1949

A TANULÓK SZTÖCHIOMETRIAI SZÁMÍTÁSI FELADATOKKAL KAPCSOLATOS MEGOLDÁSI MÓDSZEREI ÉS TUDÁSSZERKEZETE

Egyetemi doktori (PhD) értekezés

Sebestyén Annamária

Témavezető: Dr. Tóth Zoltán

DEBRECENI EGYETEM
Természettudományi és Informatikai Doktori Tanács
Kémiai Tudományok Doktori Iskola
Debrecen, 2017.

*Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Természettudományi és Informatikai Doktori Tanács, **Kémiai Tudományok Doktori Iskola**, K/1 (Reakciókinetika és katalízis) programja keretében készítettem a Debreceni Egyetem természettudományi doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.*
Nyilatkozom arról, hogy a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.

Debrecen, 2017. június 28. ***Sebestyén Annamária***
a jelölt aláírása

*Tanúsítom, hogy **Sebestyén Annamária** doktorjelölt 2005-2008. és 2011-2017. között a fent megnevezett Doktori Iskola, K/1 (Reakciókinetika és katalízis) programjának keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Nyilatkozom továbbá arról, hogy a tézisekben leírt eredmények nem képezik más PhD disszertáció részét.*
Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2017. június 28. ***Dr. Tóth Zoltán***
a témavezető aláírása

A TANULÓK SZTÖCHIOMETRIAI SZÁMÍTÁSI FELADATOKKAL KAPCSOLATOS MEGOLDÁSI MÓDSZEREI ÉS TUDÁSSZERKEZETE

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
a kémia tudományágban

Írta: **Sebestyén Annamária** okleveles kémia tanár, vegyész

Készült a Debreceni Egyetem Kémiai Tudományok Doktori Iskolája
(Reakciókinetika és katalízis programja) keretében

Témavezető: **Dr. Tóth Zoltán**

A doktori szigorlati bizottság:
elnök: Dr. Bazsa György ……………………………..
tagok: Dr. Victor András ……………………………..
Dr. Szabó László Tamás ……………………………..

A doktori szigorlat időpontja:

Az értekezés bírálói:
Dr. …………………………….. ……………………………..
Dr. …………………………….. ……………………………..

A bírálóbizottság:
elnök: Dr. …………………………... ……………………………..
tagok: Dr. …………………………... ……………………………..
Dr. …………………………... ……………………………..
Dr. …………………………... ……………………………..
Dr. …………………………... ……………………………..

Az értekezés védésének időpontja: …… . ……………… … .

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálásan köszönöm témavezetőmnek, *Dr. Tóth Zoltánnak*, hogy szakmai tanácsaival irányította a munkámat, az ismeretek átadásával gyarapította a tudásomat, valamint támogatását és segítségét a kutatás évei alatt. Külön köszönöm, hogy felkeltette érdeklődésemet a tanári pálya iránt és oktatói tevékenységével mindig hiteles példát mutatott.

Köszönöm a *Kémiai Tudományok Doktori Iskola* támogatását, hogy a tématerületet fontosnak és érdemesnek tartotta arra, hogy kutatásaimat a Doktori Iskola keretei között valósíthattam meg.
Nagyon köszönöm *Dr. Fábián Istvánnak*, hogy munkámat a Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszéken végezhettem.

Köszönöm *Molnár Lajosné*, *Évikének*, hogy hallgató korom óta végigkísérte a pályámat és a szakmai munkán kívül a magánéletemben is mindig számíthattam a tanácsaira.
Köszönet illeti középiskolás tanáraimat, *Kocsisné Gregus Mária és Fodor Károlyné Tanárnőket,* akik a kémia szépségei mellett azt is megmutatták, milyen egy igazi pedagógus. Köszönet az *általános és középiskoláknak, pedagógusaiknak és tanulóiknak*, akik részvételükkel segítették a kutatásomat.

Hálásan köszönöm *Joóné Dr. Matúz Krisztina* támogató, baráti szeretetét, amely az egyetemi tanulmányaink megkezdése óta, 18 éve töretlenül tart.
Köszönöm *Babinszkiné Farkas Editnek, Tóth-Molnár Enikőnek, Homolya Leventének és Csupász Tibornak*, hogy odafigyelésükkel és ösztönzésükkel új lendületet adtak a nehezebb napokban, hónapokban. Bár hallgatóként ismertem meg őket, hálás vagyok, hogy személyükben igazi barátokra találtam, ami nagyszerű érzés.
Köszönöm *Nagyné Bányai Ibolya* lelkiismeretes támogatását, amelyre mindig számíthatok.

Hálás szeretettel köszönöm *Családom minden tagjának* gondoskodó szeretetét, felbecsülhetetlen törődését, megértését és áldozatvállalását, amelyekkel lehetővé tették, hogy céljaimat megvalósítsam. Hálás vagyok *Anyukámnak*, hogy bátorító szavai mindig kitartásra bíztattak. Külön köszönöm *Testvérem* önzetlen segítségét és határtalan türelmét.

A kutatás az OTKA (T-049379 és K-105262) pályázatok keretein belül valósult meg.

„Meg kell állapítanom,
amit sok más tanító is megállapított már,
hogy legtöbbet tanítás közben tanul az ember."

Tendzin Gjaco

TARTALOMJEGYZÉK

I. BEVEZETÉS

Az utóbbi évtizedekben a kémia a tanulók körében a legkevésbé kedvelt tantárgyak sorába került. A kötelező tananyag megtanulása és főként megértése a diákok többségének nem könnyű. Az egyik legnagyobb nehézséget a problémamegoldással kapcsolatos feladatok jelentik a tanulók számára. Fontos tehát a problémamegoldó folyamat jellemzőit ismerni, és ezért a problémamegoldást több oldalról szükséges tanulmányozni. A problémamegoldó gondolkodás vizsgálata ma központi szerepet tölt be a pedagógiai, pszichológiai és módszertani kutatásokban. Több tanulmány foglalkozik a problémák különböző típusainak azonosításával, a problémák megoldására használt megoldási stratégiákkal, a problémamegoldás modellezésével, a problémamegoldás fejlesztésének lehetőségeivel.

A kémia tanításában a problémamegoldás leginkább kémiai számítási feladatok formájában jelenik meg, amelyek jelentős mértékben segítik egy-egy fogalom, összefüggés megértését. A kémiai számítási példák nehéz feladat elé állítják a tanulókat, megoldásukban gyakran sikertelenek a diákok. Ezért az okok feltárása és a korrekciós lehetőségek megtalálása fontos feladat. A feladatmegoldás legnehezebb része annak a megoldási útnak a megtalálása, amelynek használatával eljuthatunk a helyes végeredményhez. A kémiai számítási feladatok vizsgálata során mindenekelőtt a megoldási módszereket kell azonosítani. Az eredményesség kimutatásához feltétlenül szükséges még alkalmazni a leíró és a matematikai statisztikai eljárásokat is. Erre több vizsgálatban találtunk már példát a hazai és a nemzetközi szakirodalomban is.

Az említett elemzési módszerek is nagyon fontosak, de ezekkel nem tudunk kellő biztonsággal rámutatni azokra a kritikus pontokra, amelyek a sikertelen feladatmegoldáshoz vezetnek. A számítási feladatok eddiginél részletesebb, korábban ezen a területen még nem alkalmazott szerkezeti vizsgálataira is szükség van. Erre nagyon jó lehetőséget nyújt a tudástérelmélet, amely segítségével pontosabb képet kapunk a tanulók tudásáról és meghatározhatjuk az egyes évfolyamok, valamint a különböző tanulócsoportok jellemző tudásszerkezetét. Meg tudjuk keresni azt a tudáselemet, amelynek megoldása során akadályokba ütközik a tanuló, és ezért a feladatot nem tudja megoldani. Így a már meglévő kutatási eredményekre építve az új információk segítségünkre lehetnek a megoldási módszerek jellemzőinek, nehézségeinek mélyebb megértésében és ezzel együtt a kémiai számítási feladatok hatékonyabb tanításában.

Munkámban arra vállalkoztam, hogy a kémiai számítási feladatokban alkalmazott megoldási módszerek és a tudásszerkezet közötti kapcsolatot feltárjam az általános és középiskolás tanulók körében. Különösen azért, mert ilyen vizsgálat még nem történt korábban. Az irodalmi összefoglalóban a teljesség igénye nélkül áttekintem a témában eddig megjelent legfontosabb tanulmányokat. Dolgozatom fő részében több szempont alapján vizsgálom a sztöchiometriai kémiai számítási feladatok három területét. Ezek a következőek: kémiai számítások reakcióegyenlet alapján, vegyületek összetételének számítása valamint makroszintű és részecskeszintű mennyiségek átszámítása. Először ismertetem a korábbi eredményeket és részletesen, egyenként a feladatmegoldó stratégiák lépéseit. Majd a megoldási módszerek azonosítására valamint a tanulók által elért teljesítmények bemutatására kerül sor. A legnagyobb hangsúlyt a tanulók tudásszerkezetének feltérképezésére és összehasonlítására helyezem. Végül összefoglalom az eredményeimet és javaslatot teszek ezek hasznosítására a tanítási gyakorlatban.

II. A KÉMIAI PROBLÉMAMEGOLDÁSRA ÍRÁNYULÓ KUTATÁSOK

1. A probléma és a problémamegoldás

A problémamegoldás és a problémamegoldó gondolkodás vizsgálata közel 100 éves múltra tekint vissza. Kutatásában nagy lépés a 20. század közepén következett be. A rengeteg tanulmány közül az általam fontosnak tartottakat emelem ki: *Duncker, 1945; Bloom, 1956; Pólya, 1967; Gagne, 1977; Ausubel és munkatársai, 1978; Ashmore és munkatársai, 1979; Kürtiné, 1982; Riley és munkatársai, 1982; Voss, 1989*. Sokrétű vizsgálata az elmúlt évtizedekben új lendületet vett és mára a legtöbbet vizsgált gondolkodási képességek közé tartozik. Számos pedagógiai, pszichológiai és szakmódszertani kutatást ölel fel, különböző tudományterületek jelentős hazai és külföldi képviselői foglalkoznak a témával *(Kontra, 1996; Pólya, 2000; Revákné, 2001, 2011; Revákné és munkatársai, 2013; Csapó és Molnár, 2012; Molnár és munkatársai 2013; Radnóti, 2014; Dóra, 2015; Pásztor-Kovács, 2015; Glover és munkatársai, 1990; Sternberg, 1994; Kilpatrick és munkatársai, 2001; Salganik, 2001; Funke és Frensch, 2007; Mayer, 2008; Bassok és Novik, 2011)*.

A tudósok a problémamegoldás más-más oldalára világítottak rá, most a munkámhoz szorosabban kapcsolódókat említem. Egyes kutatók a problémamegoldás modellezését helyezik előtérbe *(Newell és Simon, 1972; Perez és Torregrosa 1983; Bodner és Domin, 2000; Molnár, 2001; Bodner, 2003; Bennett, 2008)*. Sok közleményben olvashatunk a problémamegoldás fejlesztésének lehetőségeiről *(Lénárd, 1984; Mayer, 1997; Johnstone, 2001; Bodner, 2003; Cardellini, 2006; Johnstone és Otis, 2006; Wood, 2006)* és a sikeres problémamegoldás kognitív változóiról *(Lee, 1985; Fisher, 1987; Ross és Kennedy, 1990; Carrol, 1993; Lee és Fensham, 1996; Lee és munkatársai, 1996, 2001; Nagy, 1998; Yang, 2000; Cracoline és munkatársai, 2008)*. A publikációk jelentős része nagy hangsúlyt fektet a problémák megoldására használt megoldási módszerek, stratégiák azonosítására *(Kontra, 1996; Lee és munkatársai, 1996, 2001; Nahalka és Poór, 2002; Cooper és munkatársai, 2008; Revákné, 2010; Csíkos és Steklács, 2011)*. Nem utolsó sorban a pedagógusok az értékelés fontos eszközének *(Hass és Parkay, 1993; Chen és munkatársai, 2000)*, valamint a tudományos oktatás alapjának is *(Özden, 2009)* tartják.

Több tanulmány foglalkozik a problémák különböző típusainak azonosításával is *(Greeno, 1978; Chi és munkatársai, 1982; Federickson, 1984; Kahney, 1986; Watts, 1991; Bühner és munkatársai, 2008; Funke, 2010)*. A problémák típusainak alapos csoportosítását *Johnstone (1993)* végezte el. Szerinte az osztályozás alapját három változó képezi: a megadott adatok, az alkalmazandó módszer és az elérendő cél. Ez a három dolog minden problémával összefüggésbe hozható. Az összes lehetőséget figyelembe véve nyolc problématípust különböztetett meg *(1. táblázat)*.

1. táblázat: A problémák osztályozása (Johnstone, 1993)

Típus	Adatok	Módszerek	Cél	Szükséges kognitív készségek, képességek	Problématípusok
1.	adott	ismert	adott	a tanult algoritmusok felidézése	zárt problémák tankönyvekben, vizsgadolgozatokban szereplő problémák, algoritmikus természetű, feladatnak tekinthető
2.	adott	ismeretlen	adott	keresés az ismert módszerek között	zárt problémák tankönyvekben, vizsgadolgozatokban szereplő problémák
3.	hiányos	ismert	adott	a probléma elemzése abból a célból, hogy milyen további adatokra van szükség a megoldáshoz	zárt problémák összetett problémák
4.	hiányos	ismeretlen	adott	a lehetséges módszerek mérlegelése és a hiányzó adat megtalálása	zárt problémák összetett problémák
5.	adott	ismert	nyitott	a cél meghatározása, a tudásháló megalkotása	nyitott problémák
6.	adott	ismeretlen	nyitott	a cél meghatározása és a megfelelő módszer kiválasztása, tudásháló és a megoldási háló megalkotása	nyitott problémák
7.	hiányos	ismert	nyitott	a célt a tanuló határozza meg, észreveszi, hogy az adatbázis nem teljes	nyitott problémák
8.	hiányos	ismeretlen	nyitott	célok meghatározása, javaslat a módszerekre és a még szükséges adatokra	nyitott problémák valódi élet problémáihoz legközelebb álló

Ez egy nagyon hasznos osztályozás, mivel egyszerű és viszonylag könnyű megérteni és alkalmazni. Fontos megjegyezni, hogy *Johnstone* nem tekintette a nyolc problématípust hierarchikus elrendezésűnek. Így ő nem utalt arra, hogy bárki is úgy haladna előre az első típustól a nyolcadik típusig, mintha egyfajta fejlődés lenne a problémamegoldásban. A természettudományos problémamegoldásban különböző területeken eltérő módon, de gyakorlatilag mindegyik problématípus megtalálható. A dolgozatomban szereplő kémiai problémák az 1. típusba tartoznak.

A problémamegoldó gondolkodással kapcsolatos kutatások ennél részletesebb ismertetésére egyrészt az óriási szakirodalom – az itt felsoroltak csak töredéke – miatt lehetetlen vállalkozás, másrészt a dolgozat kötött terjedelme sem ad erre lehetőséget.

2. A probléma és a feladat

A világ sok jelentős problémája rosszul definiált, sokoldalú és nyitott. Az ilyen problémáknak ritkán van egyetlen vagy végleges megoldása, a legtöbbjüknek több lehetséges megközelítése van inkább, mint egyetlen kimenetele. Ugyanakkor a valós élet problémáival ellentétben, az iskolában felmerülő problémák legtöbbje jól definiált, ritkán nyitottak. Ismertek a kiindulási adatok, a végeredmény eléréséhez szükséges megoldási módszer és egyetlen helyes válaszra fókuszálnak. Felmerül bennünk a kérdés, hogy ez a fajta probléma valós probléma, vagy csak egy feladat? Van-e kifejezetten csak probléma, vagy csak feladat? Van-e a kettő között különbség?

A probléma és a feladat is valamilyen kitűzött cél elérésére irányul. Mindkét fogalom esetén a kezdeti állapotból a célállapotba kell eljutni valamilyen megoldási út alapján. Ez történhet egy vagy több lépésben és különböző megoldási módszerekkel. A feladat esetén létezik valamilyen megoldási módszer, mely ismert a megoldó számára. Ezzel ellentétben a problémánál éppen ez az ismert megoldási út hiánya jelenti az akadályt, mely a cél elérésének útjában áll. „A feladat olyan helyzetet jelent, amelynek a célja és az ahhoz vezető út is ismert. A problémáról akkor beszélünk, ha a célhoz vezető utat nem ismerjük.” *(Kürtiné, 1982, 97. oldal)*

Általánosan ***probléma*** lép fel akkor, ha nincs teljes ismeretünk a meglévő helyzetről és/vagy a megoldás útjáról és/vagy a célállapotról. A gyakorlatban előforduló problémák rosszul meghatározottak, bonyolultak.

- Sokszor magunkban kell meghatározni magát a problémát és az elérendő célt.

- Nem szerepel bennük elég információ vagy nem csak a megoldáshoz szükséges adatok tartalmazza, annál jóval több információt rejt magában, esetleg zavaró tényeket is. Ezek között kell megkeresni a megoldás szempontjából szükséges és elégséges információkat.
- A megoldásukhoz nem mindig van kész recept. Mindig vannak olyan szakaszok, ahol megtanult összefüggés, ismert képlet vagy a begyakorolt megoldási módszer nem alkalmazható. Az ismert információkat új módon kell összekapcsolni. Azt is meg kell állapítani, hogy létezik-e egyáltalán megoldás.
- Rendszerint kutatómunkára, az ötletek összegyűjtésére és megvitatására van szükség.
- Széles körű tudást és az ismeretek változatos felhasználási módját igénylik.

Feladatról beszélünk akkor, ha a három jellemző – a kiindulási állapot, a célállapot és a teljes megoldási út – mindegyike ismert. Ezek tulajdonképpen az iskolai jellegű problémák.

- Az iskolában előforduló feladatok jól meghatározottak.
- Csak a megoldáshoz szükséges információkat tartalmazza.
- Ismerjük az elérendő célt.
- Tudjuk a cél eléréséhez szükséges megoldási módszert, eljárást, algoritmust.
- Általában tantárgyhoz kötöttek és megoldásukhoz csak az adott terület ismeretanyagára van szükség.
- Kevés ismeretet igénylő, tudásszegény problémák.

A probléma és a feladat jellemzőit, a közöttük lévő különbségeket elméletben viszonylag könnyű összegyűjteni és átlátni, azonban a gyakorlatban mégsem tudjuk egyszerűen elkülöníteni a két dolgot egymástól. Természetesen, ahogy az élet minden területén így az iskolában is az egyéntől függ, hogy mi okoz problémát a tanulónak, és mi jelenti számára csak a megoldandó feladatot. Amennyiben az elsajátított ismeretanyag a megértett tudással párosul, és a tanuló ismeri a megoldási módszereket, akkor feladatnak tekinti a megoldásra váró helyzetet. Ha rögtön felismeri, mit kell tennie már rutinfeladatról van szó. Ellenkező esetben, ha ezek közül valamelyikkel nem rendelkezik problémaként éli meg azt. A problémát és a feladatot ezért gyakran egymás szinonimájaként használjuk, mert valójában az egyéntől függ, hogy mit jelent számára a felmerülő kérdés.

3. A kémiai problémamegoldás

A természettudományos oktatásban két cél megvalósítására törekszünk. Az adott területre jellemző szervezett tudás egészének megszerzése mellett fontos az ugyanazon területhez tartozó problémamegoldó képesség elsajátítása is. Nincs ez másként a kémiában sem.

3.1. A kémiai probléma

Kémiai problémának tekintünk minden olyan kérdést, amely kémiai tudást igényel. *Ashmore és munkatársai szerint (1979)* szerint a kémiában felmerülő probléma a „kémiai rejtvényektől" a kémiai laboratóriumban zajló kutatómunka legmagasabb szintjéig terjed. Úgy gondolják, hogy amikor kémiai problémamegoldásról beszélünk, a problémahelyzeteknek ezt a széles skáláját kell figyelembe venni. A kutatómunka során lehetséges, sőt legtöbb esetben biztos, hogy a meglévő információk nem elegendőek, a megoldás újabb megfigyeléseket igényel és a választ kísérletezés útján tudjuk megadni. A „kémiai rejtvények" esetén a szükséges információk a probléma leírásában szerepelnek és a „rejtvényre" egyetlen helyes válasz van. Ezek közé soroljuk a kémiai számítási feladatokat is, amelyek egy csoportjának részletes elemzésével a dolgozatom foglalkozik. Ezért a továbbiakban ezekre a problématípusokra szűkítem tárgyalásomat.

3.2. A kémiai problémamegoldást befolyásoló tényezők

A problémamegoldást befolyásoló tényezők természetesen az adott tudományterületre, így a kémiára is hatással vannak. Az évek során hatalmas irodalom gyűlt össze, amely a kémiai problémamegoldással foglalkozik. Ebben a fejezetben a kémiai problémamegoldás átfogó szemléletére igyekszek rávilágítani. Azokra a legfontosabb tényezőkre, tényezőcsoportokra koncentrálok, amelyek a tanulók kémiai problémamegoldó sikerességét befolyásolják. Mindenképpen meg kell említenem, hogy bár igyekeztem számos cikket, közleményt, esettanulmányt áttekinteni, biztosan nem használtam fel a témában fellelhető összes irodalmat e fejezet megírásához. Mindenekelőtt két közleményt emelnék ki.

Gabel és Bunce (1994) 12 év kémiai problémamegoldással kapcsolatos eredményeinek áttekintésekor azt a következtetést vonta le, hogy a tanulók kémiai problémamegoldásban nyújtott teljesítményét három alapvető tényező befolyásolja. A három tényező több összetevőt foglal magába, amelyek mindegyike valamilyen formában hatással van a problémamegoldás eredményességére. A három tényező a következő:

- A tanuló jellemvonásai: meglévő kémiai tudása, azaz az erős kémiai háttérismerete; előzetes általános és érzelmi tapasztalatai; kognitív sajátosságai.
- A probléma jellege: a probléma alapját képező fogalmak és azok értelmezése.
- A tanulási-tanítási környezet jellemzői: problémamegoldó módszerek, stratégiák, algoritmusok használata; a problémamegoldás tanítása; az egyéni vagy csoportos tevékenységek.

Lee és munkatársai (2001) leginkább a tanuló képességeire helyezik a hangsúlyt. Szerintük a kémiai problémamegoldást alapvetően három fő tényező határozza meg:

- előzetes tudás: specifikus, adott tárgykörre jellemző tudás és nem specifikus, de fontos, a tárgykörhöz kapcsolódó tudás;
- kapcsolatteremtő készség: fogalmi kapcsolatok és asszociációs készség;
- problémafelismerő képesség: problémamegértés és meglévő problémamegoldó képesség.

Összefoglaló áttekintésemet *Gabel és Bunce (1994)* valamint *Lee és munkatársai (2001)* következtetéseire építem.

3.2.1. A tanuló jellemvonásai és a kémiai problémamegoldás

3.2.1.1. A kémiai tudás és a sikeres kémiai problémamegoldás

A kémiai problémamegoldás tekintetében könnyű belátni, hogy a megfelelő kémiai tudásbázis (alapvető kémiai fogalmak, összefüggések) hiánya akadályozza a kémiai feladat megoldását. *Frazer (1982)* több kémiai problémamegoldásról szóló kutatómunkát tekintett át. Nem meglepő módon azt a világos következtetést vonta le, hogy a kémiai problémamegoldás kémiai tudást igényel. *Herron és Greenbowe (1986)* is rámutatott arra, hogy a kémiai feladatok megoldásához birtokában kell lenni az alapvető kémiai ismereteknek. *Chandran és munkatársai (1987)* valamint *Adigwe (1993)* kimutatták, hogy szignifikáns kapcsolat van a kémiai tudás és a problémamegoldásban nyújtott teljesítmény között. *Pickering (1990)* arra a következtetésre jutott, hogy a kémiai ismeretek hiánya fontosabb, mint a tanulók képességbeli különbségei. *Yang (2000)* úgy fogalmaz, hogy „az előzetes kémiai tudás a kémiai teljesítmény szignifikáns előjelzője.” *(24. oldal)*. A nagyobb kémiai tudásalap nagyobb magabiztosságot kölcsönöz az adott feladat megoldásában. Azonban fontos kiemelni, hogy a feladatmegoldók gondolatában elő tudáson belül két tudástípust létezik. Ezek a specifikus, adott tárgykörre jellemző tudás (esetünkben kémiai tudás) és a nem specifikus, de fontos, a tárgykörhöz kapcsolódó tudás. Mindkettő szükséges a sikeres feladatmegoldáshoz. *Lee és munkatársai (2001)* már arra hívják fel a figyelmet, hogy az adott probléma témakörével kapcsolatos kémiai ismeretek megléte szükséges, de nem elégséges feltétele a sikeres problémamegoldásnak.

3.2.1.2. Az előzetes tapasztalatok és a kognitív képességek szerepe a sikeres kémiai problémamegoldásban

Több munka jelzi, hogy a diákok képtelenek megoldani a problémákat még akkor is, amikor a kívánt kémiai tudás legnagyobb részének birtokában vannak.

Az előzetes tapasztalat kémiai problémamegoldásra gyakorolt hatásának vizsgálatára a kutatók egy rész hálózatos megközelítést alkalmazott, amelyben a megoldandó problémát illetve a feladatot részekre osztották, majd a közöttük lévő kapcsolatteremtést figyelték. Először *Ashmore és munkatársai (1979)* dolgoztak ezzel a megközelítéssel. A problémákat egységekre bontották, azonosították a problémák megoldásához szükséges egyes egységekhez (a probléma megfogalmazása, a tanuló tudása, az előzetes tapasztalatok) tartozó információkat, majd ezeket az információdarabokat összekapcsolták, hogy a megoldáshoz jussanak. Felvetették azt is, hogy ez a hálózatos megközelítés, a problémák ilyen jellegű felbontása segíthetné a tanárok munkáját abban, hogy a diákok problémamegoldásban felmerülő nehézségeit észleljék. *Waddling* tanulmánya *(1988)* arról számol be, hogy a tanulók maguk is terveztek problémamegoldó hálózatokat előzetes tudásuk alapján, amely szintén alátámasztotta az előzetes tapasztalatok szükségességét. A kutató munkája megerősítette azt is, hogy a tervezett hálók segítenek megérteni a tanároknak a diákok gondolkodásmódját.

Chandran és munkatársai (1987) ausztrál középiskolások kémiai teljesítményének mérésekor kapott eredményei azt mutatták, hogy mind az előzetes tudás, mind a formális gondolkodási képesség szignifikáns kapcsolatban álltak a kémiai teljesítménnyel.

Sumfleth (1988) felmérésében azt tapasztalta, hogy a diákoknak alapvető ismeretük volt a kémiai fogalmakról, de nem ismerték fel a kapcsolatokat és képtelenek voltak a meglévő tudásukat alkalmazni. Arra következtetett, hogy a fogalmak ismerete szükséges, de nem elég a sikeres feladatmegoldáshoz.

Shaibu (1992) mechanikusan megoldható szerves kémiai feladatokat használt annak vizsgálatára, hogy azonosítsa a természettudományokat tanuló diákok azon képességét, hogy a meglévő tudást hogyan használják tudásterületen belüli problémák megoldására. Kimutatta, hogy a diákok képtelenek voltak megoldani a problémákat, még akkor is, amikor rendelkeztek a kívánt kémiai tudás legnagyobb részével.

Adigwe (1993) problémamegoldó teljesítmény mérését és azonosítását végezte el középiskolai szinten. Egy nagy tanulmányában a diákok algoritmikus természetű feladatokat oldottak meg, amelyben szignifikáns kapcsolatot mutatott ki a releváns kémiai, matematikai tudás, a logikai gondolkodási képesség és a problémamegoldás között. A szerző azt írta, hogy bár igazolta a kémiai tudás és a problémamegoldásban nyújtott teljesítmények közötti szignifikáns kapcsolatot, de ez nem biztosítja, hogy a terület ismerete önmagában sikeres problémamegoldáshoz vezethetne.

Lee és munkatársainak több tanulmány *(Lee, 1985; Lee és Fensham, 1996; Lee és munkatársai, 1996, 2001)* is bizonyítékkal szolgál arra, hogy a meglévő szakmai tudáson kívül a tanuló előzetes tapasztalatainak és kognitív képességeinek is fontos szerepe van a sikeres problémamegoldásban.

3.2.1.3. A fogalmi megértés és a kognitív struktúra szerepe a sikeres kémiai problémamegoldásban

A tanulók sok kémiai fogalmat, összefüggést tanulnak meg a tanítási órákon és az egyetemi kurzusokon. Azonban ez nem garantálja, hogy sikeresen fognak problémákat megoldani, akár a kémia területén belül sem. *Bodner (1991)* azt mondta, hogy a tudás nem ugyanaz, mint a megértés, túl gyakran megértés nélkül birtokoljuk. *Herron és Greenbowe (1986)* esettanulmányában „szabálytanulónak” nevezte azt a kémia szakos főiskolai hallgatót, aki helyesen tudta alkalmazni a szabályokat a feladat megoldásához. Azonban nehézséggel találta magát szemben, amikor olyan ismeretlen problémákkal találkozott, amelyek a probléma megértését és elemzését igényelték. Az ismerős szabályokat új kontextusban már nem tudta alkalmazni.

Munkájukban *Gabel és Bunce (1994)* felvetették, hogy a problémamegoldás sikerét vagy kudarcát jelenti az, ahogyan a természettudományos fogalmak tárolódnak a hosszú távú memóriában és majd hogyan kerülnek át a munkamemóriába. Ezt *Ausubel és munkatársai (1978)* valamint *Kempa és Nicholls (1983)* munkája is alátámasztja. Ha a tanulóknak kémiai problémákat kell megoldani, igényelni fogják a munkamemóriában lévő szükséges kémiai tudást a hosszú távú memóriában. Amellett, amit az egyén tud, az is fontos, hogy tanulta meg az információt, a tudása miként tárolódik és tudáselemek hogyan kapcsolódnak össze a gondolataikban. Az egyik kontextusban megszerzett kémiai tudás lehet, hogy nem lesz könnyen elérhető egy eltérő kontextusban való használatra, míg egy fogalom lehet, hogy nem fog jól kapcsolódni egy másikhoz, megnehezítve értelmes használatukat a problémamegoldásban. A tanuló gondolkodásmódjában jelen lévő tudását, az előzetes tapasztalatait és a kognitív képességeit valamilyen módon össze kell tudni kapcsolni a sikeres problémamegoldás érdekében. A kapcsolatteremtő készséget a fogalmi kapcsolat és az asszociációs képesség határozza meg *(Lee és munkatársai, 2001)*. A diákoknak rendelkezni kell egy olyan kognitív struktúrával, amely mindezek között kapcsolatot teremt. A kulcsfontosságú tények összekapcsolása a probléma megoldásához nehéznek bizonyul *(Yang, 2000)*. Éppen ezért sok kutató úgy tekintett a kognitív struktúrára, mint egy fontos tényezőre, amely befolyásolja a problémamegoldást. Ausubel tanuláselmélete szerint az értelmes tanulás, az új ismeret és a meglévő kognitív struktúra közötti hatékony összeköttetést vonja magával. A kapcsolódás ezen három aspektusa fontos a tanulási folyamatokban *(Ausubel és munkatársai, 1978)*.

