konferencia, Pécs, 2004. (Összefoglalók, 174. o.)

15. Kiss Edina – Tóth Zoltán

Térszemlélet mérése a kémiában (poszter)

IV. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2004. (Program és Tartalmi Összefoglalók, 242. o.)

16. Kiss Edina – Soltész György – Tóth Zoltán

A Barke-féle térszemléleti teszt

Középiskolai Kémiai Lapok, XXXII. évf. 2. szám, (2005) 141-154. oldal

8. MELLÉKLETEK

1. sz. melléklet

A felmérésben résztvevő iskolák

Kód	Az iskola neve	Cím	Kapcsolattartó tanár
01	Ady Endre Gimnázium	4024 Debrecen, Liszt Ferenc tér 3.	Kertiné Szakáll Anna
02	Bányai Júlia Gimnázium	6000 Kecskemét, Nyíri út 11.	Reiterné Makra Zsuzsanna
03	Berze Nagy János Gimnázium és Szakiskola	3200 Gyöngyös, Kossuth L. u. 33.	Ludányi Lajos
04	Bocskai István Gimnázium	4220 Hajdúböszörmény, Bocskai I. tér 12.	Nagyné Dakos Tímea
05	DE Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma	4024 Debrecen, Csengő u.	Dr. Tóth Zoltán
06	Diósgyőri Gimnázium	3534 Miskolc, Kiss tábornok u. 42.	Bodnár Judit
07	Dóczy Gedeon Református Gimnázium	4024 Debrecen, Kossuth L. u. 35	Jakab Edit
08	ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnázium	1053 Budapest, Papnövelde u. 4-6.	Villányi Attila
09	Eötvös József Gimnázium	1053 Budapest, Reáltanoda u. 7.	Dancsó Éva
10	Herman Ottó Gimnázium	3525 Miskolc, Tizeshonvéd u. 21.	Juhász Attila
11	Katona József Gimnázium és Számítástechnikai Szakközépiskola	6000 Kecskemét, Dózsa Gy. u. 3.	Reiter István
12	Kossuth Lajos Gimnázium és Kereskedelmi Szakközépiskola	5350 Tiszafüred, Baross út 36.	Czeplédi Erzsébet Jakab Tibor

13	Sancta Maria Leánygimnázium	3300 Eger, Kossuth u. 8.	Váraljai Pálné
14	Szent Imre Katolikus Gimnázium	4400 Nyíregyháza, Ungvár sétány 19.	Márku Ágnes
15	Vak Bottyán Gimnázium	7030 Paks, Dózsa Gy. u. 103.	Hosszú Istvánné
16	Vasvári Pál Gimnázium	8000 Székesfehérvár, Prohászka u. 71.	Szabó Endre
17	Váci Mihály Gimnázium	3078 Bátorfőtereny, Váci út 5.	Kakuk Erika

2. sz. melléklet

Az adatgyűjtést szolgáló 3 felmérőlap

A FIZIKAI ÉS KÉMIAI VÁLTOZÁS FOGALMÁT FELMÉRŐ LAP

Karikázd be a rád vonatkozó jellemzőket!

A tanuló neme: fiú – lány

Évfolyam: 7 – 8 – 9 – 10 – 11

Osztály: A – B – C – D – E

Előző félévi kémia jegy: 1 – 2 – 3 – 4 – 5

Dátum:.....

1.) Írd le a fizikai és kémiai változás fogalmát! Írj példákat!

1.1. Fizikai változás:.....

.....

.....

.....

1.2. Példák fizikai változásra:.....

.....

.....

.....

1.3. Kémiai változás:.....

.....

.....

.....

1.4. Példák kémiai változásra:.....

.....

.....

.....

2.) A következő változásokról dönts el, hogy fizikai vagy kémiai változások-e! Válaszodat a változás mellé írt megfelelő betűvel jelöld, majd indokold!

A) fizikai változás

B) kémiai változás

C) mindkettő

D) egyik sem

E) nem tudom

2.1. vas rozsdásodása

Indoklás:.....

.....

.....

.....

A) fizikai változás

B) kémiai változás

C) mindkettő

D) egyik sem

E) nem tudom

2.2 üveg összetörése

Indoklás:.....

.....

.....

.....

2.3. *cukor oldása vízben*

Indoklás:.....

2.4. $Na_{(sz)} + h\nu \rightarrow Na_{(f)}$

Indoklás:.....

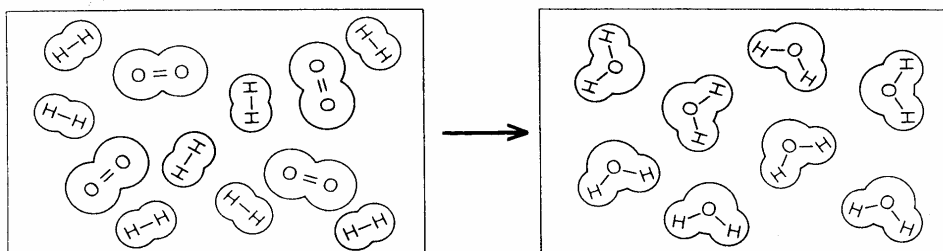
2.5. $Ag^+_{(aq)} + NO_3^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} \rightarrow AgCl_{(sz)} + Na^+_{(aq)} + NO_3^-_{(aq)}$

Indoklás:.....

2.6. $NaCl_{(sz)} + víz \rightarrow Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$

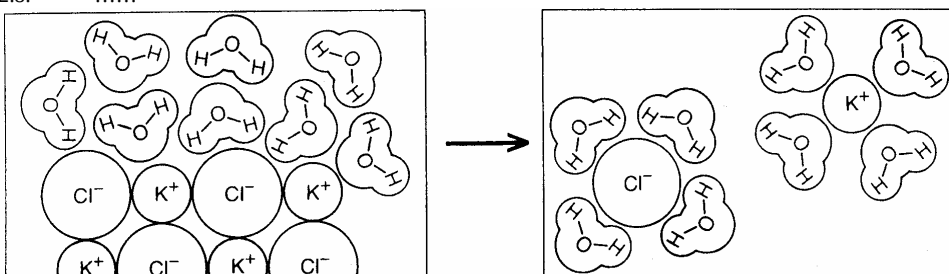
Indoklás:.....

2.7.



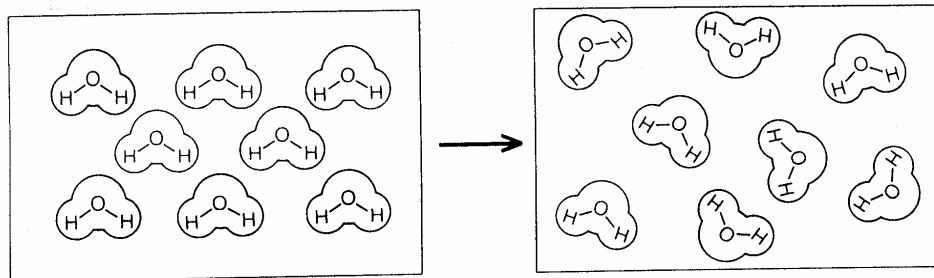
Indoklás:.....

2.8.



Indoklás:.....

2.9.



Indoklás:.....

3.) A következő jellemzők mellé írd oda az alábbi betűk megfelelőjét!

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| A) a fizikai változást jellemezheti | B) a kémiai változást jellemezheti |
| C) mindkettőre jellemző lehet | D) egyikre sem jellemző |
| E) nem tudom | |

- 3.1. új tulajdonságú anyag megjelenése
- 3.2. új kémiai részecske megjelenése
- 3.3. fizikai tulajdonság megváltozása
- 3.4. fényjelenség
- 3.5. színváltozás
- 3.6. kémiai tulajdonság megváltozása
- 3.7. halmazállapot változás
- 3.8. gázképződés
- 3.9. lehűlés vagy felmelegedés
- 3.10. tömegváltozás
- 3.11. térfogatváltozás
- 3.12. az anyag összetételének megváltozása
- 3.13. elsőrendű kötések felbomlása
- 3.14. az anyag visszafordítható átalakulása
- 3.15. elektron kiszakadása az elektronburokból, vagy beépülése az elektronburokba
- 3.16. új elsőrendű kötések kialakulása
- 3.17. az anyag nem visszafordítható átalakulása
- 3.18. az atommag összetételének megváltozása
- 3.19. reakcióegyenlettel leírható változás
- 3.20. elsőrendű kötések egyidejű felbomlása és kialakulása
- 3.21. a részecskék (atomok, ionok, molekulák) elektronszerkezetének megváltozása
- 3.22. az anyagok minőségének megváltozása
- 3.23. az anyagi halmazban a részecskék geometriai elrendeződésének megváltozása
- 3.24. másodrendű kötések felbomlása, vagy kialakulása
- 3.25. vegyjelekkel és képletekkel leírható változás

A „MÓL” FOGALMÁT FELMÉRŐ LAP

Karikázd be a rád vonatkozó jellemzőket!

A tanuló neve: fiú – lány

Évfolyam: 7 – 8 – 9 – 10 – 11

Osztály: A – B – C – D – E

Előző félévi kémia jegy : 1 – 2 – 3 – 4 – 5

Dátum:.....

1. Írd le az anyagmennyiség fogalmát!

.....
.....
.....
.....

2. Mi a különbség a „mól” és a „mol” között?

.....
.....
.....
.....

3. Írd a következő meghatározások mellé a megfelelő mértékegység jelét!

<i>Meghatározás</i>	<i>Mértékegység jele</i>
anyagmennyiség	
Avogadro-állandó	
moláris tömeg	
relatív tömeg	
tömeg	

4. Milyen anyagi rendszerek mennyiségét lehet megadni az anyagmennyiséggel? Karikázd be a megfelelő választ/válaszokat!

- A) atomok, molekulák, ionok
B) elemi részecskék (proton, neutron, elektron)
C) vegyületek
D) kémiai reakciók
E) szilárd anyagok
F) bármilyen anyag
G) egyéb:.....
H) nem tudom

5. Szerinted miért volt szükség az anyagmennyiség fogalmának, illetve mértékegységének bevezetésére? Karikázd be az általad helyesnek vélt választ/válaszokat!