Yang (2000) középiskolai tanulók körében végzett felmérésében egy olyan feladatsorozatot dolgozott ki, amely összes részfeladata specifikusan a tantervi tartalmakon alapult. Ezek alapján a diákoknak elegendő tudással kellett volna rendelkezniük a felmérésben szereplő valamennyi probléma megoldásához. Kimutatta, hogy a tanulóknak tudásbeli hiányosságaik voltak, de e mellett nagyobb nehézségi forrást jelentett az elsajátított ismeretek összekapcsolása az adott feladat megoldásában. Megállapítása szerint a tudás szigetei vagy a készségek közötti mentális ösvények létrehozása rendkívül nehéz. Úgy tűnik, hogy a diákok nem tudnak kapcsolódásokat létrehozni a kulcsfogalmak között.

Niaz (1987, 1988a, 1988b, 1988c, 1989) három egymás követő évben írt tanulmánysorozatában is arra a következtetésre jutott, hogy nem csak az erős kémiai háttérismeret a fontos, hanem a diákok kognitív stílusa és formális műveleti gondolkodása is. A fogalmak elsajátításához – a különböző kognitív képességek mellett – a közöttük lévő fogalmi kapcsolat kialakítására is szükség van *(Osborne és Cosgrove, 1983; Nurrenberg és Pickering, 1987; Sawrey, 1990; Bunce, 1993; Nakhleh, 1993; Nakhleh és Mitchell, 1993; Niaz, 1995; Chiu, 2001; Cracoline és munkatársai, 2008; Costu, 2010)*.

Egyes kutatók szerint a grafikus ábrázolásnak (diagramok, ábrák) fontos szerepe lehet a feladatok megértésében *(McKenzie és Padilla, 1986; Lenton és munkatársai, 2000; Dori és Sasson, 2008)*. Costu *(2007)* olyan feladatsort készített, amelyben a fogalmi megértésre, az algoritmikus feladatmegoldásra és a grafikai ábrák értelmezésére vonatkozó kérdések is szerepeltek. Szignifikáns különbségeket talált a háromféle kérdés között. Továbbá rámutatott, hogy pozitív kapcsolat áll fenn fogalmi megértés és algoritmikus megértés valamint a fogalmi megértés és grafikus megértés között. A vizsgálat azt is kimutatta, hogy a tanulók a legjobb teljesítményt fogalmi tesztben és a legrosszabb eredményt a grafikus tesztben érték el. Újabb kutatásában *(2010)* hasonlóra vállalkozott. A diákok szignifikánsan a legjobb teljesítményt algoritmikus kérdések megválaszolásakor nyújtottak minden tárgykörben, ami ellentmond az előző kutatásban tapasztaltakkal. Ugyanakkor ez a megállapítás összhangban is van a korábban leírtakkal, hogy a tanulók fogalmak megértése nélkül is meg tudták oldani a feladatokat. Közleménye végén azt a következtetést vonta le, hogy „algoritmikus megértés" nem feltételezi „fogalmi megértést" és a „fogalmi megértés" nem feltételezi „grafikus megértést".

Kempa és Nicholls (1983) a diákok kognitív struktúrája és problémamegoldó képességei közötti kapcsolatot kutatva úgy találták, hogy a jó problémamegoldók kognitív struktúrái összetettebbek és több asszociációt tartalmaznak, mint a rossz problémamegoldók esetében. Az is kiderült, hogy a rossz problémamegoldók kognitív struktúráiban található hiányosságok túlnyomórészt az elvont fogalmakkal kapcsolatban jelentek meg. Mindez az új szerkezeti elemzések során a tanulók jellemző tanulási útjában is nyomon követhető *(Arasasingham és munkatársai, 2004)*. A fogalmi megértést igénylő feladatok voltak a legnehezebbek a tanulók számára, azonban a számítási feladatokat a fogalmak értelmezése nélkül is meg tudták oldani a tanulók. Újabban pedig azt is kimutatták *(Tóth, 2006, 2007a)*, hogy alapvető különbség van azon tanulócsoportok jellemző tudásszerkezetében, akik fogalmi megértés alapján vagy memorizálási technikával tanultak meg alapvető fizikai és kémiai összefüggéseket. Az utóbbiak tudásszerkezetére jellemző volt, hogy a memorizálási technikával rögzült ismeretek izolált és nehezen mozgósítható tudáselemek.

Összességében általános az a tendencia, hogy a tanulók megtanulják megoldani a feladatokat anélkül, hogy a mélyebb fogalmi megértésig eljutnánk.

3.2.2. A kémiai probléma jellege, értelmezése és a kémiai problémamegoldás

A tanuló eredményessége, hogy meg tudja-e oldani az kémiai problémákat nagyban függ a feladatok jellegétől. A legfontosabb a probléma helyes, világos megfogalmazása *(Bennett, 2008)*. Amikor a diákok egy feladaton dolgoznak, az első lépés a probléma megtalálása és megértése. Ha nem egyértelmű a feladat leírása a tanulók már az elején nem értik meg és lehetetlen lesz számukra, hogy sikeresen megoldják azt.

A bonyolultabb számolást és összetettebb gondolkodást igénylő feladatok megoldása nehezebb a diákok számukra. Amikor jókora mennyiségű ismeretlen információval szembesültek, a diákok hajlamosak voltak elveszíteni az önbizalmukat és nagyon bizonytalannak tűntek azt illetően, hogy miként birkózzanak meg egy problémával *(Yang, 2000)*. A tanulónak túl sok információt kell egyszerre kezelnie, és ez meghaladja a munkamemória kapacitását. A tanulók nem mindegyike képes megkülönböztetni a kulcsfontosságú tényezőket a környező információtól. Annak a tanulónak, akinek még nincs kialakult sémája az adott témakörre a megoldás szempontjából fölösleges adatokat is tartalmazó feladat megoldhatatlanná válhat.

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

A kémiai feladatok megfelelő módon történő értelmezése szintén hatással van a problémamegoldásra *(Herron és Greenbowe 1986)*. *Hayes (1981)* szerint belső és külső reprezentáció lép fel, amikor a tanulók egy problémával szembesülnek. A belső reprezentáció azt tükrözi, hogy a tanulók hogyan képzelik el a problémát a gondolatukban. A külső reprezentációt a diákok grafikonok rajzolásával, folyamatábrák, szimbólumok, vagy egyenletek leírásával hozzák létre. A probléma megoldásához a tanulók ritkán készítenek tervet, azzal kezdik a feladatmegoldást, amit meg tudnak csinálni. Viszont nehéz problémáknál a külső reprezentáció nagyon hasznos *Bodner és Domin (2000)*. *Greenbowe (1983)* úgy találta, hogy a sikeres problémamegoldók képesek voltak a problémákhoz megfelelő reprezentációt alkotni és használni, és fogalmi megértésük is befolyásolta a probléma reprezentációját.

3.2.3. A tanítási-tanulási környezet jellemzői és a kémiai problémamegoldás

3.2.3.1 A megoldási módszerek és a kémiai problémamegoldás kapcsolata

A feladatmegoldó problémafelismerő képességét a probléma megértésen kívül a meglévő problémamegoldó készséggel mérjük *(Lee és munkatársai, 2001)*. A tanulók problémamegoldó készségét akkor tudjuk vizsgálni, ha a feladatok megoldása során adott válaszukat értékeljük. A diákok a kémiai feladatok megoldására különböző módszereket használhatnak. A stratégiahasználatban is megfigyelhető, hogy a kezdők többnyire csak egy megoldási módszert ismernek, és annak felhasználásával akarják megoldani az adott problémakör valamennyi feladatát. Ezzel szemben a szakértők több megoldási módszer birtokában vannak, és közülük ki tudják választani, hogy az adott feladat megoldására melyik módszer a legalkalmasabb. Az alkalmazható megoldási módszerek a következőek:

- Algoritmusok: Olyan deduktív megoldási módszerek, amelyek a feladatok viszonylag széles körének megoldására alkalmazhatóak. Minden fontosabb kémiai feladattípusra megadható egy vagy több megoldási algoritmus. A kémia tantárgy oktatása során algoritmusokat, megoldási módszereket tanítunk.
- Logikai eljárások: Minden olyan, az induktív gondolkodáson alapuló megoldási módszer, amellyel a tanuló az adott kontextusban még nem találkozott, és a feladat sajátos elemeire épül.
- Próbálgatás: A legegyszerűbb feladatmegoldási stratégia. A tanulók viszonylag hatékonyan alkalmazzák olyan egyszerű feladatok esetén, amelyek két, legfeljebb három változót tartalmaznak és a numerikus megoldás általában egész számokat eredményez. A próbálgatás nem idegen a nehezebb kémiai problémák megoldásától sem. Több olyan kémiai számítási feladat ismert, amely megoldása tartalmaz ilyen próbálgatási lépést is.

A kutatások szerint a problémamegoldó stratégiák megválasztása különböző tényezők függvénye. A megoldási módszerek kiválasztásában nagy szerepe van a tanuló adott területhez tartozó kémiai tudásának, az előzetes tapasztalatainak, a pedagógus által tanított megoldási módszereknek. Az ismert feladatmegoldó stratégiákat, a megoldási módszerek alkalmazását és a sikeres feladatmegoldás kapcsolatát a dolgozatomban három számítási területen mutatom be részletesen. Az ezekhez szorosan tartozó korábbi kutatási eredményeket az adott fejezeteknél foglalom össze. Itt inkább általános, átfogó képet igyekszem adni a megoldási módszerek és a kémiai problémamegoldás viszonyáról.

A természettudományok területén folyó kutatásokban a feladatmegoldási módszereinek kiválasztásának és alkalmazásának fontosságára a problémamegoldásban már *Pólya (1967)* is hangsúlyt fektetett, majd más kutatók is részletesen vizsgálták.

Frazer és Sleet közleményében *(1984)* arról ír, hogy sok diák, aki nem volt képes megoldani egy bonyolultabb feladatot, de meg tudta oldani annak minden részfeladatát, nem rendelkezett világosan meghatározott tervvel a feladat megoldására.

Számos tanulmány azt is kimutatta, hogy a merev ragaszkodás az olyan oktatáshoz, amely a kémiában az algoritmikus problémamegoldást hangsúlyozza, nem hoz létre fogalmi megértést a diákok számára. *Bodner (1987)* rámutatott arra, hogy az algoritmusok hasznosak a rutin kérdések vagy feladatok megoldásában, de nem elégségesek az összetettebb feladatok megválaszolására. Kitartott azon nézete mellett, hogy a problémák kidolgozása bonyolultabb annál, mint csupán az algoritmusok helyes sorrendben történő alkalmazása.

Nurrenberg és Pickering (1987) is kevés kapcsolatot talált egy algoritmikus alapú probléma megoldása és a probléma mögött rejlő kémiai fogalom megértése között. *Sawrey (1990)* megismételte Nurrenbern és Pickering kísérletét diákok egy nagyobb csoportjával. Hasonló eredményre jutottak. Még a jól teljesítőknek is nehézséget jelentettek a fogalmi megértéssel kapcsolatos kérdések. Ez megerősítette *Nurrenberg és Pickering (1987)* kísérleti eredményeit egy teljesen más diákpopuláció esetében.

Hasonló vizsgálatot végzett *Nakhleh (1993)*, valamint *Nakhleh és Mitchell (1993)*. Az eredmények azt mutatták, hogy a diákok 85%-a sikeresen meg tudta válaszolni az algoritmikus kérdést, de csak a csoport fele tudta helyesen értelmezni a választ.

Niaz és Robinson (1992) is megállapította, hogy az algoritmikus jellegű feladatok gyakorlása nem garantálja, hogy a tanulók a használt fogalmakat meg is értik.

Más tanulmányokban is arról számolnak be, hogy a tanulók sikeresen meg tudják oldani a kémiai számításokat anélkül is, hogy megértenék a feladat megoldásához szükséges kémia fogalmak jelentését *(Osborne és Cosgrove, 1983; Bunce, 1993; Niaz, 1995; Chiu, 2001; Cracoline és munkatársai, 2008; Costu, 2010)*. Ezzekkel párhuzamosan *Lin és munkatársai (1996)* azt találták, hogy nincs szignifikáns különbség a tanulók teljesítményében a fogalmi és az algoritmikus kérdéseket illetően.

Újabban már a tanulók tudásszerkezetét vizsgálva is hasonló eredmények születtek. A kémiai számításokhoz nélkülözhetetlen alapvető összefüggések (sűrűség, moláris tömeg, moláris térfogat, tömegszázalék) értelmes tanulás helyett memorizálási technikával történő tanítása izolált tudáselemeket eredményez, amely megnehezíti azoknak összetett feladatok megoldására való felhasználását *(Tóth, 2006, 2007a)*.

A megoldási módszerek megválasztását befolyásolja az iskolában tanított feladatmegoldó stratégia is. *Tóth (2002a)* tanulmányozta több témakörben (oldatok és vegyületek összetétele, reakcióegyenletekkel történő számolás) a kémiai számítások megoldásának és tanításának módszertani kérdéseit. Összegyűjtötte, majd elemezte a tanulók kémiai számítások során alkalmazott megoldási módszereiket.

A vizsgálatok alapján arra a megállapításra jutott, hogy a problémamegoldás alapvetően tudásterületspecifikus és a tanulók az iskolában tanított algoritmikus megoldási módszereket alkalmazzák. Munkája során megoldási stratégiákat is kidolgoztak a kémiai számítások ezen területeinek tanítására *(Tóth, 2002b)*. Ugyanakkor *Tóth (2004)* azt is kimutatta, hogy reakcióegyenletek rendezésében a magyar diákok kialakítják saját rendezési stratégiájukat – ami általában a próbálgatáson alapszik – mielőtt még az iskolában tanulnák az oxidációs számok megváltozásának módszerét, és ragaszkodnak ehhez az általában kis hatékonyságú saját stratégiához még igen összetett redoxiegyenletek rendezése esetén is.

Néhány vizsgálat szerint a problémamegoldás stratégiája és sikeressége függ attól is, mennyire összetett a feladat, milyenek a feladat kiindulási adatai. *Gabel és munkatársai (1984)*, valamint *Yarroch (1985)* tanulmányából kiderül, hogy az amerikai tanulók többsége algoritmikus módszereket használ a sztöchiometriai feladatok megoldásához, főleg akkor, ha a feladat túl nehéznek bizonyul számukra, bár a logikai eljárást is tanították nekik. Egy másik közlemény *(Atwater és Alick, 1990)* arról számol be, hogy a diákok sikeresebbek, ha logikai módszert alkalmaznak a sztöchiometria témakörébe tartozó feladatok kiszámolásához.

Schmidt és munkatársai azt tapasztalták, hogy a tanulók általában a könnyebb feladatoknál a saját stratégiák (logikai megoldás), a nehezebbek esetén az iskolában tanult megoldási módszerek alkalmazásával érnek el jobb eredményt *(Schmidt 1990, 1994, 1997; Schmidt és Jignéus, 2003)*. Más tapasztalatok szerint a nagyon egyszerű szöchiometriai feladatok esetén is az iskolában tanult stratégiákat, az algoritmikus módszereket részesítik előnybe *(Tóth és Kiss, 2004, 2005)*.

A bemutatott tanulmányok alátámasztják, hogy a diákok fogalmi megértése a problémamegoldásban messze elmaradt az algoritmikus problémamegoldó képességtől. Sok diák képes válaszolni egy kémiai összefüggésen alapuló algoritmikus kérdésre, de nem tud válaszolni egy ugyanazzal a fogalommal foglalkozó fogalmi kérdésre. A problémamegoldásban az algoritmusok használata nem látszik elősegíteni a probléma mögött rejlő fogalom megértését, a jelenlegi algoritmus alapú tanítás nem szükségszerűen vezet értő tanuláshoz is. Az egyértelműen látszik, hogy az algoritmusok ismerete szükséges, de nem elégséges feltétele annak, hogy a tanulók sikeresen oldják meg a feladatokat. Ezek használatán kívül a mögötte lévő kémiai tartalom, a megértett tudás is nagyon fontos. *Frank és munkatársai (1987)* is azzal érveltek, hogy az algoritmusok nem szükségszerűen rosszak és némelyikük hasznos és rövidebb út a feladatok megoldásához. Azonban az algoritmusok ténylegesen megakadályozhatják a megértést, amikor a diákok egy valódi problémával találkoznak. Sok múlik azon, hogy hogyan használják az algoritmusokat a diákok. Felvetették, hogy ha egy tanuló képes módosítani az algoritmust vagy új algoritmust létrehozni, akkor ő az algoritmusokat hatékony eszközként használja a problémák megoldására, ezért szükséges segíteni a diákoknak az algoritmusok használatában.

Az eddigi eredmények alapján biztosan elmondható, hogy a tanulók akkor fognak sikeresen feladatot megoldani, ha képesek a többféle megoldási stratégia közül kiválasztani a feladathoz leginkább megfelelőt. Fontos, hogy a megoldási módszer megfeleljen a feladatmegoldó személyének, ismert legyen a számára. A diákok rendelkezzenek azokkal a képességekkel, hogy olyan stratégiát válasszanak, amelyekhez a megadott információk felhasználhatók, és lehetővé teszik a probléma elemei közötti kapcsolat kialakítását.

3.2.3.2. A pedagógus szerepe a kémiai problémamegoldásban

A kémiai problémák megoldásában kulcsfontosságú szerepe van a pedagógusnak. Segítséget nyújt, megoldási módszereket tanít a tanulók számára. Az összefüggéseket a tanárnak kell sugallnia vagy biztosítania valamilyen módon. Több tanulmányból úgy tűnik, hogy a tanárok úgy gondolják, hogy kellő odafigyeléssel a diákok problémamegoldó képességei fejleszthetők. Ezzel összefüggésben sok kutató hangsúlyt fektet arra is, hogyan lehetne problémamegoldást fejleszteni, eredményesebb feladatmegoldást elérni. A problémamegoldás tanítása több kutató szerint leginkább a korábban részletesen tárgyalt fogalmi megértéssel tehető hatékonyabbá. *(Phelps, 1996; Johnstone, 2001, Bodner, 2003; Johnstone és Otis, 2006; Wood, 2006)*. Egy orosz kutatás kimutatta *(Akhmetov és munkatársai, 2009)*, hogy a diákok által választott megoldási módszer megválasztása nagyban függ tanári magyarázattól a saját, személyes tapasztalataik mellett. Legfontosabb következtetésük hogy a diákok számolási képességeit több megoldási eljárással szükséges fejleszteni. Úgy gondolják, hogy a képletek ismertetésére szükség van, de a feladatmegoldáshoz használni a kell más stratégiákat is, természetesen az arányok megtartására figyelve.

Lychcott (1990) azt mondta, ha azt akarjuk, hogy diákjaink problémákat tudjanak megoldani, létfontosságú, hogy segítsünk nekik megérteni a szükséges ismereteket. Középiskolások körében végzett tanulmányában arra a következtetésre jutott, hogy a legtöbb kémiát tanuló diák, amikor szokatlan vagy nehezebb problémával találkozik, várhatóan kudarcot vallana, ha a kémiaoktatás nem biztosítaná a követendő szabályokat vagy nem segítene nekik megérteni a kémiai ismeretet a tanulási folyamat során. Ráadásul *Anderson (1993)* szintén azt vetette fel, hogy a tanítás és a problémamegoldás összekapcsolása fontos előrelépést jelenthet arra vonatkozóan, hogy miként lehet elsajátítani az összetett problémamegoldó készségeket.

A kezdő feladatmegoldók csak a felszíni jellemzőkre figyelnek, sokszor nem is értik a feladatot, hanem rögtön számolni kezdenek a megadott számadatokkal. Arra törekednek, hogy minél hamarabb eljussanak a végeredményhez. A célhoz lineáris úton közelítenek, nem látják át kellőképpen a probléma elméleti hátterét. A szakértők mélyebb elemzést végeznek, értelmezik a feladatot, kiválasztják a megfelelő megoldási stratégiát és csak utána kezdenek el számolni. Egyszerre látják maguk előtt a megoldandó feladatot, a célt és a célhoz vezető utat. Sokszor feladatmegoldó sémák, folyamatábrák, szimbólumok felírásával kezdik a munkát és csak ezek után foglalkoznak a tényleges számadatokkal. Úgy gondolom a pedagógus legfontosabb feladata, hogy a kezdő problémamegoldót a szakértő szintjére fejlessze.

4. A kémiai számítási feladatok

4.1. A kémiai számítási feladatok helye a kémia tantárgy oktatásában

A tanulók általános iskolában 7. és 8. osztályban, középiskolában 9. és 10. évfolyamon (szakközép- és szakiskolákban csak 9. évfolyamon) tanulnak kémiát. A kémia tantárgy oktatása során számos, különböző jellegű problémával találkoznak a tanulók, de az igazi problémamegoldást mégis a kémiai számítási feladatok megoldása jelenti.

A kémiai számítások fontos helyet foglalnak el a kémia tanításában. A kerettantervben a pedagógiai feladatok között kiemelt hangsúllyal szerepelnek az egyes kompetenciák, ezzel együtt a problémamegoldó képesség fejlesztése is. A követelmények közül fontos, hogy a tanulók tudjanak számítási feladatokat megoldani, ismerjék és alkalmazzák a problémamegoldás elemi műveleteit. „A kémia tantárgy az egyszerű számítási feladatok révén hozzájárul a matematikai kompetencia fejlesztéséhez." „Az értékelés során az ismeretek megszerzésén túl vizsgálni kell, hogyan fejlődött a tanuló absztrakciós, modellalkotó, lényeglátó és problémamegoldó képessége." *(51/2012. EMMI rendelet, 2. és 3. számú melléklet, 394. oldal és 425. oldal).* Ez utóbbi legjobban számítási feladatok megoldásán keresztül értékelhető. Minden olyan évfolyamon, ahol kémiát tanítunk, megjelenik a tananyagban, ezért kellő időt kell fordítani ezek vizsgálatára a hatékony tanítás érdekében. A közoktatásban tanított kémiai számítási feladatok témakörei a következőek:

- Anyagmennyiséggel kapcsolatos feladatok
- ***Sztöchiometriával kapcsolatos feladatok*** – az *általam vizsgált feladatok csoportja*
- Gázokkal kapcsolatos feladatok
- A keverékek és elegyek, illetve oldatok összetételével kapcsolatos feladatok
- Oldatok hígításával és töményítésével, kristályosítással kapcsolatos feladatok
- Oldategyensúlyokkal kapcsolatos feladatok
- Gázegyensúlyokkal kapcsolatos feladatok
- Elektrokémiával kapcsolatos feladatok
- Termokémiával kapcsolatos feladatok

A *2. táblázat*ban az egyes évfolyamokra és témakörökre lebontva mutatom be a fenti témakörökbe tartozó kémiai számítási feladatokat az egyik leggyakrabban használt tankönyvcsalád alapján *(MOZAIK)*. Kiemeltem azokat a feladattípusokat, amelyek vizsgálatával dolgozatomban foglalkoztam.

2. táblázat: Az egyes évfolyamokon megjelenő kémiai számítási feladatok

Témakör	Számítási feladatok
	7. évfolyam: Kémiai alapismeretek
Kémiai alapismeretek	***Képlettel vagy következtetéssel történő számolás*** ▪ ***Tömeg, sűrűség és térfogat közötti kapcsolat ismerete*** ▪ Oldatok hígítás, töményítése, keverése ▪ Oldatok töménységének megadása: tömegszázalék és térfogatszázalék kiszámítása
Atomszerkezeti ismeretek	***Vegyjelek és képletek mennyiségi jelentésének ismerete*** ▪ ***Elemi részecskék számának megadása a periódusos rendszer segítségével*** ▪ ***Részecskeszám, Avogadro-szám és anyagmennyiség közötti kapcsolat ismerete*** ▪ ***Tömeg, moláris tömeg és anyagmennyiség közötti kapcsolat ismerete***
	8. évfolyam: Szervetlen kémia
Kémiai alapismeretek ismétlése és rendszerezése	***Egyszerű reakcióegyenletek felhasználásával a reakcióban részt vevő anyagok anyagmennyiségének és tömegének kiszámolása***

Témakör	Számítási feladatok
	9. évfolyam: Általános kémia
Kémiai kötések Anyagi halmazok	▪ ***Térfogat, moláris térfogat és anyagmennyiség közötti kapcsolat ismerete különböző állapotokon*** ▪ Avogadro-törvény alkalmazása reakcióegyenletekkel kapcsolatban (tömeg, térfogat és részecskeszám kiszámítása) ▪ Oldatok töménységének megadása: tömeg- , térfogat- és anyagmennyiség-százalék valamint tömeg- és anyagmennyiség-koncentráció kiszámolása
Kémiai reakciók	▪ ***Reakcióegyenletek felírása és segítségével tömeg, térfogat vagy részecskeszám kiszámolása*** ▪ Reakcióhő meghatározása ▪ Egyensúlyi állandó megadása egyensúlyi koncentrációkból ▪ pH kiszámolása erős savak és lúgok esetén
Elektrokémiai alapismeretek	▪ Elektromotoros erő kiszámolása ▪ Az elektrolízis mennyiségi törvényeinek alkalmazása
	10. évfolyam: Szerves kémia
Bevezetés a szerves kémiába, Szénhidrogének Egy funkciós csoportot tartalmazó szénhidrogének Legfontosabb természetes szénvegyületek	▪ Vegyületek tömegszázalékos összetételének megadása a képlet alapján ▪ Vegyületek összegképletének meghatározása a moláris tömeg vagy az alkotó atomok mennyiségének ismeretében ▪ Jellemző reakcióegyenletek felírása és segítségükkel való számolás

A kémiai számítások nem maradhatnak el az érettségi vizsgákon sem. A részletes érettségi vizsga követelményei között közép szintű kémia érettségin szerepel azon kompetencia meglétének bizonyítása, hogy a vizsgázó meg tud oldani egyszerű kémiai számítási feladatokat. Az emelt szintű kémia érettségin „ezen túlmenően szükséges a több témakör ismeretanyagának logikai összekapcsolását igénylő, összetett kémiai számítási és elméleti feladatok, problémák megoldása.” (*40/2002. OM rendelet, részletes érettségi vizsgakövetelmények, 2. oldal)* A közép szintű kémia érettségi vizsga írásbeli feladatsorában „a számítási feladatokkal elérhető pontszám az összpontszámnak mintegy 20-40%-át teszi ki: annak, aki az alternatív feladat számításos formáját választja legfeljebb 40%, aki az elméleti jellegű kérdést oldja meg 20% körüli érték.” *(40/2002. OM rendelet, a vizsga leírása, 2. oldal)* Az emelt szintű kémia érettségi vizsga írásbeli feladatsorában „a számítási feladatokkal elérhető pontszám az összpontszámnak mintegy 40-50%-át teszi ki. Az írásbeli feladatsor legalább négy számítási feladatot tartalmaz.” *(40/2002. OM rendelet, a vizsga leírása, 8. oldal)* Továbbá általánosan elvárt kompetencia a

„problémafelismerési és problémamegoldó képesség elsajátítása, a célhoz vezető nem ismert megoldási út megtalálása valós, életszerű helyzetekben” *(40/2002. OM rendelet, részletes érettségi vizsgakövetelmények, 1. oldal)*.

A kémiai számítások széles lehetőséget nyújtanak az ún. problématípusú feladatok készítésére is. Így nem csak az érettségi-felvételi vizsgáknak képezik szerves részét, hanem a különböző kémiai versenyeknek is. Ezzel magyarázható, hogy a tanulmányi versenyek (Curie Kémia Emlékverseny, Irinyi János Középiskolai Tanulmányi Verseny, Nemzetközi Kémiai Diákolimpia) feladatai jelentős arányban tartalmaznak kémiai számításokat.

4.2. A kémiai számítási feladatok szerepe, célja a kémia tantárgy oktatásában

A kémiai számítási feladatoknak kétség kívül fontos helyet foglalnak el a tananyagban, jelentős szerepük, pedagógiai funkciójuk van a kémia tanításában. Fontosságukat tekintve természetesen más-más módon látja a diák és a pedagógus.

A tanulók a kémiai számításokat gyakran öncélúnak tartják, nem szeretik és nehézséget okoz számukra a megoldásuk. Sokszor ezek megléte teszi nehézzé, olykor akár riasztóvá a kémiát. Egy korábban végzett kutatásmódszertani dolgozat *(Dobóné, 2005)* széles körben vizsgálta a tanulók kémia tantárgy iránti attitűdjét. A szerteágazó vizsgálatból most csak három részt emelek ki. A kérdések egyike arra kereste a választ, hogy mely tevékenységek a legvonzóbbak a kémiában. A számolási feladatokat csak a tanulók 8,9%-a kedveli. A felmérésből az is kiderül, hogy a kémiai számításoktól (27,6%), a képletek felírásától (21,7%), az egyenletrendezéstől (7,2%) és a kémiai képletekkel történő számolástól (9,65%) idegenkedtek a diákok. Továbbá az is szembetűnő, hogy a kémiából továbbtanulni szándékozó diákok 31,3%-a is a kémiai számítási feladatokat tartja a legnehezebbnek. Azonban azt is meg kell jegyezni, hogy a differenciált felkészítés során nyilvánvalóan ők komplexebb feladatokat oldanak meg. A bemutatott statisztikai adatok nem szívderítőek és feltehetőn a helyzet manapság sem biztatóbb. Mindezt megerősíti a tanulók több éves kémia tanulás után mutatott teljesítménye, amely jól nyomon követhető a felsőoktatásba belépő hallgatók tudásában *(Tóth és Radnóti, 2009; Radnóti, 2010a, 2010b, 2010c; Tóth, 2010a, 2010b)*.