- A) azért, mert egységnyi anyagmennyiségű részecskének már mérhető tömege van
B) azért, mert a kémiai reakciók sohasem néhány, hanem sok részecske között játszódnak le
C) azért, mert egy anyagi halmaz tulajdonsága függ a halmazt felépítő részecskék számától
D) azért, hogy ne kelljen nagy számokkal dolgozni
E) azért, hogy ne kelljen kis számokkal dolgozni
F) azért, hogy segítségével egyszerűbben leírassuk az egymással reagáló anyagok arányát
G) egyéb magyarázat:

.....
.....
H) nem tudom

6. Szerinted miért éppen $6 \cdot 10^{23}$ (pontosabban $6,022 \cdot 10^{23}$) az Avogadro szám értéke? Miért nem $1 \cdot 10^{24}$ vagy $5 \cdot 10^{23}$?

A) azért, mert egy atom $6 \cdot 10^{23}$ darabjának tömege megegyezik az illető atom relatív atomtömegének grammokban kifejezett értékével (ez megkönnyíti a kémiai számításokat)
B) azért, mert önkényesen választották meg, éppúgy, mint a hosszúság és a tömeg egységét
C) azért, mert ennyi atomot tartalmaz 12 g 12-es tömegszámú szénizotóp és ez a relatív atomtömeg-skála alapja
D) egyéb magyarázat:
.....
.....
E) nem tudom

7. Írj valamilyen szemléletes példát arra, hogy milyen nagy szám a $6 \cdot 10^{23}$!

.....
.....
.....
.....

8. Mit jelent a következő jelölés? 3CO_2 A megfelelő választ/válaszokat karikázd be!

A) a CO_2 mól száma 3
B) a CO_2 móljainak száma 3
C) a CO_2 anyagmennyisége 3 mol
D) a CO_2 tömege 3 g
E) a CO_2 térfogata 3 dm^3
F) a CO_2 molekulák száma 3
G) a CO molekulák száma 2
H) a molekula 3 C atomból és 1 O_2 molekulából áll
I) egyéb:.....
J) nem tudom

9. Hány molekulát tartalmaz 32 g CH_4 ?

A) $2 \cdot 6 \cdot 10^{23}$
B) 2 mol
C) 5 mol
D) 10 mol
E) 5
F) 10
G) 2 molekulát
H) egyéb:.....
I) nem tudom

10. Számítsd ki a következőket! Írd a kérdés mellé a megfelelő választ röviden! A számításhoz a következő relatív atomtömegeket használd!

$A_r(\text{C}) = 12$ $A_r(\text{Na}) = 23$ $A_r(\text{Si}) = 28$ $A_r(\text{S}) = 32$ $A_r(\text{Ca}) = 40$ $A_r(\text{K}) = 39$

Mennyi az anyagmennyisége

a) $1,5 \cdot 10^{23}$ db kénatomnak?
b) 60 g kalciumnak?

Hány darab kémiai részecskét (atomot) tartalmaz

- a) 0,5 mol kálium?
b) 56 g szilícium?

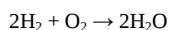
Hány gramm

- a) 4 mol nátrium?
b) $18 \cdot 10^{23}$ db szénatom?

11. Hány gramm szén van 96 g MgC_2 -ben? Írd le a számítás menetét!

$$A_r(\text{Mg}) = 24 \quad A_r(\text{C}) = 12$$

12. Értelmezd a következő kémiai reakció egyenletét! Mit jelent? Több választ is bekarikázhatsz.



- A) 2 mol hidrogéngáz és 1 mol oxigéngáz reakciójakor 2 mol víz keletkezik
B) a molekulák hevesen reagálnak
C) 2 db hidrogénmolekula és 1 db oxigénmolekula reagál egymással és 2 db vízmolekula képződik
D) a reakció hőfejlődéssel jár
E) hidrogén- és oxigénatomok reakciójakor vízmolekulák keletkeznek
F) 4g hidrogén és 32 g oxigén reakciója során 36 g víz képződik
G) 2 db hidrogénatom és 1 db oxigénatom reakciójakor 2 db vízmolekula jön létre
H) víz képződik, de csak akkor, ha a jelenlévő hidrogén- és oxigénmolekulák aránya pontosan 2 : 1
I) $2 \cdot 6 \cdot 10^{23}$ db hidrogénmolekula és $6 \cdot 10^{23}$ db oxigénmolekula reakciójakor $2 \cdot 6 \cdot 10^{23}$ db vízmolekula keletkezik
J) egyéb:.....
K) nem tudom

AZ ELEM, VEGYÜLET, KEVERÉK FOGALMÁT FELMÉRŐ LAP

Karikázd be a rád vonatkozó jellemzőket!

A tanuló neve: fiú – lány

Évfolyam: 7 – 8 – 9 – 10 – 11

Osztály: A – B – C – D – E

Előző félévi kémia jegy: 1 – 2 – 3 – 4 – 5

Dátum:.....

1. Írd le a következő alapfogalmakat!

elem:.....
.....
.....

keverék:.....
.....
.....

vegyület:.....
.....
.....

2. Írd a következő állítások mellé annak a halmaznak a betűjelét, amelyre igaz az állítás! Több válasz is lehetséges. Ha egyik halmazra sem illik az állítás, írd mellé S betűt!