A tanárok is egyetértenek azzal a ténnyel, hogy a kémia tantárgyán belül valóban a kémiai számítási feladatok megoldása a legnehezebb. Azonban az is fontos elvárás, hogy a kognitív pedagógiában kitűzött didaktikai és nevelési céloknak megfeleljen.

A kémiai számítási feladatok tanításának fő céljait három pontban fogalmazhatjuk meg:

- ***A feladat konkrét témaköréhez tartozó tudásterület fejlesztése.*** A számítási feladatok hozzájárulnak az adott tárgykörhöz tartozó fogalmak mélyebb megértéséhez. Emellett mint már említettem több nemzetközi kutatásban találunk rá példát, hogy a tanulók a kémiai számítási feladatokban eredményesen teljesítenek a megoldáshoz szükséges fogalmakat megértése nélkül is *(Osborne és Cosgrove, 1983; Nurrenberg és Pickering, 1987; Nakhleh, 1993; Nakhleh és Mitchell, 1993; Cracoline, Deming és Ehlert, 2008)*. A tudástérelmélet segítségével felírt jellemző tanulási utakból is kiderült, hogy bár a fogalmi megértést igénylő feladat bizonyulnak a legnehezebbnek a tanulók számára, de a számítási feladatok megoldásával a fogalmak értelmezése nélkül is boldogultak *(Arasasingham és munkatársai, 2004)*. Tudásszerkezet-vizsgálatban különbséget mutattak ki *(Tóth, 2006, 2007a))* a tanulócsoportok jellemző tudásszerkezetében azt figyelembe véve, hogy alapvető kémiai mennyiségeket a fogalmi megértés alapján sajátították el vagy a memorizálási technikával tanulták meg. A magolással tanult ismeretek izolálódtak a tudásszerkezetben. Bár a diákok megértés nélkül is tudnak alkalmazni bizonyos szabályokat, összefüggéseket, azonban a gondolkodásmódjukba nem épül be minden ismeret. Így mindenképpen arra kell törekednünk, hogy a kialakult hézagokat pótoljuk.
- ***A tanulók problémamegoldással kapcsolatos metakognitív tudásának fejlesztése, megoldási sémák kialakítása.*** A konstruktivista pedagógia alapján a problémamegoldás is, mint minden ismeretünk kontextusfüggő, tudásterület-specifikus. A kutatók *(Nahalka és Poór, 2002)* szerint nem beszélhetünk általános problémamegoldó képességről, de a metakognitív rendszerünknek van olyan része, amely a problémamegoldással kapcsolatos. Ezek közé tartozik az analógiák keresése, az arányosság felírása, az adatok szemléletes feltüntetése. Fontos még olyan algoritmus tanítása, amely széles körben alkalmazható. A jól begyakoroltatott algoritmusok biztonságot nyújtanak a feladatmegoldóknak a számukra ismeretlen feladatokkal szemben, mert ha felfedezi egy már ismert feladattal a hasonlóságot úgy ezt a problémát is képes lesz sikeresen megoldani. Az ilyen készségek, képességek fejlesztésére a különböző kémiai számítási feladatok nagyon jól alkalmazhatóak. A külföldi középiskolások sikeresen alkalmazzák saját stratégiájukat a sztöchiometriai számítási feladatok megoldásához *(Schmidt, 1990, 1994, 1997; Schmidt és Jignéus, 2003)*. Ezzel szemben a magyar diákok az

iskolában tanult megoldási eljárásokat alkalmazzák még egyszerű sztöchiometriai számításokban is *(Tóth és Kiss, 2005)*.

- ***A különböző vizsgák és tanulmányi versenyek teljesítéséhez szükséges rutin elsajátítása.*** A különböző szintű kémia érettségik és tanulmányi versenyek sikeres teljesítéséhez az elsajátított kémiai ismereteket kell alkalmazni és egymásra építeni. Például a felmérésben szereplő feladatlapok esetén a sztöchiometriai számításokhoz elengedhetetlenül szükséges a tömeg-térfogat-részecskeszám-anyagmennyiség egymásba történő átváltása. Mindez elképzelhetetlen feladatmegoldó rutin nélkül.

A számítási feladatok nem elhanyagolható célja továbbá a precizitásra nevelés. Áttekinthető írás nélkül az összecsapott feladatmegoldásban a tanuló nem képes lépésről lépésre végighaladni és majd később újból átlátni a problémát.

A kémiai feladatokkal a tanulókat problémamegoldásra neveljük, hiszen később is szükségük lesz arra, hogy önállóan oldják meg a tanulmányaik és az életük során felmerülő különböző problémákat. Segítik a logikus gondolkozás fejlődését és a gyakorlati életben való eligazodást is.

A kémiai számítási feladatok tanításával tehát igen sokrétű és szerteágazó célunk van. Képességeket és készségeket fejlesztünk, amelyek a későbbiek során szükségesek lehetnek, így jövőbe mutató pedagógiai és nevelési céljai is vannak. Ezt a sok elvárást látva érthető, miért olyan fontos a számítási feladatok oktatása. Alaposan átgondolt és érthető tanítása viszont csak részletes vizsgálatok után valósulhat meg.

4.3. A kémiai számítási feladatok tanítása

A kémia számítási feladatok oktatása összetett feladat. Nem elég ismertetni a megoldásukhoz szükséges fogalmakat, képleteket, összefüggéseket és megoldási módszereket, valójában úgy kell megtanítani, hogy a diákok el is sajátítsák azokat. Mivel minden tanuló más-más egyéniség arra kell törekedni, hogy különböző tanítási eszközöket és változatos feladatokat használjunk.

A kognitív pszichológia és a konstruktivista pedagógia szerint a kémiai számítási feladatok hatékony tanítása következő alapelvek segítségével valósítható meg *(Tóth, 2015)*:

- A fokozatosság elve alapján egy nagyon egyszerű, egy lépésben, akár fejben is kiszámolható feladattól kell eljutni a bonyolultabb, több lépéses feladatig az adott témakörben. Kezdetben a számítási feladat csak a megoldásához szükséges adatokat tartalmazza, mert a felesleges információk megzavarják a diákokat. A tanulóknak azt is meg kell szokniuk, hogy a végeredmény nem feltétlenül egész szám.

- Folyamatábrák, megoldási hálók, táblázatok, rajzok segítségével a vizualitásra törekvés elve valósul meg. Így a feladat a tanulók számára jobban áttekinthető és segíti a mennyiségek közötti kapcsolatok felismerését.
- A számítási feladatok életszerűvé tételének elvét alkalmazva a feladatokat célszerű a hétköznapi példákkal is szemléltetni.
- A mindennapi életből vett analógiák alkalmazásának elvével lehetőségünk van olyan analóg feladatot készíteni, amely a tanulók mindennapi életéhez kapcsolódik, és amelynek megoldása a kémiai számítási feladatra alkalmazott megoldási stratégiával lehetséges. Az adott számítási feladathoz hasonló, de kémiai ismeretet nem igénylő feladatokkal csökkenthetjük annak nehézségét valamint könnyebben rávezethetjük a tanulókat a kémiai tudást igénylő feladatok megoldására.
- A kémiai számítási feladatok hatékony tanítása csak akkor valósítható meg, ha a tanulók előzetes tudására építés elve alapján feltárjuk a diákok már meglévő ismereteit, esetleges tévképzeteit és azonosítjuk a megoldási stratégiáikat. Ezekre építve tudjuk fokozatosan bevezetni az új ismereteket és a megoldási módszereket.
- Egy adott feladattípus esetén érdemes több, különböző megoldási módszer segítségével bemutatni a feladatmegoldást. Így érvényesül a változatosság elve. Hiszen nagyon fontos, hogy a megoldási stratégiákat úgy sajátítsák el a tanulók, hogy mindig a feladat jellegének megfelelő eljárást válasszák a feladat kiszámolásához. A jó feladatmegoldót ugyanis arról ismerjük fel, hogy az adott kémiai feladat megoldásához a lehetséges megoldási módszerek közül a legmegfelelőbbet használja.

III. VIZSGÁLAT A SZTÖCHIOMETRIAI SZÁMÍTÁSI FELADATOK MEGOLDÁSÁBAN

1. A vizsgálat céljai és főbb hipotézisei

A kémiai számítási feladatok megoldására az elsajátított, megtanított ismeretek alapján többféle lehetőség nyílik. A tanulók egyéni gondolkodásmódja is nagyban befolyásolja, mely megoldási utat választják az adott feladattípus esetén. Kutatásom során két fő irányvonalat jelöltem ki. Az egyik mentén azt próbáltam kideríteni, hogy a 13 és 16 év közötti tanulók körében a sztöchiometriai kémiai számítások három területén mely megoldási módszerek népszerűek, a diákok alkotnak-e saját, egyéni stratégiákat és változik-e a stratégiájuk az életkor növekedésével. Bár a feladatmegoldó módszerek azonosítása több tanulmányban felelhető, de a megoldási módszerek és a tudásszerkezet közötti kapcsolat vizsgálata még nem történt meg. Így másik fontos célom a tanulók tudásszerkezetének feltérképezése volt egy tudásszerkezet-elemző módszer, a tudástérelmélet segítségével. Különös tekintettel a tanulók különböző típusú kémiai számításokban alkalmazott megoldási módszereivel kapcsolatos tudásszerkezetének megállapítására és összehasonlítására. Természetesen kíváncsi voltam a téves megoldáshoz vezető jellegzetes hibákra is.

Munkám során kutatási céljaimat a következőkben fogalmaztam meg:

1. Általános és középiskolás tanulók stratégiafejlődésének és stratégiaváltásának vizsgálata a kémiai számítások három területén.

- Mindegyik feladattípus esetén a tanulók megoldási stratégiájának feltárása, elemzése.
- Egy-egy feladattípuson belül a stratégiaváltás folyamatának részletes tanulmányozása a kémiaoktatás előrehaladtával.

2. Általános és középiskolás tanulók körében többféle szempont alapján kialakuló csoportok tudásszerkezetének részletes jellemzése az egyes kémiai számításokban.

- A különböző korosztályú, különböző megoldási stratégiával rendelkező, más-más számolási technikát alkalmazó, eltérő teljesítményű tanulócsoportok valamint a fiúk és lányok tudásszerkezetének, jellemző tanulási útjának és feladathierarchiájának meghatározása, összehasonlítása.

- A problémamegoldó stratégia és a tudásszerkezet közötti kapcsolat vizsgálata. Azon hipotézis igazolása, hogy a különböző megoldási stratégiát használó tanulók jellemző tudásszerkezete is különbözik.
- Azon kérdés eldöntése, hogy a tudásszerkezet-vizsgálat általunk használt modellje, a tudástérelmélet alkalmas-e a tudásszerkezetben mutatkozó különbségek, a tudás szerveződésének finomszerkezeti kimutatására, illetve vizsgálatára.

3. A jellemző típushibák, esetleges tévképzetek feltárása.

2. A vizsgálat alanyai

A széleskörű vizsgálatban az ország 21 különböző településén *(3. melléklet)* lévő 42 iskola tanulói vettek részt. Az intézmények pontos adatait a *2. melléklet* tartalmazza. Az iskolák többségében személyes ismeretség révén kaptam segítséget a vizsgálat kivitelezéséhez, a diákok csak egy nagyon kis részét tanítottam. A feladatlapok szétosztásánál törekedtem arra, hogy azok közel az egész ország területét lefedjék. Közöttük voltak általános iskolába, négy-, hat- és nyolcosztályos gimnáziumba, szakközépiskolába és szakiskolába járó tanulók *(1. függelék)*. Érdeklődési körüket tekintve is heterogén mintáról van szó. Természetesen voltak a kémia iránt érdeklődők, de biológiai, zenei, nyelvi, történelmi vagy akár testnevelés tagozatra járó diákok is. A feladatsorokat 7-10. osztályos diákok oldották meg, a populációt összesen 3290 tanuló alkotta. A teszteket megíró tanulók létszáma évfolyamokra lebontva a *3. táblázat*ban látható. Az adatgyűjtés azért történt ebben a négy osztályban, mert a magyar közoktatási előírásoknak megfelelően ezeken az évfolyamokon tanulnak a gyerekek kémiát. A tanulók iskolák és évfolyamok alapján történő besorolását a *1. melléklet* tartalmazza.

3. táblázat: A minta évfolyamok szerinti lebontása

évfolyam	**tanulók száma** (fő)
7.	518
8.	609
9.	1121
10.	1042
összesen	**3290**

3. A vizsgálat módszerei

3.1. A mérőeszköz

Az empirikus vizsgálat saját fejlesztésű, nyílt végű feladatokat tartalmazó írásbeli, tudásszintmérő feladatlapokkal történt. A mérőeszközök Cronbach-alfa értékei 0,7 fölöttiek: 0,726-0,857 *(2. függelék)*, így a feladatlapok megfelelően mérnek. Felépítésüket tekintve közös tulajdonságuk, hogy a feladatlapok mindegyike tartalmaz 1-2 összetett feladatot és hozzájuk kapcsolódó 5-8 egyszerű feladatot. Az egyszerű feladatok az összetett feladat megoldási stratégiáiban előforduló részlépéseire, tudáselemeire vonatkoznak. Az összetett feladat indikátorként szerepel, ennek megoldása alapján is képeztem a tanulókból alcsoportokat. Háttérváltozóként minden esetben rögzítésre került a tanuló osztálya, iskolájának típusa, neme, a legutolsó félévi kémia és matematika osztályzata.

A feladatlapok három témakörben készültek el:

- E-1 feladatlap: **Reakcióegyenlet alapján történő számítás**
- V-1 feladatlap: **Vegyületek összetételének számításával kapcsolatos feladatok**
- R-1 feladatlap: **Makroszintű és részecskeszintű mennyiségeket tartalmazó számítási feladatok**

A teljes feladatlapok az egyes elemzéseknél, illetve a *4. melléklet*ben kerülnek bemutatásra. A vizsgálat céljára olyan kémiai számítási feladatok kerültek kiválasztásra, amelyek megoldása többféle stratégiával lehetséges. A feladatlapok összeállítását úgy történt, hogy segítségével következtetni lehessen a tanulók megoldási stratégiájára, valamint az esetleges stratégiafejlődésre vagy stratégiaváltásra. A különböző feladatlapokat megíró tanulók száma évfolyamokra lebontva a *4. táblázat*ban látható.

4. táblázat: A feladatlapokat megírt tanulók számának megoszlása évfolyamonként

	évfolyam				összesen
	7.	8.	9.	10.	
E-1	160	210	364	338	***1072***
V-1	166	201	349	342	***1058***
R-1	192	198	409	362	***1160***
összesen	***518***	***609***	***1121***	***1042***	**3290**

3.2. A vizsgálat lebonyolítása

A nagymintás méréseket megelőzően az említett három témakörben elemzéseket végeztem elsőéves egyetemi hallgatók feladatmegoldásai alapján *(Sebestyén és Tóth, 2006a, 2006b, 2006c)*. Leginkább azért, mert ezek a hallgatók éppen befejezték a középiskolai tanulmányaikat, így az eredményeket hasznosítani tudtam. A tapasztalatokat átgondolva történt meg a feladatlapok kidolgozása, majd az adatok összegyűjtése.

Az írásbeli feladatlapok megíratásra a 2005-2006-os tanév második félévében került sor. A feladatlapokat a felkért szaktanárok felügyelete mellett oldották meg a tanulók normál tanítási óra keretében, általában kémia órán. Én csak egy esetben voltam személyesen jelen a felmérés megíratásakor. Az adatfelvételt minden iskolában egy kapcsolattartó tanár szervezte *(2. melléklet)*. Az intézményekbe postáztam mind a három típusú feladatlapból, amelyből mindegyik osztály kapott. Mindegyik tanuló csak egyféle feladatlapot kapott, tehát minden harmadik diák írta ugyanazt a feladatlapot. A feladatlapok szétosztása úgy történt, hogy a tanulók különböző témakörbe tartozó feladatlapot kapjanak, csökkentve ezzel a tanulók közötti együttműködés torzító hatását. Az egyes témakörökből összeállított feladatlapok kiosztása tehát véletlenszerűnek tekinthető. A feladatok megoldására egy tanítási óra állt a tanulók rendelkezésére és azokat tetszőleges sorrendben oldhatták meg. A feladatlapokon szerepeltek a szükséges számadatok (moláris tömeg, moláris térfogat, Avogadro-szám, rendszám) a sikeres feladatmegoldáshoz. A munkához csak zsebszámológépet használhattak a tanulók.

A feladatlapok visszaérkezése után mindegyiket kóddokkal láttam el, amelyek jelölik a tanuló osztályát, az iskola típusát és tagozatát, a konkrét iskolát és a tanuló sorszámát.

4. Az értékelés módszerei

A kapott válaszok elemzését három dimenzióban végeztem el. A kémiai számítások terén a minőségi és mennyiségi értékelések mellett elért eredményeimet szerkezetvizsgáló módszer segítségével egészítettem ki.

4.1. A tanulói válaszok tartalmi elemzése

A tartalmi elemzés során azonosítottam a már ismert megoldási stratégiákat, vizsgáltam azok gyakoriságát, kategorizáltam az irodalomban még le nem írtakat, valamint összegyűjtöttem a tipikus hibákat és a tévképzeteket.

A tanulók megoldásainak vizsgálata előtt fontosnak tartottam megismerni a Magyarországon tanított megoldási módszereket. Igyekeztem minél több tankönyvet áttanulmányozni abból a szempontból, hogy az adott témakörben milyen megoldási stratégiákat mutatnak be a diákok számára. A vizsgálat során 35 tankönyvet vettem szemügyre, amely a 7-10. évfolyamig terjedő kötetek mindegyikét tartalmazta. A tankönyvek listája a *6. mellékletben* olvasható. Törekedtem arra is odafigyelni, hogy a felmérés időszakában mely tankönyvekből tanulhattak a tanulók.

4.2. A tanulói válaszok statisztikai értékelése

Az értékelést dichotomikus skálán (0, 1) végeztem. Ha a tanuló nem írt semmit a feladathoz, vagy ha a megoldása rossz volt, 0 pontot kapott. Minden feladatnál 1 pontra értékeltem a tanuló jó válaszát függetlenül a feladatok nehézségétől. A kvantitatív elemzés során, az eredmények statisztikai elemzésével különböző összetételű csoportok közötti eltérések, változások szignifikanciáját vizsgáltam. Kettőnél több minta adatainak páronkénti összehasonlítása varianciaanalízissel történt. Egymintás t-próbát akkor alkalmaztam, amennyiben az adataim ugyanazoktól a vizsgált személyektől származtak két különböző mérés eredményeképpen. Egy mérés két különböző mintájából származó adatokat kétmintás t-próbával hasonlítottam össze. χ^2-próbát használtam annak megállapítására, hogy a kapott (ismert) adatok lényegesen eltérnek-e az úgynevezett várt (kiszámolt) adatoktól. Korrelációszámítással vizsgáltam a feladatlap egyes elemei, illetve a háttérváltozók közötti kapcsolat erősségét is.

Az elemzésekhez Microsoft Office Excel és SPSS (Statistical Package for Social Sciences, 20-as verzió) számítógépes programokat használtam *(Falus és Ollé, 2000)*. A dolgozatban szereplő grafikonokat, diagramokat Microsoft Office Excel program segítségével készítettem. A tudásszerkezeteket Microsoft Office PowerPoint programot használva szerkesztettem.

4.3. A tanulói válaszok szerkezeti elemzése

A szerkezeti vizsgálathoz a következő fejezetben bemutatásra kerülő tudástérelméletet alkalmaztam. Az eredmények strukturális elemzésével a tudás szerveződését vizsgáltam. A tudástérelmélet alapján történő szerkezeti elemzésre a Potter-féle számítógépes programot *(Potter, 2004)*, valamint a hDA számítógépes elemző programot használtam.

A szerkezeti elemzés során kapott jellemző tudásszerkezetekben kék színnel jelöltem az összetett feladatot és vastag nyilakkal az odavezető utat.

5. A tanulók tudásszerkezetének feltérképezésére használt szerkezet-elemzési módszer, a tudástérelmélet

A tudásszerkezet, a tudás szerveződésének vizsgálata alapvető fontosságú a különböző tényezőknek a tanítás-tanulás hatékonyságára gyakorolt hatásának felderítésében. Ez a tanulók válaszainak szerkezeti elemzése útján valósulhat meg, melyre gyakran használunk különböző modelleket, hálózatokat *(Csapó, 1992; Dobi, 2002)*.

Ezek között szerepel a fogalmi térképek felírása, a szóasszociációs módszer alkalmazása, a gráfok szerkesztése. A napi tanítási gyakorlatban jól használhatók a fogalmi térképek, amelyek egy témakörhöz tartozó legfontosabb fogalmak kapcsolatát írják le. A fogalmi térképek az egyes tanulók tudásreprezentációjának feltárására alkalmasak (*Kagan, 2001; Kiss és Tóth, 2002; Taber, 2002; Habók, 2008*). Egyéni és csoportos elemzéseket végezhetünk szóasszociáció módszerrel, amellyel azt vizsgáljuk, hogy az adott témakörhöz tartozó kulcsfogalmak alapján a tanuló milyen más szavakra asszociál meghatározott idő alatt *(Kempa és Nicholls, 1983; Bahar és munkatársai, 1999; Yang, 2000; Hovardas és Korfiatis, 2006; Cardellini, 2008; Kostova és Radoynovska, 2008; Nakiboglu, 2008; Kluknavszky és Tóth, 2009; Ercan és munkatársai, 2010; Sendur és munkatársai, 2011; Tóth és Sójáné, 2012; Tóth és Sója-Gajdos, 2012; Daru és Tóth, 2014a, 2014b; Malmos és Revákné, 2015)*. A Galois-gráfok elsősorban fogalmi struktúrák vizsgálatára alkalmasak (*Csapó 1992; Takács, 1997, 2000, 2003; Kovács, 2000; Dobi, 2002; Fatalin, 2008*). A gráfokhoz hasonló sokdimenziós modell a tudástérelmélet, amely az oktatás és így a kémia tanításában is hasznos információkkal szolgálhat. A tanulók tudásszerkezetének feltérképezésére használt elemzési módszer individuális és kollektív elemzésre egyaránt alkalmas. A módszer lehetővé teszi a tanulócsoport jellemző tudásszerkezetének összehasonlítását az úgynevezett szakértői tudásszerkezettel. A tudásszerkezet alapján megszerkesztett jellemző tanulási út segítségével meghatározhatjuk az ismeretanyag tanításának megfelelő sorrendjét, valamint tanulmányozhatjuk különböző tényezők hatását (életkor, nem, tanítási módszer) a tudás szerveződésére. A különböző tanulócsoportok pillanatnyi felkészültségéről, előismereteiről is képet kaphat a pedagógus. Új lehetőségeket nyit a tudás szerveződésének vizsgálatában, hatékony és új eszköze a tudásszerkezet változásának és fejlődésének kutatásában. Egyik újdonsága, hogy a korábban alkalmazott tudásszerkezet-vizsgáló módszerekkel ellentétben nem lineáris modellekkel írja le a tudás szerveződését. Másik újdonsága, hogy az előzőekben ismertetett szerkezetvizsgáló módszerekkel szemben eddig figyelmen kívül hagyott valószínűségi elemeket is beépíti az elemzés során. Ezek a feladatmegoldás során fellépő szerencsés találat, és a véletlen hiba.

5.1. A tudástérelmélet alapjai

Az elmélet néhány évtizede jelent meg a nemzetközi szakirodalomban. Kidolgozása és továbbfejlesztése matematikai pszichológusok, elsősorban Doignon és Falmagne nevéhez fűződik. *(Falmagne és munkatársai, 1990, 2013, évszám nélkül; Albert, 1994; Doignon és Falmagne, 1999; Falmagne és Doignon, 2011)*. A kémiai kutatásokban először *Taagepera és munkatársai (1997)* alkalmazták. Magyarországon a tudástérelméletet Tóth Zoltán vezette be, használta először a tanulók tudásszerkezetének feltérképezésére és bővítette ki az egymásra épülő tudáselemek hierarchiájával. A tudástérelmélet jellemzőit, jelentőségét Tóth Zoltán közleménye *(Tóth, 2005)* és monográfiája *(Tóth, 2012)* alapján foglalom össze.

5.2. A tudástérelmélet fontosabb fogalmai és alapfeltevése

A tudástérelmélet egy olyan sokdimenziós modell, amely az ismeretek kognitív szerveződését egy jól tagolt tudástérrel próbálja leírni. A tudástér egy adott tantárgy, témakör megértéséhez szükséges ismeretek együttese. A természettudományokban azon feladatok összessége, amelyeket a tanulónak az ismeretei alapján meg kell tudni oldania. Ezek a problémák, illetve a megoldásukhoz szükséges ismeretek többé-kevésbé hierarchikus rendszert képeznek. A tudástérelmélet alapfeltevése szerint, ha a tanuló meg tud oldani egy, a hierarchia magasabb szintjén lévő feladatot, akkor várható, hogy minden olyan feladatot meg tud oldani, amely a hierarchiában az előbbi feladat alatt helyezkedik el. Minden tanuló jellemezhető egy tudásállapottal, amely azon feladatok összessége, amelyeket a tanuló meg tud oldani. A feladatok között előfeltétel kapcsolat létezik, amely megadja a feladatok hierarchiáját. Egy csoportra jellemző tudásállapotok együttese a tudásszerkezet, amely csak olyan tudásállapotokat tartalmaz, amelyek mindegyike része egy hierarchikus hálónak. Jól tagolt, összeköttetésben van legalább egy felette, és legalább egy alatta lévő tudásállapottal, kivéve a [0] (a tanuló egy feladatot sem tudott megoldani) és a [Q] (a tanuló valamennyi feladatot meg tudta oldani) tudásállapotokat. Ezt a feladathierarchiát szemléletesen ábrázolhatjuk a Hasse-diagrammal.

5.3. A tudástérelmélet alapján történő elemzés lépéseinek részletes bemutatása egy saját vizsgálton keresztül

a) A szakértői tudásszerkezet meghatározása.

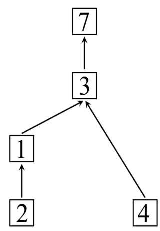
A tudásszerkezet vizsgálatában fontos szerepe van a szakértői tudásszerkezetnek, amelyet a szakirodalom alapján a következőképpen állapítottam meg: a felmérésben szereplő feladatokra páronként megvizsgáltam a következő állítást: „Igaz-e, hogy ha a tanuló nem tudja megoldani a p feladatot, akkor biztosan nem tudja megoldani a p' feladatot sem?" *(Falmagne és munkatársai, 1990, 208. oldal)*.

A kapcsolatokat relációtáblázat segítségével szemléltetem *(5. táblázat)*. Amennyiben a válasz igaz a táblázatba 1-es, amennyiben nem igaz 0 kerül. Az oszlopokban az egyes feladatokhoz tartozó számértékek az mutatják, hogy az adott feladat a hierarchia hányadik szintjén foglal helyet *(1. ábra)*.

5. táblázat: Öt feladatból álló tudástér relációtáblázata

	1. feladat	2. feladat	3. feladat	4. feladat	7. feladat
1. feladat	1	0	1	0	1
2. feladat	1	1	1	0	1
3. feladat	0	0	1	0	1
4. feladat	0	0	0	1	0
7. feladat	0	0	0	0	1
Összesen	2	1	3	1	4

Ezekből az értékekből származtatott Hasse diagramot a következőképpen szerkesztettem: a legnagyobb számértékhez tartozó 7. feladat helyezkedik el a hierarchia csúcsán a legkisebb számértékkel rendelkező 2. és 4. feladat a szerkezetben legalul. Az 1. feladat a 2. szinten, a 3. feladat a 3. szinten foglal helyet.



1. ábra: Az 5. táblázat adatai alapján felírt szakértői tudásszerkezet

b) A válaszok dichotóm skálán való értékelése, a kapott válaszok alapján a tudásállapotok összegyűjtése.

A tudásszerkezet elemzéséhez a válaszokat dichotóm skálán értékeltem, azaz a válasz 1-es ha jó, 0, ha rossz vagy nincs megoldás. Így a tanulókhoz tudásállapotok rendelhetőek a hagyományos értékeléssel ellentétben, ahol a tanulók tudását egy számmal jellemezzük, amely a helyesen megoldott feladatok számát jelenti. Az előforduló válaszok, a hozzájuk tartozó tanulók száma és tudásállapotuk a *6. táblázat*ban olvasható.

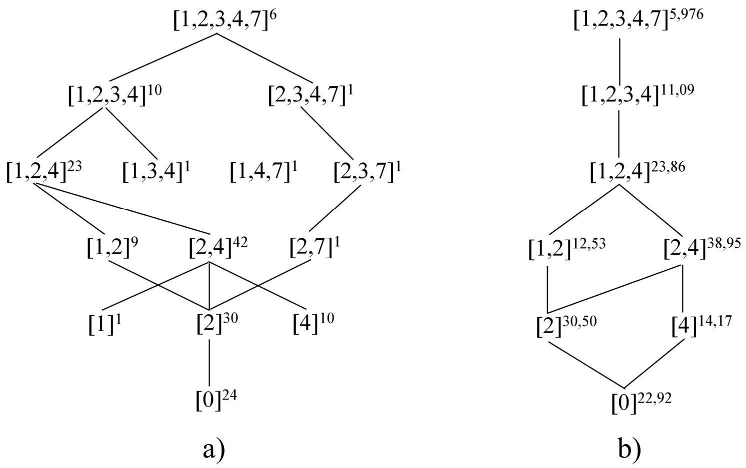
6. táblázat: A tanulói válaszok, a hozzájuk tartozó tanulók száma és tudásállapotuk

feladat					**tanulók száma**	**tudásállapot**
1.	2.	3.	4.	7.		
0	0	0	0	0	24	[0]
1	0	0	0	0	1	[1]
0	1	0	0	0	30	[2]
0	0	0	1	0	10	[4]
1	1	0	0	0	9	[1,2]
0	1	0	1	0	42	[2,4]
0	1	0	0	1	1	[2,7]
1	1	0	1	0	23	[1,2,4]
1	0	1	1	0	1	[1,3,4]
1	0	0	1	1	1	[1,4,7]
0	1	1	1	0	1	[2,3,4]
1	1	1	1	0	10	[1,2,3,4]
0	1	1	1	1	1	[2,3,4,7]
1	1	1	1	1	6	[1,2,3,4,7]

Pl.: az összes feladatot 6 tanuló tudta helyesen megoldani és így a tudásállapotuk [1,2,3,4,7], azaz [Q]. Amennyiben egyetlen egy feladatot sem tudott a diák megoldani, akkor tudásállapota [0] vagy ha például a felmérés során helyesen oldotta meg az 1-es, a 2-es és a 4-es feladatot, akkor a tudásállapota [1,2,4].

c) A válaszszerkezet felírása.