E : elem V : vegyület K : keverék S : egyikre sem igaz
N : nem tudom

- a) különböző atomokból épül fel
- b) kémiai eljárással egyszerűbb anyagokká bontható
- c) folyékony halmazállapotú (25°C, 0,1 MPa körülmények között)
- d) azonos atomokból épül fel
- e) különböző molekulákból épül fel
- f) kémiai eljárással nem bontható egyszerűbb anyagokká
- g) csak mesterségesen állítható elő
- h) fizikai eljárással szétválasztható
- i) olyan molekulákból épül fel, melyek többféle atomot tartalmaznak
- j) azonos molekulákból épül fel
- k) ilyen anyag az oldat
- l) benne az alkotórészek aránya állandó
- m) benne az összetevők eredeti tulajdonságait megőrzik

3. Sorold be a következő anyagokat (egészüket tekintve) a megfelelő helyre!

levegő, konyhasó, szénsavas ásványvíz, sósav, szén-dioxid, bróm, oxigén, benzin, sárgaréz, jégkocka vízben, ózon, ammónium-klorid, víz, vörösréz, mazsolás krémtúró, acél, (a vérszegénység kezelésére szolgáló) vastabletta

tiszta anyagok - elem :.....
.....
.....

tiszta anyagok - vegyület :.....
.....
.....

homogén keverék :.....

.....
.....

heterogén keverék :.....
.....
.....

a következő anyagokat nem tudom besorolni :.....
.....
.....

4. Az előző feladatban szereplő anyagokon kívül írd önállóan 3 - 3 példát ezekre az anyagi halmazokra!

tiszta anyagok - elem :.....
.....

tiszta anyagok - vegyület :.....
.....

homogén keverék :.....
.....

heterogén keverék :.....
.....

5. Az alábbi mondatokban a kipontozott helyre értelemszerűen írd be a megfelelő szót a következők közül:

ATOM, ATOMOK, MOLEKULA, MOLEKULÁK, ELEM, ELEMÉK, VEGYÜLET, VEGYÜLETEK!

Ha úgy ítéled meg, hogy nem kell kiegészíteni, akkor húzd ki (-)! Ha nem tudod, hogy mit kell odaírnod, akkor hagyd üresen a kipontozott részt!

A kovalens kötés eredményeként néhány meghatározott számú összekapcsolódásával keletkezik.

Ha a vizet elektromos árammal bontjuk (elektrolizáljuk), akkor kétféle keletkezik.

A szilárd jó melegítésekor lilás színű gőz keletkezik, melyben jó vannak.

Az az egyszerű anyagok közé tartoznak.

A SiO_2 összegképletű felépítésében szilícium és oxigén vesznek részt.

Az O_3 és az O_2 egyazon, az oxigén részecskéi.

Az összetett anyagok közé tartozik a

Az ammónia alakja háromszögalapú piramis, és benne valamennyi hidrogén egyvegyértékű.

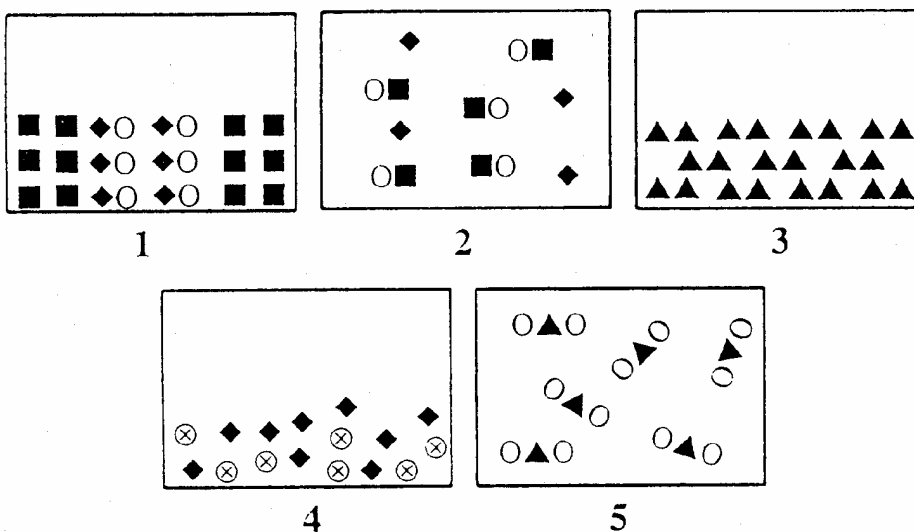
A kénsav felépítésében háromféle vesz részt: hidrogén, kén, és oxigén

Nátrium és klór reakciójában NaCl keletkezik.

Az periódusos rendszerében általában feltüntetik az halmazállapotát és az méretét is.

A periódusos rendszer nem tartalmaz a oldhatóságára vagy a alakjára vonatkozó adatokat.

6. A következő rajzok atomokat és molekulákat ábrázolnak egyszerűsített módon. Sorold be ezeket az ábrákat (1-5) a következő három szempont szerint a megfelelő tulajdonságok alapján! Minden egyes ábrát osztályoznod kell mindhárom helyre! Írd a kipontozott helyre az odatartozó ábra számát!



- A) Az anyag halmazállapota:

.....
szilárd

.....
folyékony

.....
gáz

- B) Az anyag fizikai összetétele:

.....
tisztá anyag

.....
heterogén keverék

.....
homogén keverék

- C) Az anyag kémiai összetétele:

.....
elem

.....
vegyület

.....
mindkettő van benne

3. sz. melléklet

A tanulók által adott válaszelemek a fizikai, illetve a kémiai változásra

1. A fizikai változás

	Előforduló válaszelem	7.	8.	9.	10.	11.	
1.	Halmazállapot változás	23	26	23	46	34	152
2.	A fizikai tulajdonság megváltozása	20	25	16	39	30	130
3.	Az anyag (belső) szerkezete nem változik	30	32	20	17	17	116
4.	Nem keletkezik új anyag	30	27	25	13	10	105
5.	(belső) (kémiai) összetétel nem változik	22	27	17	14	15	95
6.	Nincs válasz	22	17	13	13	17	82
7.	Hőmérsékletváltozás	8	7	12	15	12	54
8.	Külső tulajdonság (felszín) megváltozása	8	13	10	9	14	54
9.	Színváltozás	9	13	3	10	7	42
10.	Alak/forma változása	5	7	7	11	11	41
11.	Anyagi minőség nem változik	10	3	5	5	7	30
12.	A részecskékből (azok összetételében) nem tört. vált.	16	8	3	0	1	28
13.	Térfogatváltozás	5	3	4	8	7	27
14.	Az eredeti anyag visszanyerhető/visszafordítható foly.	2	3	5	8	7	25
15.	(bizonyos/néhány) tulajdonság megváltozása	10	4	2	4	2	22
16.	Az anyag/halmaz szerkezete változik	3	1	3	8	7	22
17.	Érzékszerveinkkel megállapítható változás	6	7	1	2	1	17
18.	Kémiai tulajdonság nem változik	3	2	3	6	2	16
19.	Kémiai változás (reakció) nem megy végbe	0	2	8	2	4	16
20.	Szag változása	4	1	1	5	4	15
21.	Anyagi minőség változik	3	1	5	2	4	15
22.	Másodrendű kötések jönnek létre és/v. szakadnak szét	0	2	2	5	6	15
23.	Tömeg/súlyváltozás	3	5	1	2	3	14
24.	Külső befolyás/erő/környezet hatására bekövetkező v.	1	1	6	4	2	14
25.	Szemmel látható tulajdonság változása	2	1	6	2	1	12
26.	A test anyaga nem változik	5	4	0	1	0	10
27.	Az anyag mérete változik	3	4	1	1	1	10
28.	Sűrűség változása	1	1	1	5	2	10
29.	Az anyag mennyisége változik	0	2	3	1	4	10
30.	Méréssel/műszerekkel megállapítható változás	4	4	0	1	0	9
31.	Olvasztás, olvadás, fagyás, oldás, hűlés	0	0	0	5	3	8
32.	(belső) energiaváltozás	5	0	0	2	0	7

33.	Az anyagban nem történik (mélyreható) változás	1	2	3	1	0	7
34.	Belső tulajdonság nem változik	2	1	2	1	0	6
35.	Sebességváltozás/gyorsulás változása	1	1	2	1	1	6
36.	Mozgásállapot változás	1	1	2	1	1	6
37.	Forráspont, olvadáspont változása	0	2	0	3	1	6
38.	Az anyag molekulaszervezete nem változik meg	0	2	1	1	2	6
39.	Az anyag teljesen megváltozik	3	1	0	1	0	5
40.	Halmazállapot nem változik (teljesen)	2	1	1	0	1	5
41.	Az anyag kémiai szervezete nem változik	1	1	1	0	2	5
42.	Fizikai úton választható szét	0	0	4	1	0	5
43.	Az anyag helyzete megváltozik	0	0	1	2	2	5
44.	Állapotváltozás	0	0	1	2	2	5
45.	Az anyag kémiailag nem változik	1	1	1	0	1	4
46.	Új anyag képződik	1	1	2	0	0	4
47.	Új tulajdonságú anyag jön létre	0	3	0	0	1	4
48.	Új tulajdonságú anyag nem keletkezik	0	2	1	1	0	4
49.	Az anyag eredeti tulajdonságait megtartja	0	4	0	0	0	4
50.	Az anyag állapota változik meg	0	1	2	0	1	4
51.	Nem visszafordítható folyamat	0	0	2	1	1	4
52.	Nyomásváltozás	0	0	1	3	0	4
53.	Mechanikai tulajdonság megváltozása	0	0	0	3	1	4
54.	A részecskék közti kölcsönhatás változik meg	3	0	0	0	0	3
55.	Kémiai változás	1	0	1	0	1	3
56.	Két anyag egyesül (vagy bomlik)/reakciója	1	0	1	0	1	3
57.	Egy erő hatására a test megmozdul	1	0	2	0	0	3
58.	Részecskék keveredése	0	0	3	0	0	3
59.	Az anyag tulajdonságai nem változnak	0	0	1	2	0	3
60.	A részecskék összetétele megváltozik	2	0	0	0	0	2
61.	Keményiség változása	1	1	0	0	0	2
62.	A két anyagot szét tudjuk választani	1	1	0	0	0	2
63.	Oldhatóság változása	0	1	0	1	0	2
64.	Az anyag fizikailag változik meg	0	1	0	1	0	2
65.	Nem mélyreható változás	0	1	0	1	0	2
66.	Az anyag fizikai módszerekkel visszaalakítható	0	1	0	1	0	2
67.	Nem jár energiaváltozással	0	1	1	0	0	2
68.	A vegyület nem változik	0	1	1	0	0	2
69.	Az anyag felépítésében nem történik változás	0	1	0	1	0	2
70.	Fizikai változás	0	0	2	0	0	2
71.	Fizikailag érzékelhető változás	0	0	1	1	0	2
72.	Fizikai úton megy végbe	0	0	2	0	0	2
73.	A fizikai összetétel változik meg	0	0	0	1	1	2
74.	Az anyagot valamilyen fizikai hatás éri	0	0	0	1	1	2
75.	Térszerkezet változás/térbeli elrendeződés	0	0	0	1	1	2