Az így kapott bináris adatbázis alapján felírtam a válaszszerkezetet *(2. a) ábra)*.



2. ábra: A tanulók válaszai alapján felírt válaszszerkezet (a) és tudásszerkezet (b)

A válaszszerkezetben különböző tudásállapotok láthatók. Az egyes tudásállapotok felső indexében az adott tudásállapothoz tartozó tanulók száma jelenik meg. Például.:

az $[1,2,4]^{23}$ tehát azt jelenti, hogy a tanulócsoportban 23 olyan tanuló volt, aki csak az 1-es, a 2-es, és a 4-es feladatot tudta megoldani. A válaszszerkezetből megállapítható, hogy a lehetséges $2^5=32$ tudásállapotból csak 14 fordul elő a tanulócsoportban, mivel a feladatok többé-kevésbé előfeltételi kapcsolatban vannak egymással. Azonban így is látszik, hogy ez a szerkezet nem tesz eleget a tudásszerkezettel kapcsolatos követelményeknek, hiszen tartalmaz olyan tudásállapotokat is, amelynek nincs kapcsolata valamelyik alatta lévővel. Ezek [1,3,4] és [1,4,7] tudásállapotok.

d) A tanulócsoport jellemző tudásszerkezetének meghatározása.

A tanulócsoport jellemző tudásszerkezetének megállapítása tulajdonképpen egy szisztematikus próbálgatást jelent, amelynek során χ^2-próbával keressük azt a tudásszerkezetet, amellyel a lehető legjobban tudjuk leírni az eredeti válaszszerkezetet, figyelembe véve a szerencsés találat és a véletlen hiba valószínűségét (10%). A szerencsés találat abból adódhat, hogy a tanuló helyes választ ad egy kérdésre annak ellenére, hogy tisztában lenne a kérdés helyes megválaszolásához szükséges ismeretekkel, így a hibás megoldás is adhat helyes eredményt. De a tanuló véletlenül is hibázhat, amelynek rengeteg oka lehet: figyelmetlenség, fáradtság, időhiány, külső zavaró tényező. Az elemzés során a legnépszerűbb tudásállapotokból kiindulva addig cserélgetjük, bővítjük a tudásszerkezetet, amíg a χ^2-próba alapján a legjobb illeszkedést ($p<0{,}05$, illeszkedés>95%) nem kapjuk. Az így kapott modellt fogadhatjuk el, mint a tanulócsoport jellemző tudásszerkezetét. Esetünkben ezt a *2. b) ábra* mutatja. A válaszszerkezethez képest a tudásszerkezetben kevesebb tudásállapot fordul elő. A felső indexben lévő szám a modell alapján az egyes tudásállapothoz rendelhető „jósolt” tanulók száma, amelyet az ún. Potter-féle program segítségével számolunk, az így kapott értékek a *5. melléklet*ben láthatóak.

e) A jellemző tanulási út kiválasztása.

A tudásszerkezetben a [0] tudásállapotból a [Q] tudásállapotba többféle úton juthatunk el. Egy 5 elemből álló tudástérben az elméletileg lehetséges utak száma 5!=120. El kell azonban döntenünk, hogy ezek közül melyik az, amelyik a leginkább jellemző az adott tanulócsoportra. A kapott tanulási út a következő *(3. ábra)*:

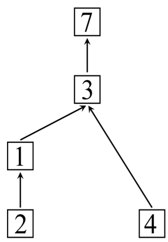
$$4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 7$$

3. ábra: A tanulók válaszai alapján felírt jellemző tanulási út

A jellemző tanulási út a feladatok lineáris sorrendjét mutatja, amely alapján a legkönnyebben a 4-es feladatot oldották meg a tanulók, legnehezebbnek a 7-es feladat bizonyult. A jellemző tanulási út fontos információkkal szolgál a pedagógus számára a tanítási-tanulási folyamat tervezésében. Az ismeretek tanítását a felírt tanulási út alapján célszerű tervezni, hogy azok logikusan épüljenek egymásra és a tanulók fokozatosan építsék be a gondolkodásmódjukba.

f) A jellemző tudásszerkezet, Hasse-diagram megállapítása.

A tudásszerkezet megállapítása során keressük az a hierarchikus modellt, amely a legjobban leírja a kiindulási válaszszerkezetet, a legjobb illeszkedést mutató (p és χ^2 érték, valamint a szabadsági fok alapján) modellt vagy modelleket fogadjuk el a tanulók jellemző tudásszerkezetének. A legnépszerűbb tudásállapotok figyelembevételével felírhatjuk a jellemző feladathierarchiát, a Hasse-diagramot. A Hasse-diagram egy olyan gráf, amelynek építőelemei a feladatok, és a közöttük lévő előfeltétel kapcsolatot irányított nyilakkal fejezzük ki. A tanulócsoportra jellemző feladathierarchiából kiderül, hogy a tanulócsoportra milyen tudásszerveződés a leginkább jellemző, mely tudáselemek épülnek egymásra, illetve képeznek többé-kevésbé izolált szigeteket a tanulók kognitív struktúrájában. A felírt Hasse-diagramot *(4. ábra)* a következőképpen értelmezzük: ha a tanuló meg tudta oldani a 7-es feladatot, akkor birtokában van mindazon ismereteknek, amelyek a 3-as, az 1-es, a 2-es és a 4-es feladat megoldásához szükségesek. Vagy a 3-as feladat megoldásához az 1-es, a 2-es és a 4-es feladatban lévő tudáselemet kell ismernie.

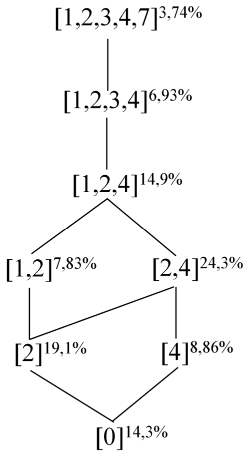


p<0,001 >99,9%

4. ábra: A tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modell

g) A kritikus feladat megkeresése.

A szakértői tudásszerkezet és a tanulói válaszszerkezet segítségével a tanulócsoport esetén meg tudjuk mondani, hogy melyik ismeret befogadására van felkészülve a tanulók többsége. Az elemzés során megtudjuk, hogy a tanulócsoport hány százaléka rendelhető az egyes tudásállapotokhoz *(5. ábra)*. A kapott százalékértékekből kiszámolhatjuk, hogy a tanulók hány százaléka van felkészülve az egyes feladatok megoldásához szükséges ismeretek elsajátítására. Az *5. ábrán* látható tudásszerkezetből látható, hogy a 4. feladat megoldásához a [0] és a [2] tudásállapotokhoz tartozó tanulók (14,3%+19,1% =33,4%) rendelkeznek a szükséges előismeretekkel. Minden feladat esetén ugyanilyen módon állapítjuk meg. Az így számolt százalékértékeket a *7. táblázat* tartalmazza.



7. táblázat: Az egyes feladatok sikeres megoldásához szükséges új ismeretek befogadására felkészült tanulók részaránya a teljes tanulócsoporthoz viszonyítva

feladat				
1.	2.	3.	4.	7.
19,1%	23,2%	14,9%	**33,4%**	6,93%

5. ábra: A tanulók valószínűsíthető megoszlása a szakértői tudásszerkezet tudásállapotai között

A 4. feladat elsajátítására vannak felkészülve a tanulók, ezzel a feladattal célszerű folytatni a tanulócsoport oktatását. Ebben az esetben a tanítási folyamat akkor lesz a legeredményesebb, ha a 4. feladathoz tartozó ismereteket beszéli meg a pedagógus a tanulókkal. Azt a feladatot, fogalmat, amelynek tárgyalásával vélhetően leghatékonyabb a tanulócsoport tudásának fejlesztése kritikus feladatnak, itemnek nevezzük *(Tóth és munkatársai, 2007*). Amennyiben ezt megkeressük lehetőségünk van a tanítási folyamat javítására.

5.4. A tudástérelmélet segítségével eddig elért eredmények

Külföldi kutatásokban a tudástérelméletet először természettudományos témakörökben feleletválasztós tesztek vizsgálatához alkalmazták és igazolták a 4-12. osztályos tanulók fogalmakkal (nyomás, sűrűség, anyagmegmaradás törvénye) kapcsolatos gondolkodásmódjának fejlődését *(Taagepera, és munkatársai, 1997)*. Később az egyetemi hallgatók jellemző tanulási útjának megállapítására és elemzésére már a kémia különböző területein is használták. *Taagepera és Noori (2000)* főiskolás hallgatók szerves kémiában való jártasságát tesztelték kilenc egyre nehezedő kérdést tartalmazó feladatsorral. Az egy éves általános kémia képzésük elején és végén is néhány kivételtől eltekintve ugyanazon az úton gondolkoztak. A tanulók kémiai kötésekkel kapcsolatos szerves kémiai tudásukból kiderül *(Taagepera és munkatársai, 2002)*, hogy tudásuk kapcsolatok nélküli részinformációkból áll, csak kezdetlegesen strukturált és könnyen felejtenek. A számolási készséget, a fogalmi megértést, és a szimbólumok, grafikonok értelmezését is vizsgálták a sztöchiometria három területén *(Arasasingham és munkatársai, 2004)*. Az elvégzett kutatások értékelése során felírt jellemző tanulási utakból kiderült, hogy a fogalmi megértést igénylő feladat bizonyult a legnehezebbnek. A tanulók a számítási feladatok megoldásával a fogalmak értelmezése nélkül is boldogultak. Egy másik kutatásban az internetalapú kémiatanítás hatásainak felmérése során *(Arasasingham és munkatársai, 2005)* nem változott meg az oktatás eredményeként a diákok gondolkodási sémáinak útvonala. Az atompályákkal összefüggő ismeretek tanulmányozásában *(Vaarik és munkatársai, 2008)* és a sztereokémiában végzett kísérletek nyomon követésében *(Taagepera és munkatársai, 2011)* is alkalmazták. A kémiai tudás összetettségének leírására *Bernholt és Parchmann (2011)* dolgoztak ki és teszteltek többszintű modellt.

Sokrétű alkalmazása abból szintén látható, hogy számos pszichológiai, különböző didaktikai és módszertani vizsgálatok számára is kínál lehetőséget. A teljesség igénye nélkül említek néhányat: *Albert és munkatársai, 1994; Schrepp, 1997; Korossy, 1999; Narciss, 1999; Hockemeyer és munkatársai, 2003; Albert és munkatársai, 2006; Albert 2008; Reimann és munkatársai, 2013; Milovanovic és Jeuring, 2016*.

A tudástérelmélet a hazai kutatásokban is egyre több területen teret hódít. A kémia mellett más természettudományos tárgyakban szintén megjelenik. *Revákné és Malmos (2015)* a fenomenográfiával kombinált tudástér elmélet módszerével az egyetemi képzésbe belépő biológia szakos BSc hallgatók tudásának legkritikusabb elemeinek feltárását és a problémás fogalmak tudásszerkezetének felírását végezték. A matematikai teljesítményre ható tényezők vizsgálatára alkalmasnak bizonyult a tudástérelmélet és a Bayes-hálók elméletének együttes alkalmazása *(Bánhalmi, 2015)*. Az elmélet egyre inkább beépül a bölcsészettudományos tárgyak vizsgálatába is. A történelem tudás leírására *Abari és Máth (2010)* valamint *Máth és Abari (2011)* a tudástérelméletet kompetenciákkal kombinálta.

Kutatócsoportunk az eddigi vizsgálatokban elsősorban a fogalmi fejlődés követésére, a korábbiaknál részletesebb elemzésére használta a tudástérelméletet *(Tóth, 2011)*. A lineáris tanulási utak mellett a tudáselemek egymásra épülését leíró jellemző tudásszerkezetek is megjelentek, amelyek több információval szolgáltak az elsajátított ismeretekről. Részecskeábrák azonosításakor (halmazállapot meghatározása, elem és vegyület valamint homogén és heterogén keverék megkülönböztetése) és kémiai fogalmakra (kémiai és fizikai változás) irányuló kérdésekből álló írásbeli tesztek elemzésekor nem volt kimutatható változás a tanulók kognitív gondolkodásmódjában *(Tóth és Kiss, 2006, 2007, 2009; Kiss, 2008)*. Strukturált interjú során (vízhez valamint anyagszerkezethez és anyagi változáshoz kötődő fogalmak értelmezése) nyert válaszok vizsgálatakor kimutatták, hogy az ismeretek leírása a kezdeti mindennapi fogalmak szintjéről elmozdult a tudományos fogalmak irányába. Azonban többségük még a fogalmi fejlődés kezdetén van *(Dobóné, 2007, 2008; Tóth és munkatársai, 2007, 2008)*. Továbbá a tudástérelmélet alkalmazásával beigazolódott, hogy a tanulók a reakcióegyenletek rendezésekor, még a nehezebbek esetén is ragaszkodnak az általuk használt eljáráshoz *(Tóth és Sebestyén, 2005)*. *Tóth és Ludányi (2007a, 2007b)* valamint *Ludányi (2008)* sikeresen kombinálták a tudástérelméletet a fenomenografikus elemzéssel. Az általuk kifejlesztett új módszerrel a fogalmi fejlődés és a fogalmi váltás tudásszerkezetben megjelenő hatásait mutatták ki az atom, a molekula és az ion definíciójával kapcsolatban. Ezzel párhuzamosan *Tóth (2005; 2006, 2007a)* már egyszerű számítási feladatokat is bevont a vizsgálatokba, és azok értékelésére alkalmazta a tudástérelméletet. A kémiai számításokhoz nélkülözhetetlen alapvető összefüggések (sűrűség, moláris tömeg, moláris térfogat, tömegszázalék) memorizálási technikával történő elsajátítása izolált elemként jelentek meg a tudásszerkezetben.

Az ismertetett külföldi és hazai kutatási eredmények bizonyítják, hogy a tudástérelmélet biztosan alkalmas a tudásszerkezet, a tudás szerveződésének vizsgálatára.

6. Kémiai számítások reakcióegyenlet alapján

A kémiai változások leírására reakcióegyenleteket használunk, amelyek nagyon fontosak a kémiai számításokban is. Az iskolai kémiaoktatás során a sztöchiometriai számítási feladatok megoldásához legtöbbször reakcióegyenleteket írunk, tanítunk és alkalmazunk. Az első reakcióegyenletek már a kémiai tanulmányok elején, 7. osztályban megjelennek. A tapasztalatok szerint a tanulóknak a legtöbb gondot a kémia tantárgyában a reakcióegyenletek felírása és a kémiai számítási feladatok okozzák. Még nehezebb a dolguk, ha ez a kettő együtt jelenik meg. A matematikai hiányosságok mellett a kémiai reakcióegyenlet megfelelő értelmezése és a sztöchiometriai számításokhoz szükséges megoldási módszerek ismerete is hiányozhat. Vizsgálatom középpontjában ezért a tanulók által használt megoldási stratégiák feltárása és az ezekhez nélkülözhetetlen alapvető összefüggések megértése állt.

6.1. Irodalmi előzmények

Korábbi vizsgálatokból *(Tóth, 1997, 1998, 1999a, 2003, 2004)* ismert, hogy a magyar tanulók a kémiai egyenletek rendezéséhez a saját stratégiájukat alkalmazzák. A tanulókra leginkább a próbálgatás jellemző, de megtaláljuk a láncszabályt és a kapcsolt részfolyamatok módszerét is, mint az egyenletrendezés két logikai eljárását *(Tóth, 2002c)*. A tanulók reakcióegyenletek rendezésében mutatott teljesítménye a 10. osztályban fejlődik szignifikánsan. A különböző évfolyamon tanuló diákok egyenletrendezésével kapcsolatos jellemző tudásszerkezetében nincs kimutatható különbség *(Tóth és Sebestyén, 2005)*.

A reakcióegyenletek alapján történő feladatmegoldáshoz az egyenes arányosság ismerete szükséges. Ezt felhasználva többféle módszerrel lehet eljutni a reakcióegyenletre épülő számítási feladatok megoldásához. Magyarországon a reakcióegyenlet segítségével történő számolás kétféle módja terjedt el az oktatásban. Az egyik a mólfogalom használatán alapul, ez a mólmódszer. A másik a következtetésre épülő számolás, az egyenes arányossággal teremtünk kapcsolatot a feladatban szereplő és a keresett mennyiségek között, ez a hármasszabály. Mindkét eljárás jól alkalmazható, a feladat jellegétől függ, hogy melyik használata az egyszerűbb. Ezen két stratégia kombinálásával jön létre a kevert módszer. Elsősorban az Amerikai Egyesült Államokban használják az ún. dimenzióanalízissel történő számolást is *(Tóth, 2000)*. Mindezek mellett hazánkban fejlesztettek ki egy olyan algoritmust, az ún. LEGO®-elvet, amely kifejezetten a képlettel való számolásra épül

(Molnár és Molnárné, 2005, 2006a, 2006b). A reakcióegyenlet alapján történő számolás gyakorlatilag tisztán matematikai műveleteket tartalmazó, logikai eljárást alkalmazva is elvégezhető a *Tóth (1996, 1999b, 1999c) és munkatársa (Tóth és Soltész, 1990)* által kidolgozott ún. mérlegmódszerrel.

Egy korábbi kutatás szerint *(Sebestyén és Tóth, 2006a)* a reakcióegyenlet használatára épülő feladat megoldásának részlépéseiben a magyar hallgatók közel azonos gyakorisággal alkalmazták a képletet és a következtetést. A képlettel való számolás bizonyult eredményesebbnek. Amennyiben a részlépések különálló feladatként szerepeltek a hallgatók akkor is elsősorban képleteket használtak és a képlettel dolgoztak sikeresebben.

Az eddig elért eredmények alapján elmondható, hogy a kémiai egyenletek rendezésével kapcsolatban ismertek a tanulók által alkalmazott egyenletrendezési eljárások és az egyenletrendezésre jellemző tudásszerkezetek. A reakcióegyenletek használatára épülő számítási feladatok megoldására vonatkozóan csak kevés információ áll rendelkezésünkre. Így célul tűztem ki a reakcióegyenletek alapján történő feladatmegoldás részletes vizsgálatát több különböző szempont alapján.

6.2. A feladatlap bemutatása

Vizsgálatomhoz nyílt végű feladatokat tartalmazó írásbeli feladatlapot készítettem. A teszt összesen hét feladatot tartalmaz, melyek közül egy összetett feladat. Az összetett feladat indikátorként szerepel, ennek megoldása (egy elemzési szempont kivételével) alapján alakítottam ki a tanulócsoportokat. A feladatlap az összetett kémiai probléma (7. feladat) mellett tartalmaz az egyes megoldási stratégiák részlépéseihez hasonló 6 további feladatot (1-6. feladat) is. Az egyes feladatok mellett feltüntettem, hogy az adott feladat melyik megoldási módszerben jelenhet meg. A rövidítések a következőket jelentik: **M**: mólmódszer; **H**: hármasszabály, **K**: kevert módszer.

A feladatlap a következő feladatokat tartalmazza:

1. Hány mol molekula van 6,00 dm^3 standardállapotú klórgázban, ha a klórgáz moláris térfogata 24,5 dm^3/mol? **M, K**
2. Mekkora a tömege 5,00 mol metánmolekulának, ha a metán moláris tömege 16,0 g/mol? **M, K**
3. Hány mol hidrogéngáz fejlődik 0,300 mol alumíniummal a következő reakcióegyenlet szerint? $2\,Al + 3\,H_2SO_4 = Al_2(SO_4)_3 + 3\,H_2$ **M, K**

4. 12,0 g magnézium kénsavban való oldásával 11,21 dm^3 hidrogéngáz fejlődik. Mekkora térfogatú hidrogéngáz fejlődik, ha 8,00 g magnéziumot oldunk fel kénsavban? **H**
5. Hány dm^3 ammóniagáz keletkezik 6,00 dm^3 hidrogéngázból azonos hőmérsékleten és nyomáson, ha 73,5 dm^3 hidrogéngázból 49,0 dm^3 ammóniagáz keletkezik? **H**
6. Legalább mekkora tömegű *B* anyag szükséges ahhoz, hogy 16,0 g *A* anyag maradék nélkül elreagáljon, ha tudjuk, hogy 48,0 g *A* anyag 72,0 g *B* anyaggal reagál el maradéktalanul? **H**
7. Hány g HCl-ot tartalmazó sósavra (M = 36,5 g/mol) van szükség 10,0 dm^3 standardállapotú CO_2 gáz (V_m = 24,5 dm^3/mol) fejlesztéséhez a következő reakcióegyenlet szerint? $Na_2CO_3 + 2\ HCl = 2\ NaCl + CO_2 + H_2O$ **M, H, K**

6.3. A megoldási módszerek részletes ismertetése

Reakcióegyenlet alapján történő sztöchiometriai számítási feladatok megoldására hét módszer alkalmazható:

- mólmódszer
- hármasszabály
- kevert módszer I.
- kevert módszer II.
- dimenzióanalízis
- LEGO®-elv
- mérlegmódszer

A feladatmegoldó stratégiákat a felmérésben szereplő összetett feladat, indikátorfeladat (7. feladat) alapján mutatom be.

Hány g HCl-ot tartalmazó sósavra (M = 36,5 g/mol) van szükség 10,0 dm^3 standardállapotú CO_2 gáz (V_m =24,5 dm^3/mol) fejlesztéséhez a következő reakcióegyenlet szerint? ***$Na_2CO_3 + 2\ HCl = 2\ NaCl + CO_2 + H_2O$***

<u>Mólmódszer:</u> Központi fogalom a mól. A módszer arra épül, hogy a tanuló anyagmennyiséget számol és az anyagmennyiségek között ír fel összefüggést a reakcióegyenlet alapján. A mól fogalom a feladat végeredményéhez vezető összes lépésben egyértelműen megjelenik.

a) lépés: a CO_2 anyagmennyiségének kiszámolása:
$n(CO_2) = 10{,}0\ dm^3 : 24{,}5\ dm^3/mol = 0{,}408\ mol$

b) lépés: a CO_2 anyagmennyiségéből a HCl anyagmennyiségének kiszámolása a reakcióegyenlet alapján:
$n(HCl) = 2 \cdot n(CO_2) = 2 \cdot 0{,}408\ mol = 0{,}816\ mol$

c) lépés: a HCl tömegének kiszámolása:
$m(HCl) = 0{,}816\ mol \cdot 36{,}5\ g/mol = \underline{\underline{29{,}8\ g}}$

Hármasszabály: A megoldási módszer a reakcióegyenletből közvetlenül kiolvasható mennyiségek és a feladatban megadott adatok közötti kapcsolat felírásán alapul. Mindez megtehető egy lépésben.

a) lépés: a reakcióegyenlet alapján a HCl tömege és a CO_2 térfogata közötti egyenes arányosság felírása:
$2{,}00 \cdot 36{,}5$ g HCl esetén fejlődik $24{,}5\ dm^3$ CO_2

b) lépés: a reakcióegyenletből ismert számadatok és feladatban szereplő számadatok közötti egyenes arányosság felírása:
$(2{,}00 \cdot 36{,}5\ g)\ HCl : 24{,}5\ dm^3\ CO_2 = x\ g\ HCl : 10{,}0\ dm^3\ CO_2$
vagy
$2{,}00 \cdot 36{,}5$ g HCl esetén fejlődik $24{,}5\ dm^3$ CO_2
x g HCl esetén fejlődik $10{,}0\ dm^3$ CO_2

c) lépés: a HCl tömegének kiszámolása:
$x\ g = (2 \cdot 36{,}5\ g/mol) \cdot 10{,}0\ dm^3 : (24{,}5\ dm^3/mol) = \underline{\underline{29{,}8\ g}}$

Kevert módszer I.: A megoldási stratégiában a mólmódszer és hármasszabály sajátosságait kombináljuk.

a) lépés: a CO_2 anyagmennyiségének kiszámolása:
$n(CO_2) = 10{,}0\ dm^3 : 24{,}5\ dm^3/mol = 0{,}408\ mol$

b) lépés: a reakcióegyenlet alapján a HCl tömege és a CO_2 anyagmennyisége közötti egyenes arányosság felírása:
$2{,}00 \cdot 36{,}5$ g HCl esetén fejlődik 1,00 mol CO_2

c) lépés: a reakcióegyenletből ismert számadatok és feladatban szereplő számadatok közötti egyenes arányosság felírása:
$(2{,}00 \cdot 36{,}5\ g)\ HCl : 1{,}00\ mol\ CO_2 = x\ g\ HCl : 0{,}408\ mol\ CO_2$
vagy
$2{,}00 \cdot 36{,}5$ g HCl esetén fejlődik 1,00 mol CO_2
x g HCl esetén fejlődik 0,408 mol CO_2

d) lépés: a HCl tömegének kiszámolása:
$x\ g = 0{,}408\ mol \cdot (2 \cdot 36{,}5\ g) : 1{,}00\ mol = \underline{\underline{29{,}8\ g}}$

Kevert módszer II.: Ez a stratégia is a mólmódszer és hármasszabály tulajdonságait ötvözi.

a) lépés: a reakcióegyenlet alapján a HCl anyagmennyisége és a CO_2 térfogata közötti egyenes arányosság felírása:
2,00 mol HCl esetén fejlődik $24{,}5\ dm^3$ CO_2

b) lépés: a reakcióegyenletből ismert számadatok és feladatban szereplő számadatok közötti egyenes arányosság felírása:

$2{,}00$ mol HCl : $24{,}5\ dm^3$ = x mol HCl : $10{,}0\ dm^3\ CO_2$

vagy

$2{,}00$ mol HCl esetén fejlődik $24{,}5\ dm^3\ CO_2$

x mol HCl esetén fejlődik $10{,}0\ dm^3\ CO_2$

c) lépés: a CO_2 anyagmennyiségének kiszámolása:

$n(CO_2) = 10{,}0\ dm^3 \cdot 2{,}00\ mol : (24{,}5\ dm^3/mol) = 0{,}816\ mol$

d) lépés: a HCl tömegének kiszámolása:

x g = 0,816 mol · 36,5 g/mol = <u>29,8 g</u>

<u>Mérlegmódszer:</u> Az eljárásban a reakcióegyenletben szereplő atomok anyagmennyiségére felírható egy-egy anyagmérleg-egyenlet. Ezek megoldásával jutunk el a végeredményhez.

a) lépés: a CO_2 anyagmennyiségének kiszámolása:

$n(CO_2) = 10{,}0\ dm^3 : 24{,}5\ dm^3/mol = 0{,}408\ mol$

b) lépés: reakcióegyenlet felírása sztöchiometriai együtthatók nélkül

$Na_2CO_3 + HCl = NaCl + CO_2 + H_2O$

c) lépés: az anyagmennyiségek feltűntetése

	Na_2CO_3 +	HCl =	NaCl +	CO_2 +	H_2O
n(mol)	t	y	z	0,408	w

d) lépés: az atommegmaradás törvényének felírása a C, Cl és Na atomokra

	Na_2CO_3 +	HCl =	NaCl +	CO_2 +	H_2O
n(mol)	t	y	z	0,408	w

n(C)(mol) t= 0,408

n(Cl)(mol) y = z

n(Na)(mol) 2t = z

e) lépés: a matematikai egyenlet megoldása

t = 0,408

2 · 0,408 = z

y = 2 · 0,408 = 0,816

f) lépés: a HCl tömegének kiszámolása:

x g = 0,816 mol · 36,5 g/mol = <u>29,8 g</u>

<u>LEGO®-elv:</u> „A LEGO®-elv lényege, hogy az anyagmennyiség és a moláris mennyiségek összefüggéseit – mint könnyen átlátható kis egységeket (építőelemeket) – alkalmazzuk néhány alapképletben (alappanelben), és a feladatot algebrai úton oldjuk meg.” *(Molnár és Molnárné 2005, 330. oldal)*

a) Alappanel: $n_{\text{keresett}} = (u_{\text{keresett}} : u_{\text{ismert}}) \cdot n_{\text{ismert}}$

b) lépés: az u érték meghatározása a reakcióegyenlet alapján:
ismert: $u(CO_2) = 1$ keresett: $u(HCl) = 2$

c) lépés: az ismert és a keresett adatok felírása:

ismert adatok:	keresett adatok:
$V(CO_2) = 10{,}0\ dm^3$	$m(HCl)$
$V_m = 24{,}5\ dm^3/mol$	
$M(HCl) = 36{,}5\ g/mol$	

d) lépés: a tömeget és a térfogatot tartalmazó anyagmennyiség-képletek, mint építőelemek használata:
$n_{ismert} = V(CO_2) : V_m$ $n_{keresett} = m(HCl) : M(HCl)$

e) lépés: az építőelemek illesztése az alappanelre:
$m(HCl) : M(HCl) = (u_{keresett} : u_{ismert}) \cdot [V(CO_2) : V_m]$

f) lépés: az adatok behelyettesítése és a keresett tömeg kiszámolása:
$m(HCl) = (u_{keresett} : u_{ismert}) \cdot [V(CO_2) : V_m] \cdot M(HCl)$
$m(HCl) = (2/1) \cdot (10{,}0\ dm^3 : 24{,}5\ dm^3/mol) \cdot 36{,}5\ g/mol$
$m(HCl) = \underline{\underline{29{,}8\ g}}$

Dimenzióanalízis: A számolás során a feladatban szereplő mennyiségek mérőszámaival és mértékegységeivel matematikai műveleteket végzünk.

X g HCl = $10{,}0\ dm^3\ CO_2 \cdot [(1\ mol\ CO_2) : (24{,}5\ dm^3\ CO_2)] \cdot [(2{,}00\ mol\ HCl) : (1{,}00\ mol\ CO_2)] \cdot [(36{,}5\ g\ HCl : (1{,}00\ mol\ HCl)] = \underline{\underline{29{,}8\ g}}$ HCl

6.4. A tankönyvekben bemutatott megoldási módszerek

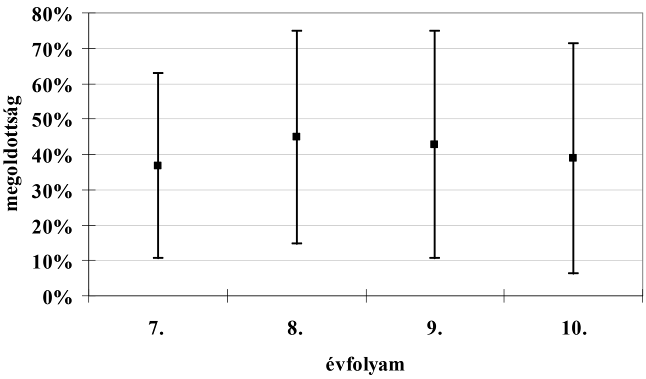
15 tankönyvben szerepelnek megoldási módszerek a reakcióegyenlettel való számítási feladatok megoldásához. Mintapéldán keresztül a mólmódszert 5, a hármasszabályt 7, mindkét módszert 3 tankönyv mutatja be *(3. függelék)*.

A megoldási módszerek egyes lépései képlettel vagy következtetéssel oldhatók meg. Így kíváncsi voltam arra is, hogy a kémia tankönyvekben milyen gyakorisággal és részletességgel szerepelnek az ismert számolási technikák. Mivel ebben a felmérésben csak a moláris tömeggel és moláris térfogattal kellett számolni a tanulóknak, így a vizsgálat során csak az ezekkel kapcsolatos összefüggéseket vizsgáltam. A tankönyvek gyakorlatilag csak képlettel mutatják be a számolási technikákat. 10 tankönyv a moláris tömegre, 1 a moláris térfogatra és 3 mindkét összefüggésre ad mintafeladatot *(4. függelék)*.

6.5. A feladatok megoldásakor kapott válaszok statisztikai értékelése

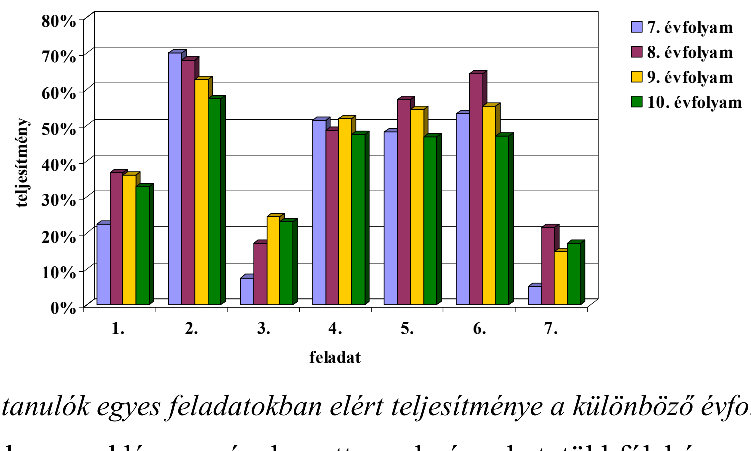
6.5.1. A teljes feladatlap megoldása során elért tanulói teljesítmények értékelése

A teljes feladatlapra jellemző megoldottságot vizsgálva megállapítható, a tanulók 41%-a oldotta meg helyesen a feladatokat *(6. ábra és 5. függelék)*. A 8. évfolyamon jobban teljesítettek a tanulók, mint a 7. évfolyamon (p=0,069), utána némi visszaesés tapasztalható. Az évfolyamok között szignifikáns változás nem volt kimutatható. A 8. évfolyamon a legkisebb a relatív szórás (67,3%), ami arra utal, hogy a 8. osztályos tanulók feladatmegoldásban elért eredményessége viszonylag egységesebb, mint a többi évfolyamon tanuló diákoké (70,8-84,1%) *(5. függelék)*.



6. ábra: Az egyes évfolyamokra jellemző megoldottság a teljes feladatlapon

Az egyes feladatokban és a teljes feladatlapon mutatott teljesítmény között szoros kapcsolat van, amit a kapott korrelációs együtthatók (0,597-0,769) is mutatnak *(6. függelék)*. Az adott feladatokban nyújtott teljesítmény alapján elmondható *(7. ábra és 7. függelék)*, hogy a tanulók minden évfolyamon a 2. feladatban érték el a legjobb eredményt, amelyben tömeget kellett kiszámolni az anyagmennyiség és a moláris tömeg ismeretében. Ennek magyarázata az lehet, hogy a moláris tömeg az első moláris mennyiség, amellyel a tanulmányaik során találkoznak a tanulók és a moláris tömeget használják a leggyakrabban a kémiai számítások során. Azonban mindenképpen meg kell jegyezni, hogy ebben a feladatban a 7. osztályos tanulók a legsikeresebbek, majd az életkor növekedésével a teljesítmény visszaesik, amely a 10. évfolyamon már szignifikáns csökkenést jelent (7-10.: p=0,033). A három mennyiségre (tömeg, anyagmennyiség, moláris tömeg) felírható kapcsolat az első összefüggések egyike, amit a diákok legtöbbször mechanikusan tanulnak meg a 7. osztályban. Így bár a tanulmányaik elején biztonsággal alkalmaznak, később már nem feltétlenül emlékeznek rá pontosan. Említést érdemel, hogy sokkal gyengébben teljesítettek a tanulók az ugyanilyen jellegű, 1. feladatban, ahol a térfogat, az anyagmennyiség és a moláris térfogat között kellett kapcsolatot teremteni. Az értelmes tanulás helyett valószínűleg magolással rögzült ismeretet (tömeg, moláris tömeg és anyagmennyiség kapcsolata) egy új, hasonló probléma megoldására már nem tudták felhasználni a tanulók. Különösen igaz ez a 7. osztályos tanulók esetén, akik még nem biztos, hogy tanulták és alkalmazták a szükséges összefüggést. Ők szignifikánsan gyengébben teljesítettek a 8. és a 9. évfolyamhoz képest (7-8.: p=0,021; 7-9.: p=0,013). A diákok fele könnyen meglátta, hogy a 4., az 5. és a 6. feladatokban a mennyiségek (tömeg, térfogat) közötti egyenes arányosságok felírására épülnek. Az eredményességét tekintve csak a 8. és a 10. évfolyamok között van szignifikáns eltérés a 6. feladatban (p=0,000). A tanulók számára az összetett, 7. feladat bizonyult a legnehezebbnek, többségük egyáltalán nem is próbálkozott a megoldásával. Különösen gyengén teljesítettek a reakcióegyenlettel való számolásban a hetedikes tanulók (7-8.: p=0,000; 7-9.: p=0,020; 7-10.: p=0,002). Hasonlóan problémát okozott a szintén reakcióegyenletet tartalmazó 3. feladat. Szignifikáns különbség van a 7. évfolyamra járó diákok valamint a 9. és a 10. évfolyamon tanulók között (7-9.: p=0,000; 7-10.: p=0,000). Bár a számolás technikáját tekintve a feladat teljesen analóg a 4., 5. és 6. feladattokkal – egyenes arányosság felírása –, azonban a megváltozott szövegkörnyezet és a felírt reakcióegyenlet már megzavarhatta a tanulók többségét. A felmérés 2006 tavaszán, tehát a tanév abban az időszakában készült, amikor 7. osztályban a diákok a tanulmányaik ezen szakaszában még csak ismerkedtek az egyenletek felírásával és azok számítási feladatokban történő alkalmazásával. A feladatok sikerességét az egyes évfolyamokon vizsgálva a 7., a 9. és a 10. osztályban a 4., az 5. és a 6. feladatokban elért pontok közel egyformák. A 7. és a 8. osztályban a 3. és a 7. feladatokban dolgoztak hasonló eredményességgel. Minden más esetben kimutathatóak a különbségek (p≤0,05).



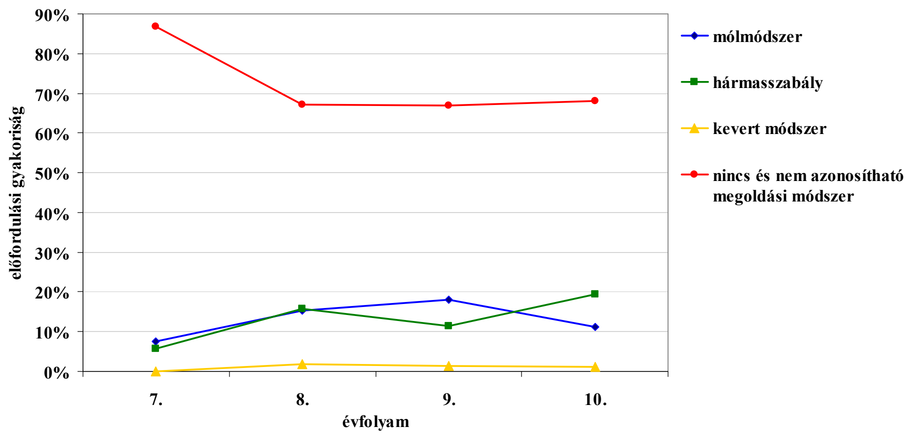
7. ábra: A tanulók egyes feladatokban elért teljesítménye a különböző évfolyamokon

A feladatok megoldása során kapott eredményeket többféleképpen vizsgáltam. Tanulócsoportokat képeztem a megoldási módszer, a számolási technika és a nemek alapján. Továbbá összehasonlítottam az összetett feladat megoldása során jól és rosszul teljesítőket.

6.5.2. A megoldási módszerek előfordulási gyakorisága és sikeressége

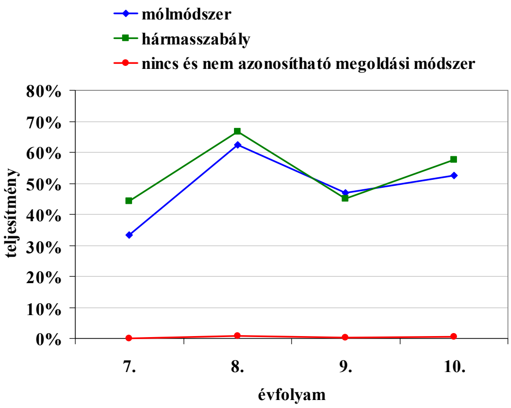
Az összetett feladat végeredményéhez a korábban bemutatott (6.3. fejezet) megoldási eljárások valamelyikével juthatunk el. A tanulók 29%-a próbálkozott a megoldási módszerek valamelyikével *(8. ábra és 8. függelék)*. Jellemzően az iskolában tanult kétféle stratégiát használták, ezek a mólmódszer és a hármasszabály *(3. függelék)*. A diákok csak nagyon kis része számolt a kevert módszerrel és a LEGO®-elvvel. A LEGO®-elv lépései egyértelműen a mólmódszer tulajdonságait hordozzák magukban, így ezt a két feladatmegoldó stratégiát az elemzés további részeiben együtt kezelem. A tanulók 71%-a egyáltalán nem foglalkozott az összetett feladattal, vagy a megoldási módszer azonosítása szempontjából értékelhetetlen választ adott.

A csoportokat az összetett feladatra alkalmazott megoldási módszerek alapján képeztem, így négy csoport adódott: mólmódszerrel számolók, hármasszabályt alkalmazók, kevert módszert használók valamint nincs és nem azonosítható megoldási módszerrel dolgozók *(8. ábra és 8. függelék)*.

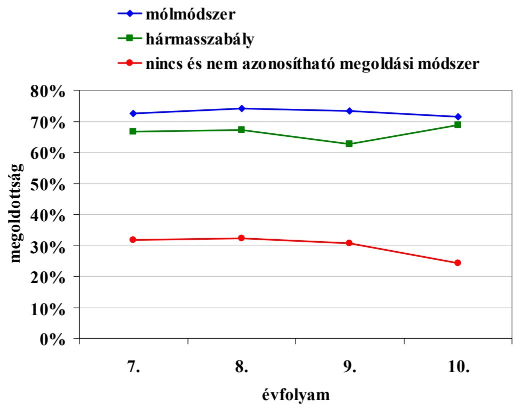


8. ábra: A megoldási módszerek előfordulási gyakorisága az összetett feladatban évfolyamonként

Minden évfolyamon jóval kevesebben voltak, akik jól azonosítható megoldási eljárást alkalmaztak ($p \le 0,05$). A 7. évfolyamhoz képest a 8. évfolyamtól csökkent azok száma, akik nem oldották meg az összetett feladatot ($p=0,000$). A 7. évfolyamon nem volt különbség a módszerhasználat tekintetében. A többi osztályban elenyésző a kevert módszer jelenléte ($p \le 0,05$). A 8. évfolyamon a mólmódszert és a hármasszabályt alkalmazták. 9. évfolyamon az algoritmusos ismerteket igénylő mól-módszer, 10. évfolyamon az egyszerű arányosságra épülő hármasszabály volt inkább jellemző ($p \le 0,001$). Az azonosítható megoldási módszerrel számoló tanulók minden évfolyamon szignifikánsan jobban teljesítenek az összetett feladatban és a teljes felmérőlapot vizsgálva egyaránt ($p \leq 0,022$) a nincs és nem azonosítható megoldási stratégiát alkalmazó társaikhoz képest *(9. ábra és 8., 9. függelék)*. Az adott megoldási módszert vizsgálva szignifikáns különbség nem volt kimutatható az évfolyamok teljesítménye között sem. Az egyes megoldási módszereket vizsgálva az évfolyamok teljesítménye között szignifikáns különbség nincs az összetett feladat esetén. A teljes felmérőlapot értékelve az életkor növekedésével csökken az eredményesség a nincs és nem azonosítható megoldási stratégiát használó tanulóknál, 10. osztályban kimutathatóan gyengébben teljesítenek ($p \leq 0,023$) a többi évfolyamhoz viszonyítva. A kevert módszert a diákok gyakorlatilag csak 1%-a alkalmazta, ezért a diagramon nem tüntettem fel.



a)



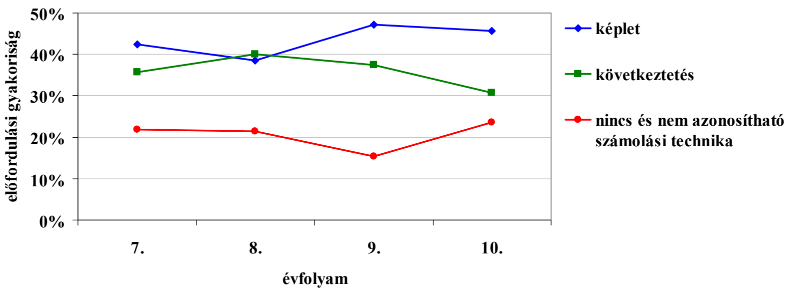
b)

9. ábra: Az összetett feladatban megjelenő megoldási módszerek alapján elért teljesítmény (a) az összetett feladatban és a jellemző megoldottság (b) a teljes feladatlapon évfolyamonként

6.5.3. A számolási technika előfordulási gyakorisága és sikeressége

A tanulók az összetett feladat végeredményéhez kétféle számolási technikával, képlettel vagy következtetéssel juthattak el. Az összetett feladatban a megoldási módszertől függetlenül a moláris tömeg (1. feladat) és a moláris térfogat (2. feladat) biztosan megjelenik. A két feladat során mindkét számolási technikát lehet alkalmazni, és könnyen el lehet dönteni, melyiket használta a tanuló. Adódott a lehetőség, hogy megvizsgáljam, melyiket részesítették előnyben a diákok.

Így ebben az esetben az 1. és a 2. feladat alapján osztottam szét a tanulókat. Mindkét feladatban képletet használó tanulók a képlettel, következtetést alkalmazó diákok a következtetéssel dolgozók csoportjába kerültek. Az egyik feladatban képlettel, a másikban következtetéssel számoló tanulók egyik felét a képlettel, másik felét a következtetéssel dolgozók csoportjába soroltam. Három tanulócsoport alakult ki: képletet használók, következtetéssel számolók, valamint a nincs és nem azonosítható számolási technikát alkalmazók csoportja. A diákok 80%-a használta a számolási technikák valamelyikét. A 9. osztályban többen alkalmazták más osztályokhoz viszonyítva ($p \leq 0,027$). A 7., a 9. és a 10. évfolyamon jellemzően képlettel oldották meg a tanulók a feladatokat *(10. ábra és 10. függelék)*. A 10. osztályban ez szignifikáns különbséget jelent ($p \leq 0,05$). A 8. évfolyamon egyforma arányban fordult elő a két számolási technika. Ehhez az évfolyamhoz képest a többi osztályban kimutathatóan ($p \leq 0,007$) többen választották a képlet használatát. A képlettel történő számításhoz a tanulónak elég egyetlen alapképletet ismernie, míg a következtetéssel történő megoldásához meg kell értenie a feladatot. Tudnia kell mekkora az egységnyi mennyiség és újra kell értelmeznie a kiindulásul szolgáló mennyiségeket *(Zátonyi, 2001)*.



10. ábra: A számolási technikák gyakorisága az 1. és a 2. feladatban évfolyamonként

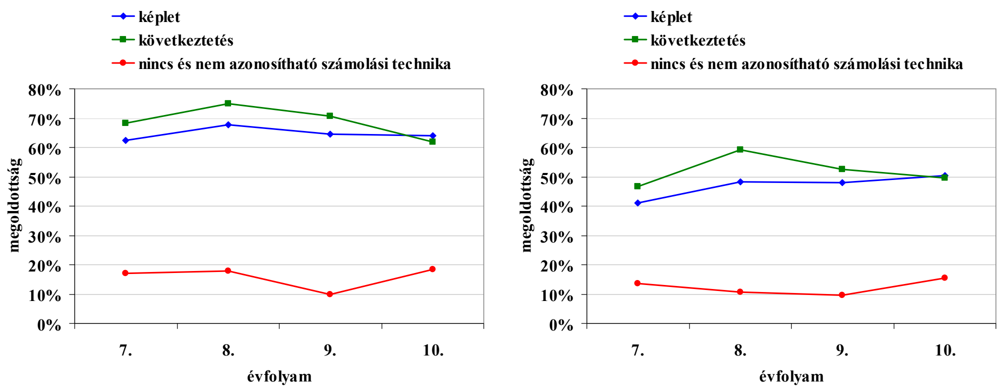
Mindezek sok tanuló számára nehézséget jelenthettek, így kevesebb diák választotta. A számolási technika megválasztását a két technika eltérő sajátosságai mellett az iskolában tanított számolási technika is befolyásolhatja. Erre vonatkozó konkrét információim nincsenek a jelen vizsgálatba bevont iskolák esetén. A tankönyvi elemzések alapján *(4. függelék)* csak a képlettel történő feladatmegoldás jelenik meg. Nem szabad megfeledkezni arról sem, hogy a kémiával egy időben tanított természettudományos tárgyak, mint a matematika és a fizika a képlettel történő számolást helyezi előtérbe.

Az összetett, 7. feladat megoldása moláris térfogattal kapcsolatos számításból (1. feladat), moláris tömeg segítségével elvégzett számításból (2. feladat), kémiai egyenlet értelmezését igénylő számításból (3. feladat) és az egyenes arányosság felhasználásával kapcsolatos számításból (tömeg és térfogat közötti aránypár felírása) (4. feladat) építhető fel. Az összetett feladat megoldása valójában erre a négy elemi lépésre bontható. Az 5. és a 6. feladat szintén az egyenes arányosság felírásával számolható ki. Azonban ez egyértelműen csak következtetéssel történhet, amely torzítaná a számolási technikák esetén kapott eredményességet, ha a teljes feladatlapot vennénk figyelembe. Vizsgálataim további részében ezért a felmérőlap feladatai közül csak a felsorolt négy részfeladatra és az összetett feladatra fókuszálok.

Bár a tanulók a képlettel történő feladatmegoldást részesítettek előnyben mégis a következtetéssel számolva voltak sikeresebbek az 1. és a 2. feladatban valamint az öt feladatot együtt vizsgálva is *(11. ábra és 10., 11. függelék)* a 7-9. évfolyamokon. Az adott feladatcsoport esetén a 8. osztályban ez a különbség ki is mutatható ($p=0,014$). A 10. osztályban közel egyforma az eredményesség. Az 1. és a 2. feladatban az évfolyamokat tekintve a 8. osztályos tanulók sikeresebbek a más évfolyamon tanuló társaikhoz képest mindkét számolási technikában. A következtetéssel számoló diákok esetén szignifikáns különbség van a 8. és a 10. évfolyam között ($p=0,029$).

Az említett öt feladat megoldásában az évfolyamokat összehasonlítva a következtetést alkalmazó diákok esetén kiugró eredményt értek el a 8. osztályos diákok, ők szignifikánsan jobban teljesítettek ($p=0,037$), mint 7. osztályos társaik. A 8. évfolyam után csökken a tanulók teljesítménye. A képletet használóknál növekedés figyelhető meg teljesítményben az évfolyam előrehaladtával, de nincsenek szignifikáns különbségek.

Az azonosítható számolási technikát használó tanulók minden évfolyamon kimutathatóan eredményesebben dolgoztak a nincs és nem azonosítható számolási technikát alkalmazó társaikhoz képest az 1. és a 2. feladatban ($p=0,000$), valamint a vizsgált feladatcsoportban is ($p\leq 0,05$).

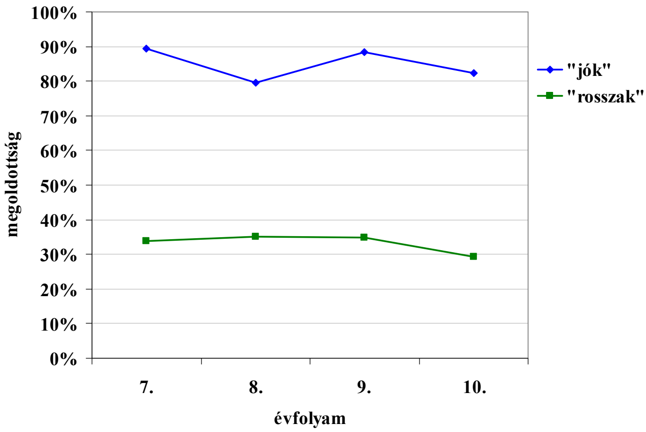


a) b)

11. ábra: Az 1. és a 2. feladatban megjelenő számolási technikák alapján elért megoldottság az 1. és 2. feladatban (a) valamint az öt feladatban (b) évfolyamonként

6.5.4. Az összetett feladatot jól és rosszul megoldó tanulók teljesítménye

Az összetett feladatot jól kiszámolók eredményessége a 8. évfolyamon a legkisebb *(12. ábra és 12. függelék)* a teljes feladatlapot vizsgálva. Ez azonban nem jelent szignifikáns csökkenést. Az életkor növekedésével az összetett feladatot rosszul megoldók teljesítménye között sincs szignifikáns különbség. Az indikátorfeladatot helyesen kiszámolók szignifikánsan jobb eredményt értek el a rosszul számolókhoz képest minden évfolyam esetén ($p \leq 0{,}05$).

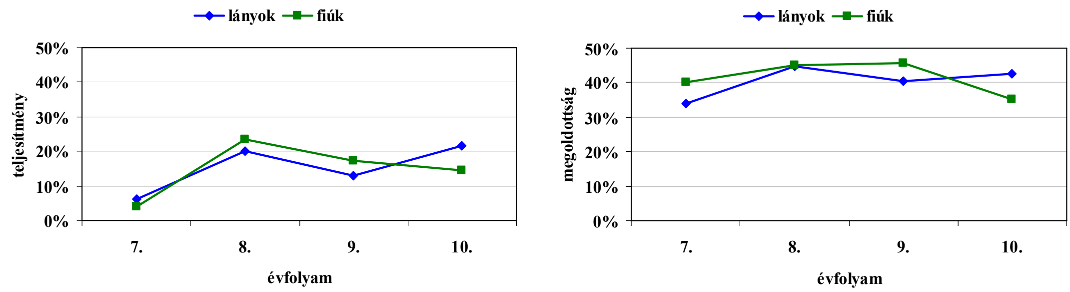


12. ábra: Az összetett feladatot jól és rosszul megoldó tanulókra jellemző megoldottság évfolyamonként a teljes feladatlapon

6.5.5. Lányok és fiúk teljesítménye

Mindkét nem összetett feladatban mutatott teljesítménye nagyon gyenge a 7. évfolyamon *(13. a) ábra és 13. függelék)*. Ehhez az évfolyamhoz viszonyítva a lányok a 8. és a 10. osztályban (7-8.: $p=0{,}040$; 7-10.: $p=0{,}008$), a fiúk a 8. és a 9. évfolyamon (7-8.: $p=0{,}002$; 7-9.: $p=0{,}039$) értek el szignifikánsan jobb eredményt. A nemek teljesítményét összehasonlítva a lányok a 7. és a 10. osztályban, míg a fiúk a 8. és a 9. osztályban sikeresebbek, de szignifikáns különbségek nem mutathatók ki.

A lányok egész feladatlapon elért teljesítménye a 7. osztály után ugrásszerűen nő, de szignifikáns különbség nem mutatható ki *(13. b) ábra és 14. függelék)*. A fiúk az életkor növekedésével egyre jobb eredményt érnek el, majd a 10. évfolyamon visszaesik a teljesítményük. Szignifikáns eltérések mutathatók ki (8-10.: $p=0{,}046$; 9-10.: $p=0{,}010$). A 9. évfolyamig általánosan elmondható, hogy a fiúk teljesítettek jobban, de nincs szignifikáns különbség ezen a három évfolyamon. Ugyanakkor a 10. osztályban már a lányok sokkal eredményesebbek és itt szignifikáns különbség is kimutatható a lányok és a fiúk teljesítményében ($p=0{,}037$). Az okot keresve felmerült annak lehetősége, hogy a megoldási módszer megválasztása hatással lehet a nemek teljesítményére. A χ^2-próba alapján összehasonlítást végezve bebizonyosodott, hogy a tanuló neme csak a 10. osztályban befolyásolta a megoldási módszer megválasztását. Ezen az évfolyamon a lányok a hármasszabályt részesítették előnybe a mólmódszerhez képest ($p=0{,}046$). A lányok valóban a hármasszabállyal dolgoztak sikeresebben (58,7%) a mólmódszert alkalmazókhoz viszonyítva (47,4%), de nincs szignifikáns különbség a két különböző megoldási módszerben elért eredmények között.



a) b)

13. ábra: A lányok és a fiúk által elért teljesítmény az összetett feladatban (a) és jellemző megoldottság (b) a teljes feladatlapon évfolyamonként

6.6. A feladatok megoldásakor kapott válaszok szerkezeti elemzése

A fejezet következő részében a felmérőlapon szereplő feladatok szerkezeti kapcsolatát mutatom be. A strukturális elemzést a statisztikai értékelésnél is alkalmazott szempontok alapján végeztem. A kapott jellemző tanulási utak az egyes feladatok elsajátításának sorrendjét jelentik, míg a jellemző tudásszerkezetek, a Hasse-diagramok a tudáselemek egymásra épülését írják le.

6.6.1. A teljes felmérőlap szerkezeti vizsgálata

A szerkezeti elemzésbe először mind a hét feladatot bevontam. A felírt tanulási utak nem mutatnak nagy eltéréseket *(14. ábra)*.

7. évfolyam	$2 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow \mathbf{7}$ $2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow \mathbf{7}$
8. évfolyam	$2 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1 \rightarrow \mathbf{7} \rightarrow 3$ $2 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow \mathbf{7} \rightarrow 3$ $2 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow \mathbf{7} \rightarrow 3$
9. évfolyam	$2 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow \mathbf{7}$
10. évfolyam	$2 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow \mathbf{7}$

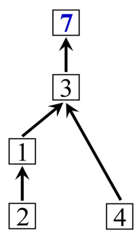
14. ábra: Az egyes évfolyamokra jellemző tanulási utak a teljes feladatlapon

Minden évfolyamon a moláris tömeg (2. feladat) a tanulási út elején, míg a reakcióegyenletet tartalmazó feladatok (3. és 7. feladat) a végén helyezkedik el. Az egyenes arányosság használatára épülő feladatok (4., 5. és 6. feladat) együtt találhatók meg a tanulási utakban.

A tudástérelmélet lehetőséget nyújt arra is, hogy a felmérőlapon szereplő feladatok egymásra épülését is megvizsgáljam. Az így kapott hierarchikus rendszerek árnyaltabb képet adnak a tudás szerveződéséről, mint a jellemző tanulási utak. Azonban ebben az esetben a tudásszerkezet elemzése hét tudáselemre nagyon bizonytalan, így a jellemző Hasse-diagramokat kellő biztonsággal (illeszkedés>95%) nem tudtam felírni. Szűkítettem a kört és csak öt feladatra (1., 2., 3., 4., 7. feladat) alkalmaztam a tudástérelméletet, hiszen az összetett feladat (7. feladat) végeredményéhez valójában négy feladat (1., 2., 3., és 4. feladat) megoldása útján juthatunk el. A továbbiakban a szerkezeti elemzést a statisztikai elemzésnél is használt szempontok alapján ismertetem.

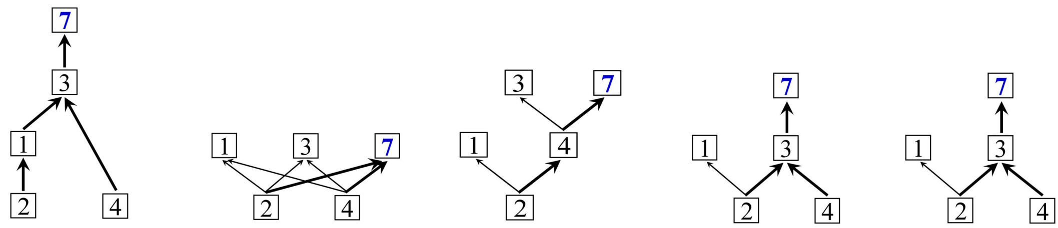
6.6.2. Az öt feladat kapcsolata a különböző évfolyamokon

A feladatok nehézsége és a megoldásukhoz szükséges ismeretek alapján szakértői Hasse-diagramot szerkesztettem, amely a vizsgált öt tudáselem mindegyikét tartalmazza. Az öt feladat kapcsolatát átgondolva *15. ábrán* látható szakértői tudásszerkezetet írtam fel.