	változása						
76.	Elektrosztatikai tulajdonság megváltozása	0	0	0	2	0	2
77.	Az anyag atomjainak szerkezete nem változik	0	0	0	2	0	2
78.	Két test kölcsönhatása	0	0	0	2	0	2
79.	Nem mérőszerekkel állapítható meg a változás	1	0	0	0	0	1
80.	Fényesség változása	1	0	0	0	0	1
81.	Az anyag mennyisége nem változik	1	0	0	0	0	1
82.	A részecskék helyzete változik meg	1	0	0	0	0	1
83.	A részecskék közötti kötések nem változnak	1	0	0	0	0	1
84.	Exoterm, endoterm	1	0	0	0	0	1
85.	Az anyag mélyreható változása	0	1	0	0	0	1
86.	Az anyag összetétele megváltozik	0	1	0	0	0	1
87.	Több anyag jön létre	0	1	0	0	0	1
88.	Két test állapota egymás hatására változik meg	0	1	0	0	0	1
89.	Az anyag geometriai állapota változik meg	0	1	0	0	0	1
90.	Az anyag felaprózódik	0	1	0	0	0	1
91.	Hő, nyomás, sűrűdés által bekövetkező változás	0	1	0	0	0	1
92.	Az anyagi rendszer nem változik	0	1	0	0	0	1
93.	Az alkotórészek aránya állandó	0	0	1	0	0	1
94.	Párolással a vegyületek szétválaszthatók	0	0	1	0	0	1
95.	A kémiai változás ellentettje	0	0	1	0	0	1
96.	Fizikai inga hatására bekövetkező változás	0	0	1	0	0	1
97.	Megváltozik az anyag állaga	0	0	1	0	0	1
98.	Az anyag nem alakul át	0	0	1	0	0	1
99.	A molekulák átrendeződnek	0	0	1	0	0	1
100.	A kiindulási anyag nem változik meg	0	0	1	0	0	1
101.	Rövid idő alatt lejátszódó folyamat	0	0	1	0	0	1
102.	Természeti változás	0	0	0	1	0	1
103.	A molekula alakjának változása	0	0	0	1	0	1
104.	Megváltozott az anyagban lévő atomok, molekulák helyzete	0	0	0	1	0	1
105.	Valamilyen erő vagy folyamat hatására megy végbe	0	0	0	1	0	1
106.	Az elem átalakul	0	0	0	1	0	1
107.	Az anyag felépítése változik	0	0	0	1	0	1
108.	Az anyag környezetében végbemenő változás	0	0	0	1	0	1
109.	Rozsdásodás	0	0	0	1	0	1
110.	Az anyag megváltozik	0	0	0	1	0	1
111.	Szagolható	0	0	0	0	1	1
112.	Ízlelhető	0	0	0	0	1	1
113.	Az atom szerkezete megváltozik	0	0	0	0	1	1
114.	A kémiai kötések nem változnak	0	0	0	0	1	1
115.	Mechanikai úton előidézhető változás	0	0	0	0	1	1
116.	Molekulák közti változás	0	0	0	0	1	1