15. ábra: Az öt feladat kapcsolatát leíró szakértői tudásszerkezet

A továbbiakban a tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modelleket mutatom be. Az egyes évfolyamokra jellemző Hasse-diagramok mindegyikére igaz, hogy a hierarchia a moláris tömegre (2. feladat) illetve az egyenes arányosságra (4. feladat) épül *(16. ábra)*. A moláris tömeg (2. feladat) és a moláris térfogat (1. feladat) kapcsolata megjelenik minden szerkezetben. A 7. osztályos tanulók jellemző tudásszerkezete megegyezik a szakértői tudásszerkezettel, az összetett feladat mindegyik tudáselemre épül. Az életkor növekedésével azonban változások figyelhetők meg a tanulók gondolkodásmódjában. A többi évfolyamon a moláris térfogattal kapcsolatos tudáselem már nem előfeltétele az összetett feladat megoldásának. Kirekesztődik a tudásszerkezetekből a moláris térfogat (1. feladat), valamint a 8. évfolyamon a reakcióegyenlet használata (3. feladat) sem épül be a Hasse-diagramba. Minderre magyarázatul szolgálhat, hogy a tanulók előzetes tudása nem volt egyforma. Továbbá a tanulóknak már korábban megtanult, kialakult sémáik vannak az ilyen típusú feladatok megoldására, amely nem igényli minden részismeret mozgósítását. Az is feltételezhető, hogy a tanulás mechanikusan történt, így fogalmi megértés nem társult hozzá.



p<0,001 >99,9% p<0,01 >99% p<0,001 >99,9% p<0,02 >98% p<0,02 >98%

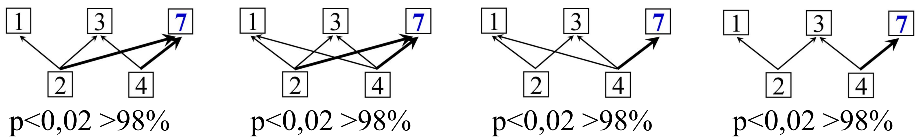
7. évfolyam **8. évfolyam** **9. évfolyam** **10. évfolyam**

16. ábra: A különböző évfolyamok tudásszerkezetét legjobban leíró modellek

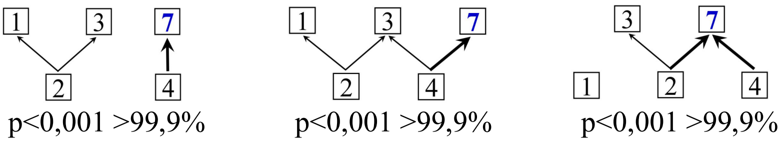
6.6.3. Az öt feladat kapcsolatának vizsgálata az összetett feladatban alkalmazott megoldási módszer alapján

Az egyes évfolyamokra jellemző tudásszerkezetekben kirajzolódik *(16. ábra)*, hogy a tanulók kétféle úton juthattak el az összetett feladatig. Egyrészt a moláris tömeg (2. feladat) és a reakcióegyenlet ismeretén (3. feladat) keresztül, amely a mól-módszer használatakor indokolt. Másrészt az egyenes arányosságra (4. feladat) építve érték el az összetett feladatot, amely a hármasszabály alkalmazására utalhat. Ez erősítette azt a feltételezésemet, miszerint a két megoldási módszert használók tudásszerkezetében különbség van. Ezt a gondolatmenetet követve felírtam a mólmódszert használók, a hármasszabállyal számolók, valamint a nincs és nem azonosítható megoldási módszert alkalmazók tudását leíró Hasse-diagramokat. A kevert módszerrel dolgozó és a LEGO®-elvvel számoló tanulókat a mólmódszert használók csoportjába soroltam. A következőkben a három tanulócsoport esetén véletlenszerűen kiválasztott 150-150 tanulóra elvégezett tudásszerkezet-elemzés eredményeit ismertetem. A két különböző megoldási módszert alkalmazó csoportok jellemző tudásszerkezeteikben kis eltérések figyelhetők meg, a tanulóknak már kialakult sémáik vannak. A mólmódszert alkalmazó tanulók struktúrája *(17. ábra)* a moláris tömegre (2. feladat) és/vagy az egyenes arányosságra (4. feladat) épül. Meglepő módon sem a moláris térfogat (1. feladat) sem a reakcióegyenlet (3. feladat) nem szerepel a szükséges tudáselemek között. A hármasszabályt használók tudásszerkezetében *(18. ábra)* az összetett feladat megoldása csak az egyenes arányosság (4. feladat) ismeretét igényli, amely valójában szerves eleme ennek a megoldási módszernek. A Hasse-diagramokból látszik, hogy ezen módszer esetén a moláris térfogat (1. feladat), a moláris tömeg (2. feladat) és a reakcióegyenlet (3. feladat) használata nem alapvető fontosságú a összetett feladat kiszámolásához. Az évfolyamokra jellemző Hasse-diagramokhoz hasonlóan ezekben a tudásszerkezetek is nagyon jól mutatják, hogy a tanulók az összetett feladat megoldása során nem használnak minden megtanult ismeretet, feladatmegoldásuk nem a megértés alapján történt, valamint jól begyakorolt feladatmegoldó stratégiával rendelkeznek.

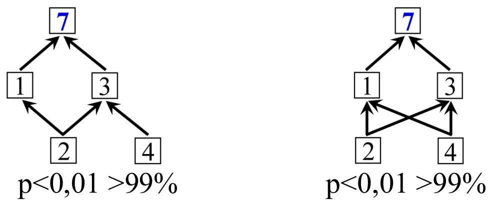
A nincs és nem azonosítható megoldási módszerrel dolgozó tanulók esetén minden feladat megoldása előfeltétele az összetett feladat sikeres megoldásának. A kapott Hasse-diagramok *(19. ábra)* hasonlítanak a szakértői tudásszerkezethez. A tudáselemek között erős kapcsolat van. Ennek ellenére a diákok sikertelenek voltak a feladatmegoldásban. Mindez elsősorban arra enged következtetni, hogy a tanulók nem rendelkeznek a feladat megoldásához szükséges ismeretekkel. Másodsorban az is lehetséges, hogy birtokában vannak a témakörhöz tartozó elméleti ismereteknek, de ezek nem kapcsolódnak össze a tanulók kognitív struktúrájában.



17. ábra: A mólmódszert használó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek



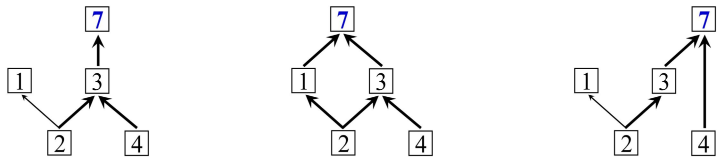
18. ábra: A hármasszabályt használó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek



19. ábra: A nincs és nem azonosítható megoldási módszert használó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek

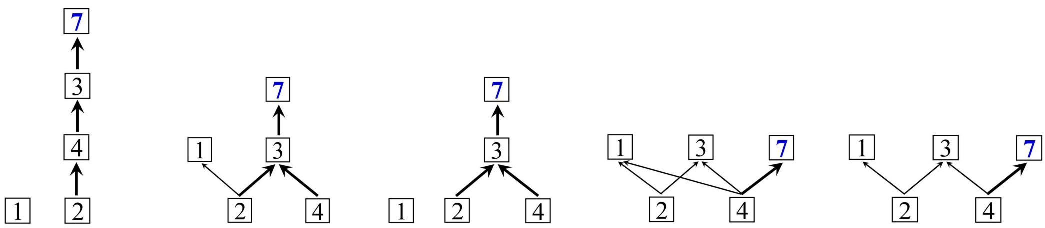
6.6.4. Az öt feladat kapcsolatának vizsgálata az 1. és a 2. feladatban használt számolási technika alapján

A képlettel számoló tanulók esetén az összetett feladat helyes megoldása a moláris tömeg (2. feladat), az egyenes arányosság (4. feladat) és a kémia reakcióegyenlet (3. feladat) ismeretét feltételezi *(20. ábra)*. A következtetést használó tanulóknál azonban már olyan struktúrák is megjelentek *(21. ábra)*, amelyekben a diákok csak az egyenes arányosságot alkalmazva jutottak el az összetett feladatig. A Hasse-diagramok egy részében a moláris térfogat (1. feladat) teljesen izolálódik. A nem azonosíthatók tudásszerkezete egységesebb *(22. ábra)*, inkább a szakértői tudásszerkezethez hasonlít, az alapvető tudáselem a moláris tömeg.



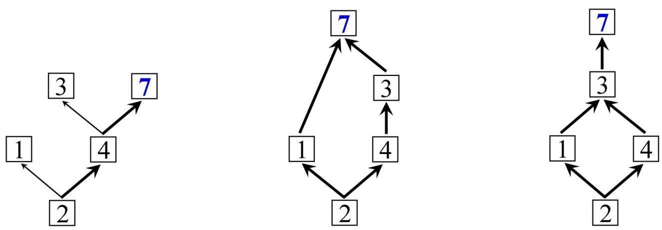
p<0,001 >99,9%   p<0,001 >99,9%   p<0,001 >99,9%

20. ábra: Az 1. és a 2. feladatban képletet használó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek



p<0,01 >99%   p<0,01 >99%   p<0,01 >99%   p<0,01 >99%   p<0,01 >99%

21. ábra: Az 1. és a 2. feladatban következtetést használó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek

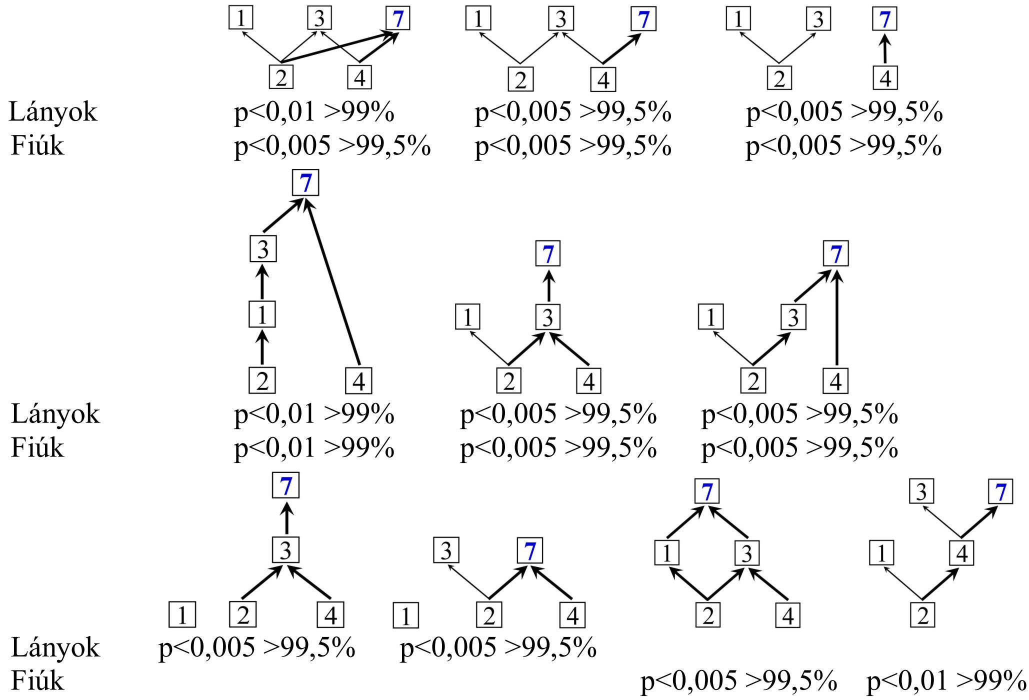


p<0,02 >98%   p<0,03 >97%   p<0,03 >97%

22. ábra: Az 1. és a 2. feladatban nincs és nem azonosítható számolási technikát használó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek

6.6.5. Az öt feladat kapcsolatának vizsgálata a lányok és a fiúk esetében

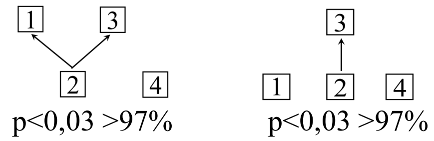
A lányok és fiúk jellemző tudásszerkezetei gyakorlatilag egyformák. Mindkét csoportra sok tudásstruktúra írható fel *(23. ábra)*. Szinte minden olyan Hasse-diagram megjelent, amelyet már az előzőekben bemutattam, nincs konkrétan, csak lányokra, vagy csak fiúkra jellemző tudásszerkezet. Mint azt korábban leírtam a tanulók neme nem befolyásolta a megoldási módszer megválasztását, így várható volt, hogy a mólmódszert és a hármasszabályt használó tanulókra jellemző modellek is megjelentek.



23. ábra: A lányok és a fiúk tudásszerkezetét legjobban leíró modellek

6.6.6. A négy feladat kapcsolata az összetett feladatot jól és rosszul megoldó tanulók tudásszerkezetében

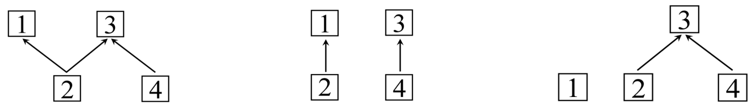
A fejezet ebben a részében az összetett feladatot (7. feladat) jól és rosszul megoldó tanulók jellemző tudásszerkezetét írtam fel. Mivel az indikátorfeladat sikeressége szolgál a vizsgált csoportok kialakítására, így a korábbi elemzésekkel ellentétben csak négy feladat (1., 2., 3., és 4. feladat) szerkezeti kapcsolatát vizsgáltam.



24. ábra: Az összetett feladatot jól megoldó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek

Az összetett feladatot jól megoldók csoportjának tudásszerkezetében *(24. ábra)* az egyenes arányosság (4. feladat) teljesen kirekesztődik, számukra csak a moláris tömeg (2. feladat) és a reakcióegyenlet ismerete (3. feladat) is elégséges a sikeres feladatmegoldáshoz. A jó tanulók a hiányzó tudáselemeket valószínűleg már készségszinten tudják alkalmazni az összetett feladat megoldásához.

Az összetett feladatot rosszul megoldók csoportjának tudásstruktúrája *(25. ábra)* szorosabb kapcsolatot mutat a feladatok között. Tudásszerkezetük a moláris tömegre (2. feladat) és az egyenes arányosságra (4. feladat) épül. A gyengébb előmenetelű tanulók a biztonságosabb utat választva, lépésről-lépésre építkezve próbálnak eljutni az összetett feladatig. Az is jól látszik, hogy a tanulók tudásszerkezetében izolált szigetek jönnek létre. Külön-külön észreveszik a moláris tömeg-moláris térfogat kapcsolatát, valamint felírják az egyenes arányosságot a tömeg és a térfogat valamint az anyagmennyiségek között, viszont az így kialakult a tudásrészeket már nem tudják összekapcsolni.



p<0,001 >99,9% p<0,005 >99,5% p<0,01 >99%

25. ábra: Az összetett feladatot rosszul megoldó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek

6.7. A feladatok megoldásakor kapott válaszok tartalmi elemzése

A felmérés fényt derített néhány jellegzetes típushibára is, amelyeket a *8. táblázat*ban foglaltam össze.

8. táblázat: A felmérőlap egyes feladataiban megjelenő típushibák a válaszadók körében

feladat	megjelenő típushiba	előfordulási gyakoriság a válaszadók körében
1.	az összefüggés pontatlan ismerete	23,1%
3.	a reakcióegyenlet hibás értelmezése	19,4%
7.		17,6%

6.8. Összefoglalás

A tanulók válaszainak elemzése során részletesen vizsgáltam a reakcióegyenlet alapján történő sztöchiometriai számítási feladat megoldását több szempontból, valamint tanulmányoztam ezen feladat kiszámoláshoz nélkülözhetetlen alapvető összefüggések megértését és azok egymással való kapcsolatát.

A kapott eredményekből megállapítható, hogy a teljes feladatlap megoldottsága a vizsgált populációban 41%, ami egy gyenge-közepes eredmény. Az évfolyamok teljesítményének összehasonlításában a 8. osztályos tanulók érték el a legjobb eredményt, de az egyes évfolyamok közötti különbségek nem bizonyultak szignifikánsnak.

Az egyes feladatokban elért eredmények azt mutatják, hogy a kémiai tudást igénylő számítási feladatokban lényegesen gyengébben teljesítettek a tanulók –

kivéve a tömeg megadása a moláris tömeg és anyagmennyiség segítségével – mint a kémiai ismeretet nem igénylő számítási feladatok (egyenes arányosság alapján történő számolás) megoldásakor. Azonban a valószínűleg magolással megtanult összefüggésre a tanulók egy része nem pontosan emlékezett. Sokuknak problémát jelentett a mechanikusan, nem értelmes tanulással rögzült ismeret felhasználása egy hasonló probléma megoldásakor (az anyagmennyiség kiszámítása térfogatból és moláris térfogatból). Összességében elmondható, hogy a tanulók egyes csoportjának gondot okozott a kémiai számításokhoz szükséges fogalmak értelmezése. Az alapvető összefüggések, képletek valószínűleg mechanikusan rögzültek, fogalmi megértés nem társult hozzájuk, így azokat nem tudták kellő biztonsággal használni, amely típushibák kialakulásához vezetett.

A feladatok megértésének sorrendje a jellemző tanulási utakban is jól nyomon követhető. A tanulási út elején a moláris tömeggel kapcsolatos egyszerű számítási feladat szerepel, majd ezt követik az egyenes arányosságon alapuló, nem kifejezetten kémiai tudást igénylő számítási feladatok. A tanulási út végén a moláris térfogattal és a reakcióegyenlet értelmezésével kapcsolatos feladatok vannak. Ez utóbbihoz biztosan hozzájárult a reakcióegyenlet téves értelmezése is. A különböző évfolyamok esetén a tudástérelmélet alapján felírt jellemző tanulási utakban lényeges különbségeket nem tapasztaltam.

A tanulók mindössze egy ötöde alkalmazta a megoldási módszerek valamelyikét az összetett feladat megoldásában. A várakozásnak megfelelően az iskolában tanított mólmódszer és hármasszabály használata volt a jellemző. A mólmódszert használó tanulók értek el jobb eredményt a hármasszabállyal számoló diákok teljesítményéhez viszonyítva, de ez egyik évfolyamon sem jelentett szignifikáns változást. Az adott megoldási módszert vizsgálva szignifikáns különbség nem volt kimutatható az évfolyamok teljesítménye között sem. Az azonosítható megoldási módszerekkel dolgozó tanulók szignifikánsan jobban teljesítettek a nincs és nem azonosítható megoldási stratégiát alkalmazó diákokhoz képest a teljes feladatlapon.

A tanulók 80%-a használta a számolási technikák (képlet, következtetés) valamelyikét (vagy mindkettőt) a moláris tömeggel és a moláris térfogattal kapcsolatos számítás során, és eredményességük minden esetben felülmúlta a nincs és nem azonosítható számolási technikával dolgozó tanulókét. A tanulók többsége – a 8. osztályosok kivételével – a számolási technikák közül a képlettel történő számolást részesítette előnyben a következtetéssel történő feladatmegoldással szemben, azonban a sikerességet tekintve a következtetéssel számolók értek el jobb eredményt a vizsgált feladatcsoportban, de szignifikáns különbség csak a 8. évfolyamon adódott a két számolási technikában elért tanulói teljesítmények között a vizsgált feladatcsoportban. Ezt a számolási technikát valószínűleg csak azok a diákok választották, akik a fogalmak jelentését megértették. Így kellő biztonsággal tudták alkalmazni és sikeresebbek voltak a feladatok megoldásában.

Az összetett feladatot helyesen megoldó tanulók szignifikánsan jobb eredményt értek el a feladatlap egészén azokhoz képest, akik nem tudták megoldani az összetett feladatot. Az évfolyamok között nincsenek kimutatható eredmények.

A lányok és a fiúk is egyaránt nagyon gyenge eredményt értek el az összetett feladat megoldásában. A nemek egész feladatlapon mutatott stratégiaválasztásában és a teljesítményében is a 10. évfolyamon vannak szignifikáns különbségek. Sikerült kimutatni, hogy a lányok a hármasszabályt választották a mólmódszerhez képest, de az eredményességet tekintve nincs szignifikáns eltérés a két módszerhasználat között. A fiúk általában sikeresebbek voltak, mint a lányok, de teljesítményük a 10. osztályban kimutathatóan visszaesett. Ezen az évfolyamon már a lányok szignifikánsan jobban teljesítettek.

A szerkezeti vizsgálatokat elvégezve megállapítható, hogy egyedül a 7. évfolyamos tanulók tudásszerkezete különbözik a többi évfolyam tanulóinak tudásszerkezetétől. Ezen az évfolyamon mindegyik feladat előfeltétele az összetett feladat megoldásnak. A többi évfolyamon a moláris térfogattal kapcsolatos tudáselem már nem előfeltétele az összetett feladat sikeres megoldásának, sőt 8. osztályban a reakcióegyenlet értelmezése sem. Mind a négy évfolyam tudásszerkezetének alapja a moláris tömeg és az egyenes arányosság. A tudásszerkezetekben jelentkező különbségek abból adódhatnak, hogy a tanulóknak az összetett feladat megoldásához szükséges előzetes tudása nem volt egyforma.

A két különböző megoldási módszert alkalmazó csoportok jellemző tudásszerkezetében már sikerült különbségeket sikerült kimutatnom. A tanulóknak már kialakult sémáik vannak. A mólmódszert alkalmazó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró Hasse-diagramokban az összetett feladat a moláris tömegre és az egyenes arányosságra épül. A hármasszabályt használó tanulók tudásszerkezetében az összetett feladat megoldásában leginkább az egyenes arányosság ismerete a meghatározó, nem szükséges mindegyik részismeret mozgósítása. Ez arra enged következtetni, hogy a tanult megoldási módszereket a tanulók a fogalmi ismeretek megértése nélkül alkalmazták. A nincs és nem azonosítható megoldási módszerrel dolgozó tanulók csoportjára a szakértői tudásszerkezetekhez hasonló tudásstrukturákat kaptam, a diákok az összetett feladat megoldásához valamennyi fogalmi ismeretet felhasználták.

A két különböző számolási technika alapján képzett csoportok tudásszerkezetében is kimutathatóak voltak jellemző különbségek. A képlettel számoló tanulók esetén az összetett feladat helyes megoldása a moláris tömeg, az egyenes arányosság és a kémia reakcióegyenlet ismeretét feltételezi. A következtetéssel számoló tanulók csoportját vizsgálva olyan modellek is megjelennek, ahol csak az egyenes arányosság a meghatározó tudáselem. Ezekkel ellentétben a nem azonosítható számolási technikával dolgozó tanulók tudásszerkezetében az alapvető tudáselem a moláris tömeg.

A fiúk és a lányok jellemző tudásszerkezetben nem tudtam kimutatni lényeges különbségeket.

Az összetett feladatot helyesen megoldók és az azt elhibázók teljesítménye között szignifikáns eltérést mutattam ki, és a tudásszerkezetük is különbözik. A sikertelenül teljesítőknek az összetett feladat sikeres megoldásának előfeltétele valamennyi egyszerű feladat megoldásának ismerete. Itt az egyszerű feladatok megoldásához szükséges tudáselemek még nem képeznek egységes asszociációs rendszert, míg az összetett feladatot jól megoldók esetében ezek a tudáselemek már készségszinten működnek és a tanulók tudásában egy jól működő, összefüggő struktúrát alkotnak.

A tudásszerkezetek mindegyikében megjelent az iskolában először tanult moláris mennyiségek kapcsolata. Igazolódott, hogy a korábbi vizsgálatokhoz hasonlóan *(Tóth, 2006, 2007a)* a különböző tanulócsoportok tudásszerkezetében a moláris térfogat fogalma a moláris tömeg fogalmára épül. Bár felismerték a tanulók a két moláris mennyiség kapcsolatát, ugyanakkor a moláris térfogat a megértés hiánya miatt a legtöbb esetben nem épült be a tanulók tudásszerkezetébe.

7. Vegyületek összetételének számítása

A sztöchiometriai kémiai feladatmegoldás fontos részét képezik a vegyületek összetételével kapcsolatos számítási feladatok. Ebben a témakörében két tipusú feladattal találkozunk. Az első típusba azok a feladatok tartoznak, amikor ismerjük az alkotók tömegét, és ebből kell a vegyület összegképletét meghatározni. A második típusát azok a feladatok alkotják, amelyekben ismert a vegyület összegképlete, és ebből kell az alkotók tömegét vagy tömegarányát kiszámolni. Kutatásom ez utóbbira irányult.

7.1. Irodalmi előzmények

A vegyületek összetételével kapcsolatos számítási feladatok megoldása hat különböző megoldási módszerrel lehetséges: mólmódszerrel, hármasszabállyal, kevert módszerrel, logikai úton, LEGO®-elvvel és dimenzióanalízissel. Az első három stratégia bemutatása *Schmidt (1994, 1997)* tanulmányaiban olvasható. A LEGO®-elvről a módszer kidolgozói *Molnár és Molnárné (2005, 2006a, 2006b)* írnak részletesen. A dimenzióanalízis ismertetése *Tóth (2000)* közleményében szerepel.

A hazai vizsgálatokat megelőzően német, majd később svéd középiskolásokat is bevontak ilyen kutatásokba. Ezek a tanulók az egyszerű sztöchiometriai számításokban a vegyületek összetételének meghatározásához sikeresebben alkalmazták saját stratégiájukat, a logikai módszert, de bonyolultabb feladatok megoldásakor már az iskolában megismert algoritmikus módszereket használták *(Schmidt, 1990, 1994, 1997; Schmidt és Jignéus, 2003)*.

Hasonló kutatás történt a magyar diákok körében, hat- és nyolcosztályos gimnáziumi tanulók részvételével. Ők az iskolában tanult stratégiákat részesítették előnyben, különösen a mólmódszert, a logikai úton próbálkozók száma nagyon alacsony volt *(Tóth és Kiss, 2004, 2005)*. A különbségek több dologra is visszavezethetőek. Az eltérő eredmények egyik lehetséges okaként felvetődött, hogy a stratégiaválasztást befolyásolják a feladatban megadott tömegek. A magyar felmérésben szereplő feladat („Hány gramm szén található 96 g MgC_2-ban?”), eltér a német vizsgálatban szereplő eredeti problémától a MgC_2 tömegében („Hány gramm szén található 6 g MgC_2-ban?”). Schmidt a MgC_2 tömegének 6 grammot adott. Szerinte: „Úgy válasszuk ki a vegyületeket, hogy bennük az alkotó atomokra vonatkozó moláris tömegarányok egyszerűek legyenek. A vegyület teljes tömegének pedig olyan számot kell adni, hogy könnyen két részre osztható legyen, akár a moláris tömegek, akár a tömegek vagy anyagmennyiségek arányát vesszük figyelembe.” *(Schmidt, 1994, 193. oldal)*. Ebből a tömegből azonban nem kapunk egész számot az anyagmennyiségre vonatkozóan (6 g : 48 g/mol = 0,125 mol) és ez megnehezíti a mólmódszer használatát. A magyar kutatásban szereplő feladatban azért szerepelt a 96 g, mert ez nem csak könnyen kettéosztható mennyiség, hanem ebből az anyagmennyiség is könnyen kiszámítható (96 g : 48 g/mol = 2 mol).

Egy másik, szintén Magyarországon végzett vizsgálatban olyan feladatlapot használtak, amelynek egyik feladatában a „németszerű" adatoknak megfelelően, a másikban a „magyarszerű" adatok szerint szerepelt a vegyület tömege *(Pocsainé, 2005)*. A felmérés szintén középiskolások körében készült. A várttól eltérően nem volt különbség a megoldási módszer megválasztásában a „németszerű" és a „magyarszerű" adatokat tartalmazó feladatok esetén. A tanulók a két különböző tömegadatot tartalmazó feladat esetén is az algoritmikus módszereket használták, legtöbbször ugyanazt a stratégiát a „németszerű" és a „magyarszerű" feladatra is. A vizsgált tanulók esetén a hármasszabály vált dominánssá, a feladatot megoldó tanulók leginkább ezt részesítették előnyben és ezzel is érték el a legjobb eredményt. A többi stratégia, a mólmódszer, a kevert módszer és a logikai módszer is megjelent a tanulók válaszaiban.

Az debreceni egyetemisták körében végzett felmérés során is a korábbiakhoz hasonló eredményeket kaptunk *(Sebestyén és Tóth, 2006c)*. A dolgozatokban a hat lehetséges megoldási stratégia közül három, a mólmódszer, a hármasszabály és a kevert módszer fordult elő. A hallgatók a hármasszabályt helyezték előtérbe, és ezen módszer alkalmazásakor voltak a legsikeresebbek. A középiskolások által használt mólmódszer az egyetemisták körében végzett felmérésben is sok helyen megjelent, de nem ez volt a jellemző. A legtöbb hallgató a hármasszabállyal oldotta meg a feladatot. A logikai módszert egyáltalán nem használták az egyetemisták.

Ebben a témában a kémia tanár szakos hallgatók megoldási stratégiáinak vizsgálata mellett már feltérképezték a feladatmegoldó módszerekkel kapcsolatos jellemző tudásszerkezetüket is *(Tóth, 2007b; 2012)*. A tanárjelöltek a szakmódszertani tanulmányok megkezdése előtt a hármasszabállyal dolgoztak és a tudásszerkezetükben is elszigetelten jelent meg ez a stratégia. A logikai út a mólmódszerre épült. A kurzus végén viszont mind a hármasszabályt, mind a mólmódszert sikeresen alkalmazták a hallgatók. A hármasszabály beépült a módszerek közé, a tudásszerkezet alján foglalt helyet és ráépült a mólmódszer. A hierarchia csúcsán a logikai módszer található az iskolában tanult algoritmusokra (mólmódszer, hármasszabály) épülve.

Összességében elmondhatjuk, hogy a Magyarországon végzett felmérések mindegyikében a tanulók az algoritmikus módszereket, a mólmódszert, a hármasszabályt, illetve a kevert módszert alkalmazták a vegyületek összetételével kapcsolatos számítások során. Megállapíthatjuk, hogy bár előfordult a logikai módszer is, de – a német tapasztalatokkal ellentétben – nem ez volt a jellemző, még egyszerű feladatok esetén sem.

A témában eddig elért különböző eredmények felkeltették az érdeklődésemet. Célom az volt, hogy az említett mérések után egy nagymintás, több iskolatípusba tanuló diákokat felölelő országos vizsgálatot is készítsek. Az új és a korábbi eredmények összehasonlítása mellett célul tűztem ki, hogy a klasszikus statisztikai elemzéseken kívül a tudás szerveződését feltáró módszerrel is bővítsem azt.