2. A kémiai változás

	Előforduló válaszelem	7.	8.	9.	10.	11.	
1.	Új anyag keletkezik.	61	53	46	30	19	209
2.	Az anyag (belső) szerkezete változik meg.	38	35	35	42	39	189
3.	Az anyag (belső) összetétele változik meg.	33	39	27	30	28	157
4.	Nincs válasz.	21	14	16	13	20	84
5.	Kémiai reakció.	15	7	15	19	8	64
6.	Az anyag kémiai tulajdonsága változik meg.	9	8	6	25	15	63
7.	Az anyag minősége változik.	17	8	10	6	13	54
8.	Kötések bomlanak fel és újak keletkeznek.	2	10	7	11	11	41
9.	A részecskék összetétele/minősége változik meg.	11	6	4	2	4	27
10.	A részecske szerkezete változik meg.	5	9	1	6	6	27
11.	Az anyag nem alakítható vissza, a folyamat nem visszafordítható.	3	5	3	5	8	24
12.	Új tulajdonságú anyag keletkezik.	7	6	3	4	2	22
13.	Az anyag változása.	9	6	0	3	3	21
14.	Az anyag tulajdonsága változik.	4	3	2	8	1	18
15.	Péllda adása. (oldódás)	5	1	0	5	5	16
16.	Az anyag belsejében történik változás	0	6	2	3	4	15
17.	Halmazállapot-változás.	1	1	2	6	3	13
18.	Az anyag felépítése változik.	1	4	2	1	5	13
19.	Két vagy több anyagból egy anyag lesz	0	6	4	1	2	13
20.	Hőjelenség / Hőmérséklet vált.	1	1	3	2	2	9
21.	Az anyag belső tulajdonságai változnak.	2	1	2	1	2	8
22.	A részecskékben változik meg a kölcsönhatás.	4	0	2	1	0	7
23.	Az anyag fizikai tulajdonsága változik meg.	2	2	0	2	1	7
24.	Színváltozás.	1	2	0	3	1	7
25.	Az anyag energiájának a változása.	2	2	2	0	0	6
26.	Visszafordítható változás	0	1	2	1	2	6
27.	Csak kémiai módszerekkel alakítható vissza	0	2	2	2	0	6
28.	Nem látható a változás.	2	1	1	0	1	5
29.	Az anyag mennyisége változik meg.	1	0	3	1	0	5
30.	Az új anyag nem hordozza az eredeti anyagok tulajdonságait.	2	1	0	0	1	4
31.	Nemcsak külsőleg, de belsőleg is hat	0	1	0	3	0	4
32.	Külső hatásra megy végbe	0	1	0	2	0	3
33.	A halmazállapot nem változik	0	1	1	1	0	3
34.	A részecskék közötti összetartó erő változik.	2	0	0	0	0	2
35.	A részecske összetétele nem változik meg.	2	0	0	0	0	2
36.	Exoterm/endoterm folyamat.	1	0	1	0	0	2
37.	Nem képződik új anyag.	1	0	1	0	0	2
38.	Fényjelenség.	1	1	0	0	0	2

39.	Fizikai változással is együtt jár	0	1	0	0	1	2
40.	Magától végbemegy	0	1	1	0	0	2
41.	Szag megváltozása	0	1	0	1	0	2
42.	Az anyag állaga változik	0	1	0	1	0	2
43.	A fizikai változás ellentettje	0	0	1	1	0	2
44.	Az anyag sűrűségében, tömegében stb. változás történik	0	0	2	0	0	2
45.	Atomi szinten megy végbe	0	0	2	0	0	2
46.	Felírható kémiai egyenlettel	0	0	2	0	0	2
47.	A külső felületen végbemenő változás	0	0	2	0	0	2
48.	Mérőműszerekkel megállapítható változás.	1	0	0	0	0	1
49.	A részecske szerkezete nem változik.	1	0	0	0	0	1
50.	Érezhető a változás.	1	0	0	0	0	1
51.	A részecskék aránya megváltozik.	1	0	0	0	0	1
52.	Nem érezhető a változás.	1	0	0	1	0	1
53.	Alakváltozás.	1	0	0	0	0	1
54.	Egy kémiai kísérlet során megfigyelhető változások	0	1	0	0	0	1
55.	Az a változás, amely nem fizikailag történik	0	1	0	0	0	1
56.	Az anyag mélyreható változása nélkül megy végbe	0	1	0	0	0	1
57.	Szembevető a változás	0	1	0	0	0	1
58.	Egy adott anyag reakcióképességének változása	0	1	0	0	0	1
59.	Gázképződés	0	1	0	0	0	1
60.	Az anyag nem vész el, csak átalakul	0	1	0	0	0	1
61.	Külső változás nincs	0	1	0	0	0	1
62.	Protonleadás, vagy felvétel	0	1	0	0	0	1
63.	Az alkotórészek aránya nem állandó	0	0	1	0	0	1
64.	Kémiai inger hatására bekövetkező változás	0	0	1	0	0	1
65.	Az anyag biológiai hatása is megváltozik	0	0	1	0	0	1
66.	Kötés típusa, reakcióképesség, oldódás	0	0	1	0	0	1
67.	Az anyagok elemi állapotai átrendeződnek, ionok cserélnek gazdát	0	0	1	0	0	1
68.	Hosszú vagy rövid idő alatt lejátszódó folyamat	0	0	1	0	0	1
69.	Oxidáció vagy redukció játszódik le	0	0	1	0	0	1
70.	A vegyérték elektronok szintjén történő változások	0	0	1	0	0	1
71.	A test kinézete vagy külseje nem változik csak kémiailag	0	0	1	0	0	1
72.	Az anyag mélyreható változáson megy keresztül	0	0	0	1	0	1
73.	Fizikai módszerek nem elegendőek a végbemeneteléhez	0	0	0	1	0	1
74.	Az anyag kémiai állapota is megváltozik	0	0	0	1	0	1

75.	Szervetlen anyagból szerves anyagot állítunk elő	0	0	0	1	0	1
76.	Változik az olvadáspont, forráspont	0	0	0	1	0	1
77.	Az anyag fizikai tulajdonságai nem változnak	0	0	0	0	1	1
78.	Az anyagok nemcsak erőhatásoknak vannak kitéve, hanem saját reakcióiknak is	0	0	0	0	1	1
79.	Nem tudom	0	0	0	0	1	1

4. sz. melléklet

A fizikai változás tanulói meghatározásainak fenomenografikus módszer segítségével való elemzésekor kialakult kategóriák