7.2. A feladatlap bemutatása

A vizsgálathoz általam készített nyílt végű feladatokat tartalmazó írásbeli tesztet használtam. A felmérés 9 feladatból, 2 összetett és 7 egyszerű számítási feladatból áll. Mindkét összetett feladat (1. és 2. feladat) tárgya egy két összetevőből álló vegyületben az egyik alkotó atom tömegének kiszámolása. Az első példában a vegyületet alkotó atomok tömegaránya 1:1, a másodikban 3:2. Ezen feladatokban a kétkomponensű vegyület egyik alkotójának tömegét kellett meghatározni tetszőleges megoldási módszerrel. A két összetett feladat (1. és 2. feladat) volt az indikátorfeladat, amelyek megoldási módszere alapján tanulócsoportokat (almintákat) képeztem. Az egyszerű feladatok (3-9. feladat) a lehetséges megoldási stratégiák elemi lépéseivel kapcsolatosak, amelyeket az egyes feladatok mellett jelöltem: **M**: mólmódszer, **H**: hármasszabály, **K**: kevert módszer, **L**: logikai módszer

A feladatlap a következő feladatokat tartalmazza:

1. Hány gramm szén található 96,0 g MgC_2-ban, ha a magnézium moláris tömege 24,0 g/mol és a szén moláris tömege 12,0 g/mol? **M, H, K, L**
2. Hány gramm lítium található 70,0 g Li_3N-ben, ha a lítium moláris tömege 7,00 g/mol és a nitrogén moláris tömege 14,0 g/mol? **M, H, K, L**
3. Egy oxigéntartalmú vegyület 53,0 grammja 24,0 g oxigént tartalmaz. Hány gramm oxigén van a vegyület 159 grammjában? **H**
4. Egy vegyületet alkotó elemek moláris tömegének aránya 2 : 1. A vegyületben az alkotó elemek anyagmennyiségének aránya 1 : 2. Mennyi az alkotó elemek tömegaránya a vegyületben? **L**
5. Mekkora az anyagmennyisége annak a 20,0 g tömegű vegyületnek, amelynek moláris tömege 40 g/mol? **M, K**
6. Egy vegyületben az alkotó elemek tömegaránya 2 : 3. Hány grammot tartalmaz a vegyület 150 grammja az alkotó elemekből? **L**

7. Mekkora anyagmennyiségű hidrogénatom található 3,00 mol kénsav molekulában (H_2SO_4)? **M, K, L**
8. Egy vegyületet alkotó elemek moláris tömegének aránya 1 : 2. A vegyületben az alkotó elemek anyagmennyiségének aránya 3 : 1. Mennyi az alkotó elemek tömegaránya a vegyületben? **L**
9. Egy vegyületben az alkotó elemek tömegaránya 1 : 1. Hány grammot tartalmaz a vegyület 120 grammja az alkotó elemekből? **L**

7.3. A megoldási módszerek részletes ismertetése

Vegyületek összetételének számításával kapcsolatos feladatok megoldására hat módszer alkalmazható:

- mól-módszer
- hármasszabály
- kevert módszer
- logikai módszer
- dimenzióanalízis
- LEGO®-elv

A feladatmegoldó stratégiákat a felmérésben szereplő egyik összetett, indikátorfeladat (1. feladat) alapján mutatom be.

Hány gramm szén található 96,0 g MgC_2-ban, ha a magnézium moláris tömege 24,0 g/mol és a szén moláris tömege 12,0 g/mol?

<u>Mólmódszer</u>: Ebben a megoldási módszerben előbb a vegyület, majd az alkotó atom anyagmennyiségét számoljuk ki az alkotó atom tömegének megadásához. A mól fogalom minden lépésben jelen van.

a) lépés: a vegyület moláris tömegének kiszámítása:
   $M(MgC_2) = 48{,}0$ g/mol

b) lépés: a vegyület anyagmennyiségének kiszámítása:
   $n(MgC_2) = 96{,}0$ g : (48,0 g/mol) = 2,00 mol

c) lépés: kiszámítjuk annak az alkotó atomnak az anyagmennyiségét, amelynek a tömegére kíváncsiak vagyunk:
   $n(C) = 2 \cdot n(MgC_2) = 2 \cdot 2{,}00$ mol = 4,00 mol

d) lépés: az alkotó atom tömegének kiszámítása:
   $m(C) = 4{,}00$ mol · (12,0 g/mol) = $\underline{\underline{48{,}0 \text{ g}}}$

<u>Hármasszabály</u>: az ismert és a feladatban szereplő tömegek között az egyenes arányosság segítségével teremtünk kapcsolatot

a) lépés: a vegyület moláris tömegének kiszámítása:
   $M(MgC_2) = 48{,}0$ g/mol

b) lépés: a moláris tömegek és a tömegek közötti egyenes arányosság felírása:
$M(MgC_2) : 2\ M(C) = m(MgC_2) : m(C)$
$(48{,}0\ g/mol) : (2 \cdot 12{,}0\ g/mol) = 96{,}0\ g : m(C)$

c) lépés: a keresett tömeg kiszámítása:
$m(C) = 96{,}0\ g \cdot (2 \cdot 12{,}0\ g/mol) : (48{,}0\ g/mol) = \underline{\underline{48{,}0\ g}}$

Kevert módszer: mól-módszer és hármasszabály kombinálásával oldható meg a feladat

a) lépés: a vegyület moláris tömegének kiszámítása:
$M(MgC_2) = 48{,}0\ g/mol$

b) lépés: a vegyület anyagmennyiségének kiszámítása:
$n(MgC_2) = 96{,}0\ g : (48{,}0\ g/mol) = 2{,}00\ mol$

c) lépés: kiszámítjuk annak az alkotó elemnek a tömegét 1 mol vegyületre nézve, amelynek a tömegére kíváncsiak vagyunk:
$m(C) = 2{,}00\ mol \cdot 12{,}0\ g/mol = 24{,}0\ g$

d) lépés: a vegyület anyagmennyisége és a keresett elem tömege közötti egyenes arányosság felírása:
$n(MgC_2) : m(C) = n(MgC_2) : m(C)$
$1\ mol : (2 \cdot 12{,}0\ g/mol) = 2{,}00\ mol : m(C)$

e) lépés: a keresett tömeg kiszámítása:
$m(C) = 2{,}00\ mol \cdot (2 \cdot 12{,}0\ g/mol) : 1\ mol = 48{,}0\ g$

Logikai módszer: a vegyületet alkotó atomok moláris tömegének és az anyagmennyiségének arányából a tömegarányokat kiszámolva a keresett tömeg kiszámolható

a) lépés: a moláris tömegek arányának felírása:
$M(Mg) : M(C) = 24 : 12$

b) lépés: megadjuk a tömegek arányát, a moláris tömegek illetve az anyagmennyiségek arányainak segítségével:
$M(Mg) : M(C) = 2 : 1$
$n(Mg) : n(C) = 1 : 2$
$m(Mg) : m(C) = 1 : 1$

c) lépés: a tömegek arányának megfelelően felbontjuk a vegyület tömegét:
$96{,}0\ g\ MgC_2 = 48{,}0\ g\ Mg + 48{,}0\ g\ C$

Dimenzióanalízis: a feladatban „előforduló mennyiségek dimenziójával (mértékegységével) ugyanolyan algebrai műveleteket végzünk, mint a mennyiségek mérőszámaival.” *(Tóth 2000, 23. oldal)*

$x\ g\ C = (96{,}0\ g\ MgC_2) \cdot [(1\ mol\ MgC_2) : (48{,}0\ g/mol\ MgC_2)] \cdot [(2{,}00\ mol\ C) : (1{,}00\ mol\ MgC_2)] \cdot [(12{,}0\ g\ C : (1{,}00\ mol\ C)] = \underline{\underline{48{,}0\ g\ C}}$

LEGO®-elv: „…először kiválasztjuk a megfelelő alapképletet (alappanelt), majd csoportosítjuk az ismert és a keresett adatok megfelelő összefüggéseit (építőelemeket), végül beépítjük azokat az alappanelbe.” *(Molnár és Molnárné 2006a, 7. oldal)*

Alappanel: n(keresett) = u · n(ismert)

a) lépés: az u érték meghatározása a molekula képlete alapján:
u = 2, mert a vegyület képletében 2 mol C atom van

b) lépés: az ismert és a keresett adatok felírása:

ismert adatok:	keresett adat:
$m(MgC_2) = 96,0$ g	m(C)
$M(MgC_2) = 48,0$ g/mol	

c) lépés: a tömeget és moláris tömeget tartalmazó anyagmennyiség-képletek, mint építőelemek használata:
n(ismert) = $m(MgC_2)$: $M(MgC_2)$ n(keresett) = m(C) : M(C)

d) lépés: az építőelemek illesztése az alappanelre:
m(C) : M(C) = u · [$m(MgC_2)$: $M(MgC_2)$]

e) lépés: az adatok behelyettesítése és a keresett tömeg kiszámolása:
m(C) : 12,0 g/mol = 2 · (96,0 g : 48,0 g/mol)
m(C) = $\underline{\underline{48,0 \text{ g}}}$

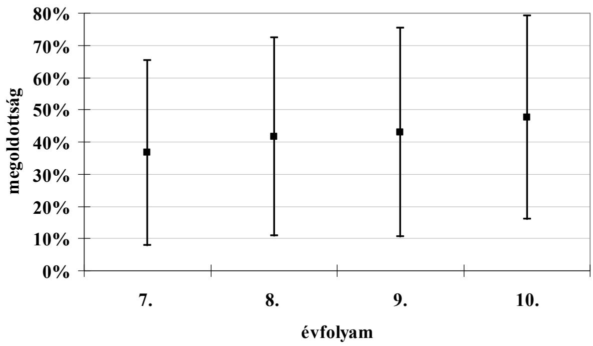
7.4. A tankönyvekben bemutatott megoldási módszerek

A magyarországi iskolákban a korábban bemutatott megoldási stratégiák közül a tanulók csak a mólmódszert és a hármasszabályt tanulják, amelyet 4 tankönyv mutat be számolási példán keresztül *(15. függelék)*. A logikai eljárás, a LEGO®-elv és a dimenzióanalízis bemutatása nem jelenik meg a hazai tankönyvekben.

7.5. A feladatok megoldásakor kapott válaszok statisztikai értékelése

7.5.1. A teljes feladatlap megoldása során elért tanulói teljesítmények értékelése

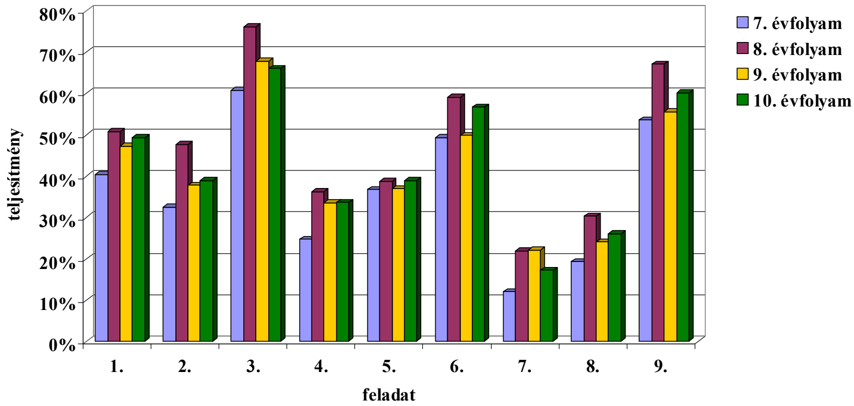
A feladatlapokat kielemezve azt tapasztaltam, hogy a teljes feladatlap megoldottsága a vizsgált populációban gyenge-közepes átlagteljesítményt mutat, a diákok 42%-a oldotta meg sikeresen a feladatokat. A 8. évfolyamon szignifikánsan jobban teljesítettek a tanulók, mint a 7. évfolyamon (p=0,005), utána visszaesés történt *(26. ábra és 16. függelék)*. Más évfolyamok között szignifikáns különbséget nem mutattam ki. A relatív szórás minden évfolyamon nagy (65-78%), ami arra utal, hogy a tanulócsoportok eredményessége a feladatmegoldásban nagyon heterogén. A legkisebb relatív szórás a 8. évfolyamra adódott, tehát ebben az osztályban homogénebb a tanulók teljesítménye, mint a többi évfolyamon.



26. ábra: A teljes feladatlapra jellemző megoldottság évfolyamonként

A feladatokban elért teljesítmény és az összteljesítmény között is szoros kapcsolat van, a korrelációs együtthatók: 0,590-0,802 *(17. függelék)*.

A 9 különböző feladatban elért teljesítmények 12-76% között oszlanak meg az egyes évfolyamokon *(27. ábra és 18. függelék)*. Minden feladatban a nyolcadikos diákok a legjobbak, és a hetedikesek teljesítettek a leggyengébben. A tanulók a 3. feladat esetén voltak a legsikeresebbek, itt a vegyület tömege és az alkotó atom tömege között kellett egyszerű aránypárt felírni. Ebben a feladatban minden évfolyamon nagyon jól teljesítettek a tanulók, a 8. évfolyamon szignifikáns növekedés volt tapasztalható (p=0,010). A 7. feladat bizonyult a legnehezebbnek. Ebben a feladatban azonban nem az anyagmennyiség kiszámolása volt fontos tömegből és moláris tömegből, hanem az anyagmennyiségnek, mint fogalomnak a megértése is szükséges volt. Itt már a vegyület anyagmennyiségéből az egyik alkotó atom anyagmennyiségét kell megmondani, azaz két anyagmennyiség között kell kapcsolatot teremteni. Ez a tanulók nagy részének nehézséget jelentett. Hasonlóan a korábbi tapasztalatokhoz *(Kiss és Tóth, 2006)* nem voltak tisztában az anyagmennyiség jelentésével, így nem tudták, hogy a választ mólban kell megadni. Leginkább problémát a 7. osztályos tanulóknak okozott ez, akik csak az év végén találkoznak először ezzel a fogalommal (7-8: p=0,077; 7-9: p=0,034). Jó eredményt értek el az egymáshoz nagyon hasonlító 6. és 9. feladatban is (korreláció értéke: 0,707; *17. függelék*), amelyekben a vegyület tömegéből és az alkotó elemek tömegarányából kellett kiszámolni az egyes alkotók tömegét. A 9. feladatban különösen igaz a 8. osztályosokra (7-8: p=0,043; 8-9: p=0,039).



27. ábra: A tanulók egyes feladatokban elért teljesítménye a különböző évfolyamokon

A diagramon látható *(27. ábra)*, hogy az 1. és a 2. feladat, amely a két összetett feladat, a negyedik, illetve az ötödik helyet foglalja el. E kettő közül az 1. feladatot oldották meg eredményesebben, amelyben az alkotó elemek tömegaránya 1:1. A 2. feladat kicsit bonyolultabb, mert abban a tömegarány 3:2. Lényeges különbség csak a 2. feladatban a 7. és a 8. évfolyam között volt kimutatható ($p=0,015$). Minden évfolyamon ettől nehezebb volt a diákok számára a 4. és a 8. feladat, amelyek azonos típusúak, mutatja ezt a közöttük lévő korreláció értéke is: 0,705 *(17. függelék)*. Ezekben a feladatokban az alkotó elemek moláris tömegének arányából és anyagmennyiség-arányából az alkotó elemek tömegarányát kellett megadni. Itt szintén az anyagmennyiség fogalma került elő. Meg kell jegyezni, hogy az 5. feladat esetén az egyes évfolyamokra járó diákok közel egyformán teljesítettek. Ebben a feladatban a vegyület anyagmennyiségét kellett kiszámolni a vegyület tömegéből és moláris tömegéből. Ez az az összefüggés, amit a tanulók gyakorlatilag először megtanulnak, és szinte minden feladattípusban alkalmazzák, így mechanikusan rögzült.

7.5.2. Két feladatcsoport megoldása során elért tanulói teljesítmények értékelése

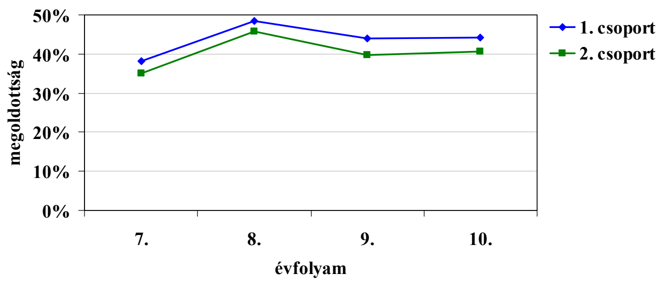
A felmérőlap összekeverve tartalmazza a két összetett feladat egyes részlépéseit lefedő feladatokat, ezért úgy gondoltam érdemes olyan összehasonlítást is végezni, amelyben csak azokat a feladatokat vizsgáltam, amelyek szorosan az adott összetett feladathoz tartoznak. Így a feladatokból két csoportot képeztem. Ezekbe az alábbi példák tartoznak.

1. csoport: 1., 3., 4., 5., 7. és 9. feladat

2. csoport: 2., 3., 5., 6., 7. és 8. feladat

Természetesen vannak közöttük azonos feladatok is, amelyek mindkét csoportban szerepelnek. Az eltérő feladatok is egyforma jellegűek, csak a bennük lévő számadatok miatt a tanulók számára könnyebbek vagy nehezebbek lehetnek. Az 1. és a 2. feladatok (korreláció értéke is: 0,693), a 4. és a 8. feladatok (korreláció értéke is: 0,705), valamint a 6. és 9. feladatok azonos jellegűek (korreláció értéke is: 0,707) *(17. függelék)*. Az 1. csoportban lévő „könnyebb” feladatokat sikeresebben oldották meg a tanulók. A „nehezebb” feladatokban gyengébben teljesítettek a tanulók, amely több évfolyamon jelentett szignifikáns különbséget ($p \leq 0{,}050$) *(18. függelék)*. A teljes tanulói létszámra a χ^2-próba segítségével megvizsgálva a „könnyebb” feladatokban több helyes választ adtak a tanulók ($p \leq 0{,}016$).

A 7. és a 8. évfolyamon tanulók teljesítménye között mindkét csoport esetén szignifikáns különbség van *(28. ábra)*. A 8. évfolyamon tanulók szignifikánsan jobban teljesítettek, az 1. és a 2. csoport esetén is ($p=0{,}007$) *(19. függelék)*. Más évfolyamok között ez nem volt kimutatható. A 9. és a 10. osztályos diákok eredményessége közel egyforma volt.

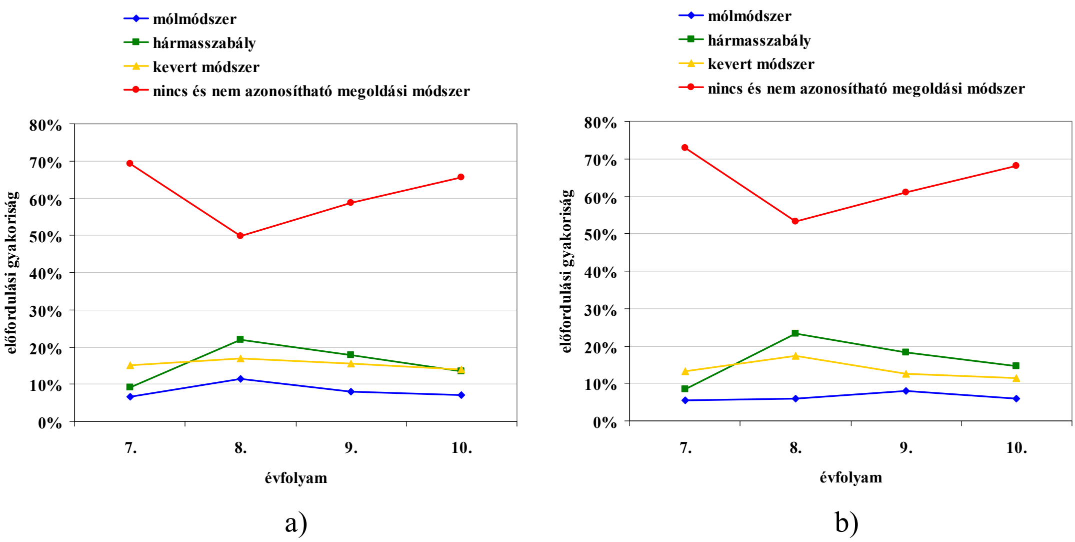


28. ábra: A két feladatcsoportra jellemző megoldottság évfolyamonként

Bár minden osztályban a „könnyebb” feladatokat oldották meg sikeresebben a tanulók, de a két feladatcsoportban elért összteljesítmény között egyik évfolyamon sem volt szignifikáns különbség *(19. függelék)*.

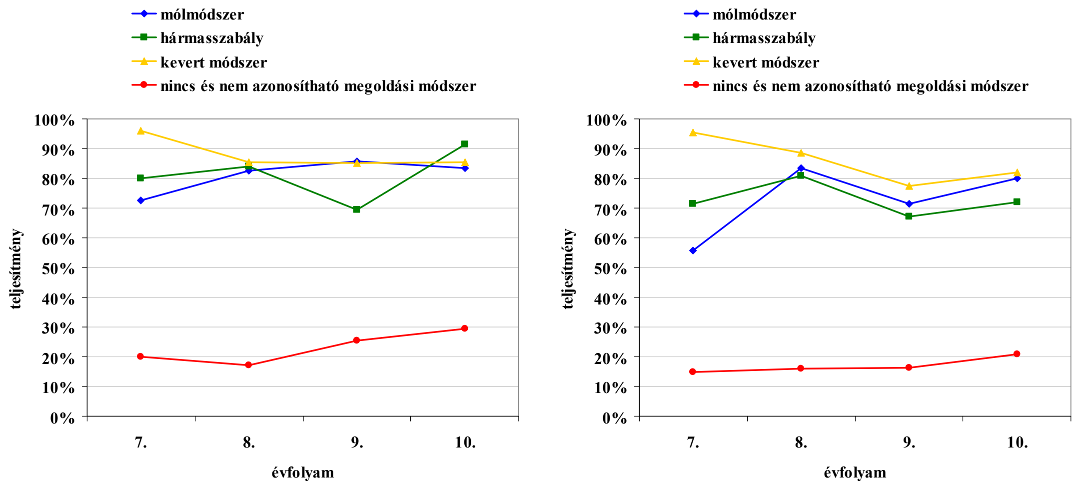
7.5.3. A megoldási módszerek gyakorisága és sikeressége

A megírt feladatlapok beérkezése után egyik fontos feladatom az volt, hogy azonosítsam a két összetett feladat során alkalmazott megoldási módszereket. Mindkét csoport esetén *(29. ábra és 21. függelék)* a tanulók a két összetett feladat megoldásához négy módszert használtak a korábban bemutatott hat stratégia közül: mólmódszert, hármasszabályt, kevert módszert és LEGO®-elvet. Ez utóbbival a tanulók csak elenyésző száma dolgozott, így őket a korábbiakhoz hasonlóan (6.5.2. fejezet) a mólmódszert használó diákok csoportjába soroltam. Az azonosítható megoldási stratégiákat csak kis százalékban alkalmazták. Legkevesebben a mólmódszert, annak ellenére, hogy a tankönyvek inkább ezt mutatják be *(15. függelék)* és legtöbben a hármasszabályt – kivéve a 7. osztályban (ott a kevert módszer jellemző) – használták. Ez leginkább jellemző a nyolcadikos és a kilencedikes diákokra ($p \leq 0{,}050$). A 8. évfolyam kiemelkedik abból a szempontból, hogy ott a tanulók összesen fele választotta az azonosítható megoldási módszerek valamelyikét. Ezen az évfolyamon többen alkalmazták a hármasszabályt a 7. és a 9. évfolyamhoz képest ($p \leq 0{,}053$). Nagyon sok azon diákok száma, akik nem azonosítható eljárást használtak, vagy semmilyen megoldási módszerrel sem próbálkoztak. A nem azonosítható megoldási módszer előfordulási nagyobb a 7. évfolyamon a 8. évfolyamokhoz viszonyítva mindkét feladatcsoportban ($p=0{,}001$). Az alkalmazott módszer megválasztása független volt a feladat jellegétől *(20. függelék*). Ezt megerősíti a két módszerhasználat közötti korelációs érték is, amely 0,783 *(17. függelék)*.



29. ábra: A megoldási módszerek előfordulási gyakorisága az 1. feladatban (a) és 2. feladatban (b) évfolyamonként

Bár az azonosítható megoldási módszereket a tanulók csak kis része használta, de ők nagyon jó eredményességgel oldották meg az összetett feladatokat. Kevesen választották ugyan a mólmódszert, de ők is jó teljesítményt értek el. *(30. ábra és 21. függelék)*. Mindkét összetett feladatra általánosan elmondható, hogy a diákok a 7. osztályban a legsikeresebbek mind a három megoldási stratégiát figyelembe véve. Az évfolyamok között szignifikáns különbség csak a hármasszabállyal számolók között mutatható ki az 1. feladatban a 9. és a 10. évfolyam között ($p=0{,}024$). Általánosan igaz, hogy jobb eredményességgel a mólmódszerrel és a kevert módszerrel dolgoztak a tanulók mind a két összetett feladatban. A kevert módszer alkalmazásával legjobb az eredmény, bár az életkor előrehaladtával csökken. A hármasszabállyal és a mólmódszerrel dolgozók esetén nő a teljesítmény a 7. évfolyamhoz képest. A 2. feladatban szignifikánsan jobb teljesítményt értek el a kevert módszerrel számoló diákok a mólmódszert használó tanulókhoz viszonyítva ($p=0,031$), de más esetben nincsenek kimutatható különbségek. Minden osztályban a két összetett feladat megoldására jól azonosítható megoldási stratégiát használók dolgoztak sikeresebben a nincs és nem azonosítható megoldási eljárást alkalmazókhoz képest ($p=0,000$).

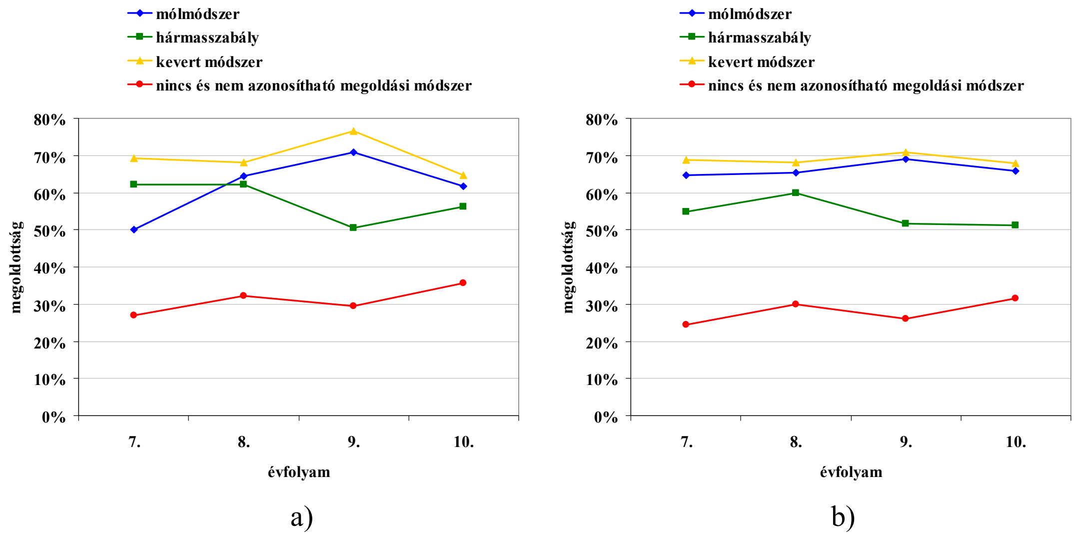


a) b)

30. ábra: Az 1. feladatban megjelenő megoldási módszerek alapján elért teljesítmény az 1. feladatban (a) és a 2. feladatban megjelenő megoldási módszerek alapján elért teljesítmény 2. feladatban (b) évfolyamonként

A könnyebben kiszámolható 1. feladatban általában jobban teljesítettek a tanulók, mint a 2. feladatban. Azonban két érdekességet mindenképpen meg kell jegyezni. Egyrészt a mólmódszert alkalmazó tanulók a 7. osztályban eredményesebbek az 1. feladatban ($p=0,05$). Ennek az lehet az oka, hogy a tanulókat már az is megzavarhatja, hogy a 2. feladatban lévő vegyületben (Li_3N) a kérdéses atom, a Li anyagmennyisége háromszorosa, míg az 1. feladatban szereplő vegyületet (MgC_2) alkotó C anyagmennyisége kétszerese a vegyület anyagmennyiségének. Másrészről a 10. évfolyamon jelentősen visszaesett ($p=0,015$) a hármasszabály sikeressége. Ez tulajdonképpen érthető, mert míg a MgC_2 moláris tömegének és a kérdéses atom vegyületben szereplő tömegének hányadosa egész szám (2), viszont a Li_3N esetén a hányados nem egész szám (0,6). Ez gondot okozhatott a tanulóknak és a hármasszabályra jellemző egyenes arányosság felírása után a számolás során rossz megoldáshoz jutottak. Ugyanakkor a mólmódszert választók lépésről-lépésre felépítve a számolást nagyobb valószínűséggel kapták meg a helyes végeredményt.