I. MAKROSZINT „A”

A1) Az anyag valamilyen tulajdonságának megváltozására utaló válasz

A1.1) fizikai tulajdonság megváltozása

A1.2) kémiai tulajdonság nem változik meg

A2) Új anyag keletkezését, illetve az anyagi minőség megváltozását vizsgáló válasz

A2.1) új anyag keletkezik / az anyagi minőség megváltozik

A2.2) új anyag nem keletkezik / az anyagi minőség nem változik meg

A3) Valamilyen módon mérhető / észlelhető változásra utaló válasz

A3.1) mérőműszerekkel mérhető változás

A3.2) érzékszervekkel észlelhető változás

A4) Az anyag összetételének megváltozását vizsgáló válasz

A4.1) az összetétel megváltozik

A4.2) az összetétel nem változik meg

II. MIKROSZINT „B”

B1) Az anyag részecskéinek megváltozására utaló válasz

B1.1) a részecske összetétele változik meg

B1.2) a részecske szerkezete változik meg

B1.3) a részecske minősége változik meg

B1.4) a részecskékben lévő kölcsönhatás változik meg

B2) Az anyag szerkezetének megváltozását vizsgáló válasz

B2.1) a szerkezet megváltozik

B2.2) a szerkezet nem változik meg

B3) A részecskék közötti kölcsönhatás megváltozását vizsgáló válasz

B3.1) a részecskék közötti kölcsönhatás megváltozik

B3.2) a részecskék közötti kölcsönhatás nem változik meg

III. PÉLDA „C”

IV. EGYÉB „D”

A kémiai változás tanulói meghatározásainak fenomenografikus módszer segítségével való elemzésekor kialakult kategóriák

I. MAKROSZINT „A”

- A1) Az anyag valamilyen tulajdonságának megváltozására utaló válasz**
 - A1.1) fizikai tulajdonság megváltozása**
 - A1.2) kémiai tulajdonság megváltozása**
- A2) Új anyag keletkezését, illetve az anyagi minőség megváltozását vizsgáló válasz**
 - A2.1) új anyag keletkezik / az anyagi minőség megváltozik**
 - A2.2) új anyag nem keletkezik / az anyagi minőség nem változik meg**
- A3) Kémiai reakció végbemenetelére utaló válasz**
 - A3.1) kémiai reakció megy végbe**
 - A3.2) kémiai reakció nem megy végbe**
- A4) Az anyag összetételének megváltozását vizsgáló válasz**
 - A4.1) az összetétel megváltozik**
 - A4.2) az összetétel nem változik meg**

II. MIKROSZINT „B”

- B1) Az anyag részecskéinek megváltozására utaló válasz**
 - B1.1) a részecske összetétele változik meg**
 - B1.2) a részecske szerkezete változik meg**
 - B1.3) a részecske minősége változik meg**
 - B1.4) a részecskékben lévő kölcsönhatás változik meg**
- B2) Az anyag szerkezetének megváltozását vizsgáló válasz**
 - B2.1) a szerkezet megváltozik**
 - B2.2) a szerkezet nem változik meg**
- B3) A részecskék közötti kölcsönhatás megváltozását vizsgáló válasz**
 - B3.1) a részecskék közötti kölcsönhatás megváltozik**
 - B3.2) a részecskék közötti kölcsönhatás nem változik meg**

III. PÉLDA „C”

IV. EGYÉB „D”

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálásan köszönöm témavezetőmnek, Dr Tóth Zoltán egyetemi docensnek, hogy munkámat az irányítása alatt végezhettem, a közben mindenre kiterjedő figyelmét, a tudástér elmélet alkalmazása során nyújtott segítségét, végtelen türelmét és megértését.

Szeretnék köszönetet mondani Prof. Nilza Costának és Dr. Teresa Margarida Santosnak, a portugáliai kutatás során nyújtott lelkiismeretes támogatásukért és tanácsaikért, Eliane Sousa de Cruznak, Rosa Fontesnek és az Aveiroi Egyetem Didaktikai és Oktatástechnológiai Intézete dolgozóinak munkám megfelelő feltételeinek megteremtéséért.

Köszönettel tartozom Molnár Lajosné vegyésztechnikusnak az adatbevitel során nyújtott önzetlen segítségéért és türelméért.

Köszönöm hallgatótársaimnak, Dobóné Tarai Éva, Kószó Katalin, Sebestyén Annamária és Ludányi Lajos tanároknak, hogy lelkesedésükkel mindig melletttem voltak a nehéz percekben és új lendületet adtak.

Köszönet a középiskoláknak, tanáraiknak és diákjaiknak, akik részvételükkel támogatták munkámat.

Köszönöm az anyagi támogatást az OTKA (T-034288, T-049379) és ERASMUS pályázatoknak.

Köszönöm a Kémia Doktori Iskolának, hogy úttörő munkámat elfogadta és támogatta.

Köszönettel tartozom Dr. Soltész György nyugalmazott egyetemi adjunktusnak, aki felkeltette érdeklődésemet a kutatói pálya iránt, és a kezdő lépések megtételében segítségemre volt.

Hálás szeretettel köszönöm édesanyámnak végtelen türelmét, megértését, és gondoskodó szeretetét, mellyel folyamatosan jelen volt munkám során.