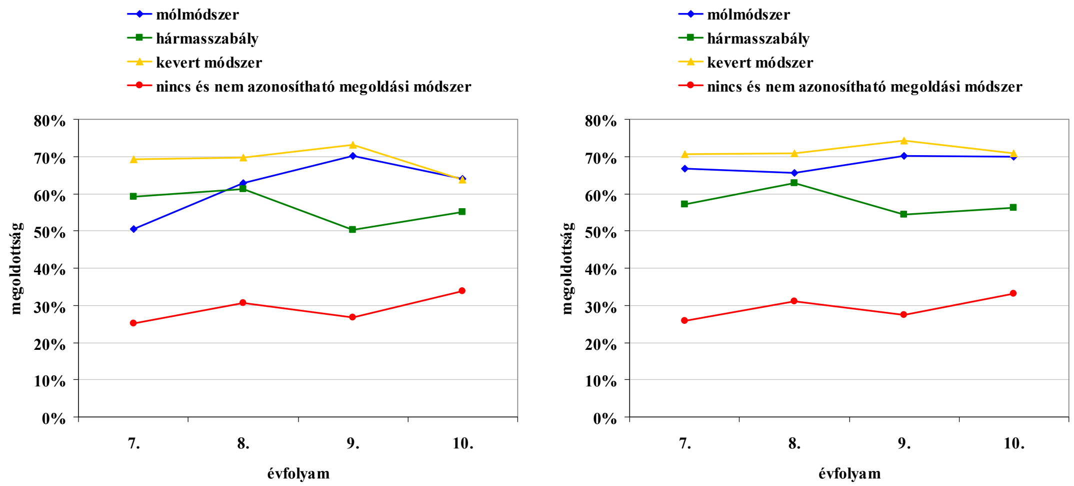
A két feladatcsoportban a mólmódszerrel, a hármasszabállyal és a kevert módszerrel elért eredmények hasonlóak minden évfolyamon *(31. ábra és 22. függelék)*. Egyik jól azonosítható megoldási módszer esetén sem mutatható ki szignifikáns különbség az évfolyamok között. Az 1. feladatcsoportban a tizedikes tanulók jobban teljesítettek a hetedikes diákokhoz hasonlítva a nincs és nem azonosítható megoldási eljárásban ($p=0,031$). A 9. évfolyamon mindkét feladatcsoportban, a 10. évfolyamon a 2. feladatcsoportban a kevert módszerrel számolók jobb eredményt értek el a hármasszabályt használókhoz képest ($p \leq 0,034$). A mólmódszert alkalmazó kilencedikes tanulók szintén eredményesebben dolgoztak, mint akik a hármasszabállyal próbálkoztak ($p \leq 0,022$). Minden osztályban a két összetett feladat megoldására jól azonosítható megoldási stratégiát használók dolgoztak sikeresebben a nincs és a nem azonosítható megoldási eljárást alkalmazókhoz képest ($p=0,000$).



31. ábra: Az évfolyamokra jellemző megoldottság az 1. feladatban megjelenő megoldási módszer alapján az 1. feladatcsoportban (a) és a 2. feladatban megjelenő megoldási módszer alapján a 2. feladatcsoportban (b)

A két összetett feladatban használt megoldási stratégia alapján a teljes feladatlapra jellemző megoldottságot ábrázoló diagram *(32. ábra és 23. függelék)* nagyon hasonló a két összetett feladatban elért teljesítményt kapott ábrához. Az egyes évfolyamok között egyik jól azonosítható megoldási módszer esetén sem volt kimutatható különbség. A nincs és nem azonosítható megoldási stratégiával dolgozók közül szignifikánsan jobban teljesítettek a 10. évfolyamon tanulók a 7. és a 9.

osztályosokhoz képest (p≤0,033). A megoldási eljárásokat nézve szintén igaz, hogy a mólmódszert és a kevert módszert alkalmazva eredményesebbek a tanulók, mint a hármasszabályt használva. Különösen igaz ez mindkét esetben a 9. évfolyamon tanuló diákokra, akik szignifikánsan is jobb teljesítményt értek el ez említett két módszer alkalmazásával (p≤0,041). Más osztályokban nem tudtam szignifikáns különbségeket kimutatni a módszerhasználat tekintetében. Minden évfolyamon a két összetett feladat megoldására jól azonosítható megoldási stratégiát használók dolgoztak sikeresebben a nincs és nem azonosítható megoldási eljárást alkalmazókhoz képest (p≤0,003).



a) b)

32. ábra: Az évfolyamokra jellemző megoldottság az 1. feladatban (a) és a 2. feladatban (b) megjelenő megoldási módszer alapján a teljes feladatlapon

7.6. A feladatok megoldásakor kapott válaszok szerkezeti elemzése

Az előző részben bemutatott eredmények már sok információval szolgáltak, de még pontosabb képet kaptam a tanulók tudásáról a szerkezeti elemzés után. Feltérképeztem az egyes tudáselemek kapcsolatát a tanulók gondolkodásmódjában több, különböző szempont alapján. Ebben a fejezetben az így kapott jellemző tudásszerkezeteket, ún. Hasse-diagramokat mutatom be.

7.6.1. A teljes feladatlap szerkezeti vizsgálata

A feladatok lineáris kapcsolatát a jellemző tanulási utak *(33. ábra)* írják le, amelyekből az látható, hogy a 8. évfolyamon van jelentősebb változás, utána már lényegében nincs. Úgy tűnik az arányos osztás (6. és 9. feladat) a 7. osztályban megy a legkönnyebben, a 8. osztálytól viszont előtérbe kerül az egyenes arányossággal történő számolás (3. feladat).

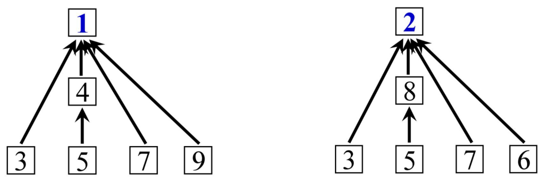
7. évfolyam	$6 \rightarrow 9 \rightarrow 3 \rightarrow \mathbf{1} \rightarrow \mathbf{2} \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 4 \rightarrow 7$ $9 \rightarrow 6 \rightarrow 3 \rightarrow \mathbf{1} \rightarrow \mathbf{2} \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 4 \rightarrow 7$
8. évfolyam	$3 \rightarrow 9 \rightarrow 6 \rightarrow \mathbf{1} \rightarrow \mathbf{2} \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 7$ $3 \rightarrow 9 \rightarrow 6 \rightarrow \mathbf{1} \rightarrow \mathbf{2} \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 5 \rightarrow 7$
9. évfolyam	$3 \rightarrow 9 \rightarrow 6 \rightarrow \mathbf{1} \rightarrow \mathbf{2} \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 7$ $3 \rightarrow 9 \rightarrow 6 \rightarrow \mathbf{1} \rightarrow \mathbf{2} \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8$
10. évfolyam	$3 \rightarrow 9 \rightarrow 6 \rightarrow \mathbf{1} \rightarrow \mathbf{2} \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 7$ $3 \rightarrow 9 \rightarrow 6 \rightarrow \mathbf{1} \rightarrow \mathbf{2} \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 5 \rightarrow 7$

33. ábra: Az egyes évfolyamokra jellemző tanulási utak a teljes felmérőlapon

A feladatlapon szereplő 9 feladatra a válaszokhoz leginkább illeszkedő Hasse-diagram felírása gyakorlatilag lehetetlen vállalkozás és a hasonló jellegű példák miatt nem is szükséges. Így a jellemző tudásszerkezeteket a már korábban ismertetett 1. és 2. csoport feladatai alapján vizsgáltam.

7.6.2. A hat feladat kapcsolata a két feladatcsoport esetén a különböző évfolyamokon

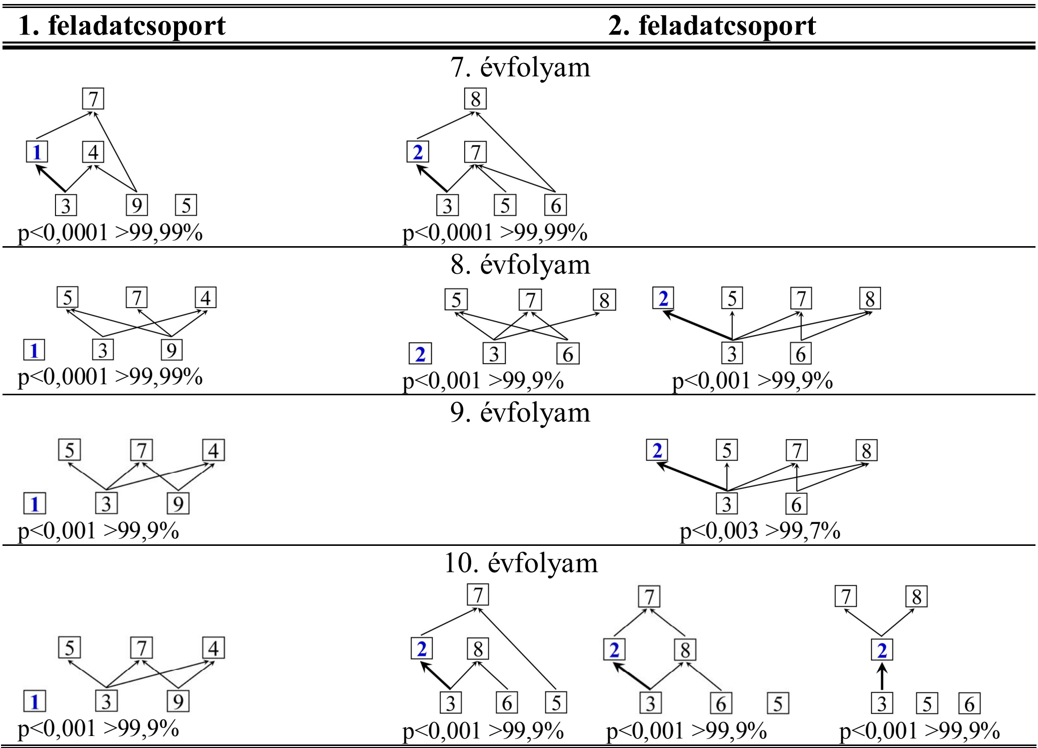
A különböző feladatok, ez egyes tudáselemek egymásra épülését, hierarchikus rendszerét jellemző szakértői tudásszerkezeteket *34. ábra* mutatja.



34. ábra: A hat feladat kapcsolatát leíró szakértői tudásszerkezetek a két feladatcsoport esetén

A tanulói válaszokból először a négy évfolyamra jellemző tudásszerkezeteket határoztam meg, amelyek az összetett feladatot és annak részlépéseit lefedő egyszerű feladatokat tartalmazzák.

Az 1. csoport esetén *(35. ábra)* lényeges különbség figyelhető meg a 7. évfolyam és a többi évfolyam között. A 7. osztályos tanulók tudásszerkezeteiben az összetett feladat (1. feladat) minden esetben az egyenes arányosságra épül, míg más évfolyamokon ezek a feladatok teljesen elkülönülnek. Az is látható, hogy a tömeg, moláris tömeg és anyagmennyiség kapcsolatát jellemző 5. feladat nem épül be vagy csak különálló részt foglal el a tudásszerkezetben. A diákok 7. évfolyamon csak a tanév végén találkoznak számolási feladatokkal, tanulják meg az alapvető összefüggéseket, így akkor számolnak először anyagmennyiséget, a tömeg és a moláris tömeg segítségével. Mivel a felmérés az adott tanév áprilisában készült így valószínűleg a tanulók egy része már tanulta, másik részének még ismeretlen volt az összefüggés használata. Akik már használták, azok valamilyen módon be tudták építeni a tudásszerkezetükbe, míg a másik csoport nem tudott mit kezdeni a feladattal, így a feladatok megoldása során sem építettek rá. A 2. csoport esetén *(35. ábra)* minden évfolyamon hasonlóak a Hasse-diagramok. Az összetett feladat minden osztályban (2. feladat) ugyancsak az egyenes arányosságra épül, viszont a másik összetett feladattal (1. feladat) ellentétben általában beépül a tudásszerkezetbe. A hierarchia csúcsán 1. csoporthoz hasonlóan itt is azok a feladatok vannak, amelyek az anyagmennyiség számolásával kapcsolatosak.



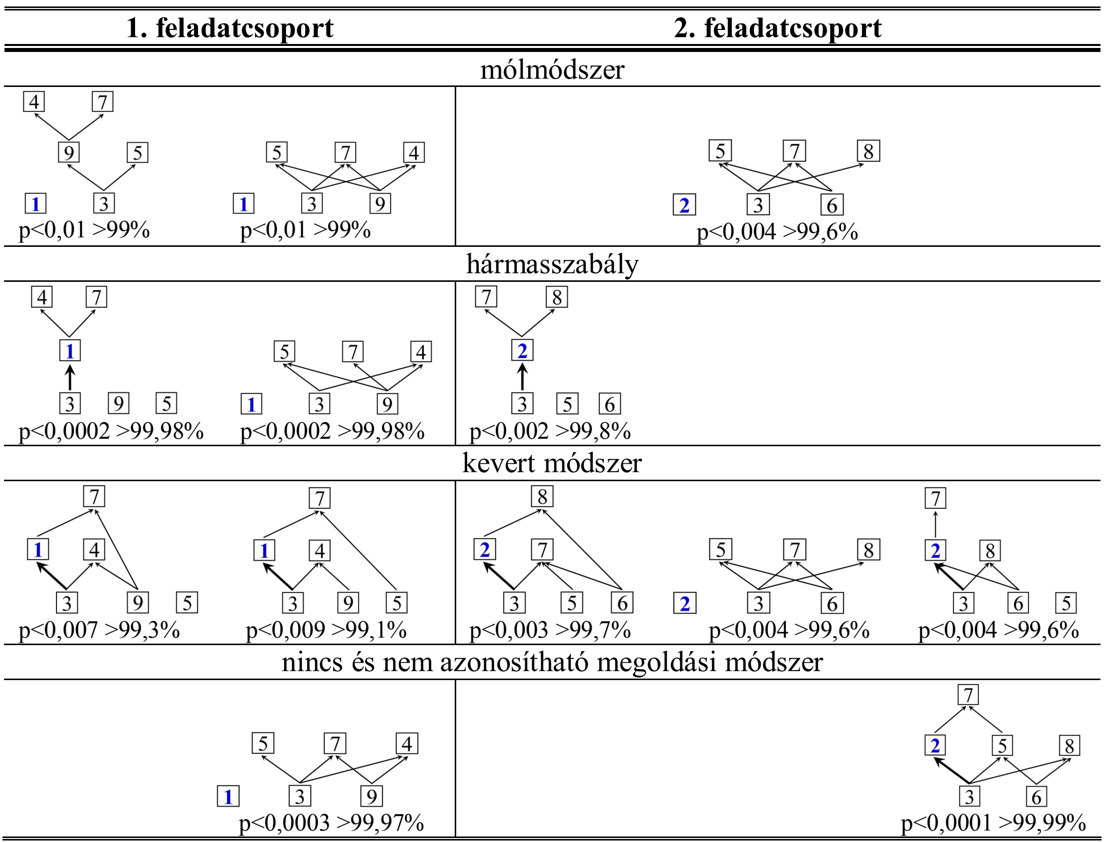
35. ábra: A különböző évfolyamok tudásszerkezetét legjobban leíró modellek az 1. és a 2. feladatcsoport esetén

Mindkét feladatcsoport esetén a szakértői várakozástól eltérően az összetett feladatok nem a hierarchia csúcsán helyezkednek el. Azonban a korábban bemutatott statisztikai elemzésekkel összhangban vannak (7.5.1. fejezet). A hasonló jellegű feladatok tudásszerkezetben elfoglalt helye is megegyezik. A tudásszerkezetből jól látszik, az a korábban már megállapított tény, hogy a tanulóknak a mól fogalmával (4., 5. és 7. feladat) gondjaik vannak. Elsősorban akkor, amikor a vegyületen belül kell megmondani az alkotó atom anyagmennyiségét (7. feladat). Ezek bizonyulnak a legnehezebbnek a legtöbb ismeret mozgósítására ezen feladatok esetén van szükség, így a Hasse-diagramokon a hierarchia csúcsán helyezkednek el.

7.6.3. A hat feladat kapcsolata a megoldási módszer alapján a két feladatcsoport esetén

Fontosnak tartottam annak megismerését is, hogyan kapcsolódnak az egyes tudáselemek az összetett feladatok kiszámolására különböző megoldási módszert alkalmazó tanulók gondolatmenetében.

A mólmódszert alkalmazó tanulók esetén felírt jellemző tudásszerkezetekben *(36. ábra)* az összetett feladat (1. és 2. feladat) teljesen elkülönül a többi feladattól. Az összetett feladat és az egyszerű feladatok, részlépések között semmilyen kapcsolat nincs. A tanulók számára legkönnyebbnek számító 3. feladat, és a 6. valamint a 9. feladat helyezkedik el a szerkezetben legalul, amelyekben a vegyület tömege és az alkotó elem tömege között kell egyenes arányosságot felírni. A tanulók ezekre építik azokat a feladatokat (4. valamint 8. feladat, 5. és 7. feladat) amelyekben a mól fogalma előkerül, illetve amelyekben már mindenképpen szükséges anyagmennyiséggel számolni. A három feladat a tudásszerkezetekben gyakorlatilag elkülönül egymástól.



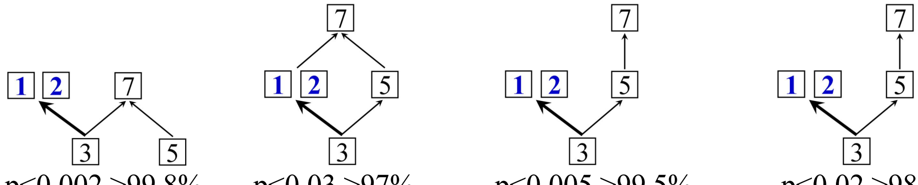
36. ábra: A különböző megoldási módszereket használó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek az 1. és a 2. feladatcsoport esetén

A hármasszabállyal és a kevert módszerrel számoló tanulók tudásszerkezete *(36. ábra)* részben különbözik a mólmódszert használókétól. Mindkét eljárást alkalmazók esetén megfigyelhető, hogy az összetett feladatok beépül a hierarchiába és kizárólag az egyenes arányosság ismeretét igénylő tudáselemre épül. Ha a két módszer megoldási lépéseit figyelembe vesszük akkor ezt várjuk, hiszen ezen stratégiák esetén az egyenes arányosság a meghatározó tudáselem. Ezekben a szerkezetekben, főleg a kevert módszert tekintve még inkább elkülönülnek a mólmódszerhez tartozó feladatok (4. valamint 8. feladat, 5. és 7. feladat). Egyes szerkezetekbe az 5. feladat be sem épül.

Mindkét csoport esetén az adott megoldási eljárást használók tudásszerkezete hasonló, de a bemutatott Hasse-diagramok alátámasztják, hogy a különböző megoldási módszert használó tanulók tudásszerkezete különbözik.

7.6.4. A két feladatcsoport azonos feladatainak kapcsolata

Az előzőekben bemutattam, hogy a két feladatcsoport tudásszerkezetei hasonlóak. Korábban ismertettem, hogy a tanulók stratégiaválasztását nem befolyásolták az összetett feladatokban eltérő tömegarányok, stratégiaváltás nem történt a két összetett feladat megoldása során, amelyeket a statisztikai adatok is alátámasztottak. Így a két összetett feladatot együtt kezeltem és az összetett feladatot, valamint azok közös feladatait (3., 5. és 7. feladat) vizsgáltam. A 3., a 5. és a 7. feladatokat azért tettem egy csoportba, mert, a 3. feladat aránypárral, míg az 5. és a 7. feladat aránypárral és képlettel is megoldható. A mólmódszerben képlettel történő, míg a hármasszabályban az aránypárral, a kevert módszerben mindkettővel való számolás szerepel. A közös feladatok (3., 5. és 7. feladat) esetén mindegyik Hasse-diagramról elmondható *(37. ábra)*, hogy legkönnyebb feladatnak az egyenes arányosság felírását tartalmazó 3. feladat bizonyult. A tanulók számára a legnehezebb a 7. feladat volt. Az összetett feladatok nem a hierarchia csúcsán helyezkednek el.



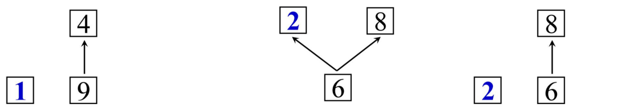
p<0,002 >99,8% **mólmódszer** | p<0,03 >97% **hármasszabály** | p<0,005 >99,5% **kevert módszer** | p<0,02 >98% **nincs és nem azonosítható megoldási módszer**

37. ábra: Az 1. és 2. feladatcsoport azonos feladataira jellemző tudásszerkezetek az egyes megoldási módszerek esetén

A négy csoport jellemző tudásszerkezetében kis különbségek vannak, a feladatok közötti kapcsolat gyakorlatilag egyforma. Mindegyik módszer esetén a diákoknak az összetett feladatok megoldásának alapját csak az egyenes arányosság képezte, más ismeretre nem volt szükségük a komplex feladat kiszámolásához. Úgy tűnik, hogy az összetett feladat megoldása nem igényelte az 5. és a 7. feladat sikeres megoldását.

7.6.5. A két feladatcsoport különböző feladatainak kapcsolata

Az 1. és a 2. feladatcsoport különböző feladatait is fontosnak tartottam elemezni, mert csak így tudtam a tanulók gondolkodását megvizsgálni. Ezek azok a feladatok, amelyek eltérő számadatokat tartalmaznak, de ugyanolyan jellegű példák és a logikai módszer részlépéseit fedik le. Más lehetőségem nem adódott, mert a diákok nem választották az összetett feladatok megoldáshoz a logikai eljárást. A logikai út vizsgálata során ugyanazok a Hasse-diagramok *(38. ábra)* írhatók fel mindkét csoportra. A két részelem (4. és 9. feladat valamint 6. és 8. feladat) izolálódik az összetett feladattól (1. vagy 2. feladat). A 2. csoportban az egyik jellemző tudásszerkezetben az összetett feladat csak a 6. feladatra épül, amely a vegyület tömegét és a vegyületet alkotó elemek tömegarányát tartalmazza.



p<0,02 >98% p<0,02 >98% p<0,02 >98%

1. feladatcsoport **2. feladatcsoport**

38. ábra: Az 1. és 2. feladatcsoport különböző feladataira jellemző tudásszerkezetek a logikai módszer esetén

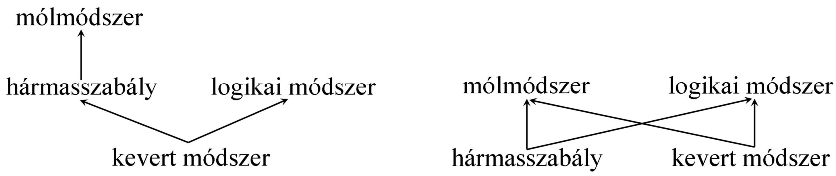
A megoldási stratégiákra jellemző tudásszerkezetek arra utalnak, hogy az összetett feladatok megoldási módszereit a tanulók többsége csak algoritmusként használta és nem társult hozzá azok fogalmi megértése, vagy esetükben az összetett feladat megoldása nem kellett valamennyi részismeret mozgósítani.

7.6.6. A megoldási módszerek kapcsolatának szerkezeti vizsgálata

A különböző megoldási módszerek kapcsolatát jellemző tudásszerkezetek felírásához csoportok kialakítására volt szükség, amelyek a következőképpen történtek. Mólmódszerrel számolt a tanuló, ha az 1., vagy a 2. feladatot ilyen módon oldotta meg, vagy kísérelte megoldani, vagy hibátlanul megoldotta az 5. és a 7. feladatokat. Hármasszabály használt a diák, ha az 1., vagy a 2. feladatot ilyen módon oldotta meg, vagy kísérelte megoldani, vagy hibátlanul megoldotta a 3. és 7. feladatokat. Kevert módszer alkalmazott a tanuló, ha az 1., vagy a 2. feladatot ilyen módon oldotta meg, vagy kísérelte megoldani, vagy hibátlanul megoldotta a 3. és az

5. és 7. feladatokat. Logikai eljárás szerint dolgozott a diák, ha az 1., vagy a 2. feladatot ilyen módon oldotta meg, vagy kísérelte megoldani, vagy hibátlanul megoldotta a 4., és a 6. és a 8. és a 9. feladatokat.

Az egyes évfolyamokra felírt tudásszerkezetekből látható *(39. ábra)*, hogy a 8-10. évfolyamon tanulókra azonos tudásszerkezet volt jellemző. A logikai stratégia használata egyik esetben sem épült be teljesen a stratégiák kapcsolatát jellemző hierarchiába. A 7. évfolyamon a kevert módszerre, míg a többi évfolyamon a kevert módszer mellett a hármasszabályra is épült. A mól-módszer és a logikai eljárás teljesen elkülönült egymástól a szerkezetben.

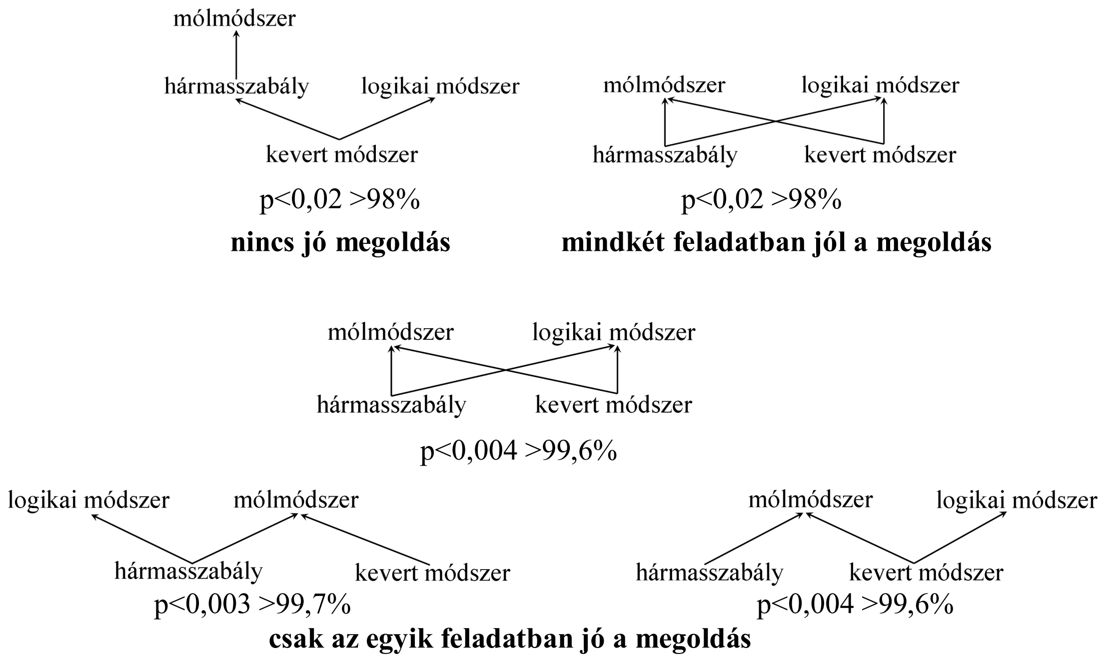


p<0,02 >98% | p<0,003 >99,7%

7. évfolyam | **8-10. évfolyam**

39. ábra: A megoldási módszerek kapcsolatát legjobban leíró modellek az egyes évfolyamok esetén

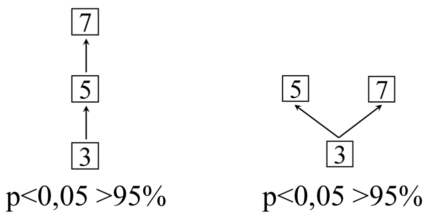
Ehhez kapcsolódóan meghatároztam a jellemző tudásszerkezeteket azokra az esetekre, amikor különböző eredményességgel oldották meg a tanulók az összetett feladatokat *(40. ábra)*. Almintákat képeztem, miszerint (a) egyiket sem tudta jól megoldani, (b) csak az egyiket számolta ki helyesen, valamint (c) mindkettőben sikeres volt. A helyes választ nem adók tudásszerkezete a 7. osztályos tanulókéval megegyező volt. Egy vagy két pontot elérő diákok a 8-10. évfolyamon tanulókéval egyezett meg. Egyik esetben sem volt kapcsolat a mólmódszer és a logikai eljárás között. A Hasse-diagramok alapján megállapítható, hogy az életkor növekedésével stratégiaváltás nem történt, a magyar diákok ragaszkodtak az iskolában tanult megoldási módszerekhez.



40. ábra: A megoldási módszerek kapcsolatát legjobban leíró modellek az eredményességtől függően

7.6.7. A három feladat kapcsolata az összetett feladatot jól és rosszul megoldó tanulók esetén

Végül összehasonlítottam az összetett feladatokat (1. és 2. feladat) jól valamint azokat rosszul megoldó tanulók tudásszerkezetét megoldási módszertől függetlenül *(41. ábra)*. Az elemzésbe a közös feladatokat (3., 5. és 7. feladat) vontam be. Meglepő módon semmilyen különbség nem tapasztaltam a két csoport között, ugyanazt a két Hasse-diagramot tudtam felírni. Viszont az elmondható, hogy jók és rosszak csoportjában lévő tanulók is az egyenes arányossággal tudtak könnyen számolni és gondot jelentett az anyagmennyiség meghatározása. Korábban a megoldási módszerekre jellemző tudásszerkezeteknél is ezt tapasztaltam.



41. ábra: A kezdők és a haladók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek az 1. és a 2. feladatcsoport esetén

7.7. A feladatok megoldásakor kapott válaszok tartalmi elemzése

A feladatlapok tartalmi elemzése során többféle, tulajdonképpen előzetesen várt típushibákat találtam, amelyet a *9. táblázatban* foglaltam össze.

9. táblázat: A feladatlap egyes feladataiban megjelenő típushibák a válszadók körében

feladat	megjelenő típushiba	előfordulási gyakoriság a válaszadók körében
3.	O_2 jelölés feltüntetése	15,6%
4.	az összefüggés helytelen ismerete (2 : 1 arány megadása)	10,6%
5.	az összefüggés helytelen ismerete	13,4%
7.	az anyagmennyiség helyett tömeg számolása	10,6%
	az anyagmennyiség helyett részecskeszám számolása	11,8%
8.	az összefüggés helytelen ismerete (4 : 3 arány megadása)	10,1%

7.8. Összefoglalás

A dolgozatom ezen részében a vegyületek összetételének számítására alkalmazott megoldási módszerek azonosítására és a közöttük lévő összefüggések vizsgálatára helyeztem a hangsúlyt. Továbbá tanulmányoztam a vegyületek összetételének kiszámolásához szükséges feladatok szerkezeti kapcsolatát is.

A teljes feladatlapra jellemző megoldottság a vizsgált populációban 42%, ami gyenge-közepes átlagteljesítmény, a 8. évfolyamon teljesítettek a legjobban a tanulók. A 8. osztályos tanulók szignifikánsan jobb eredményt értek el, mint a 7. osztályos diákok. A tudástérelmélet alapján meghatározott jellemző tanulási utakból szintén látható, hogy – a teljesítménnyel összhangban – a 8. osztályban következik be jelentős változás, utána lényeges különbségek nincsenek.

A két összetett feladatot könnyebben oldották meg a diákok, ami teljesítményben megelőzi több egyszerűbb feladat eredményességét is. Az azonos típusú feladatok esetében a könnyebben kiszámolható példák megoldásában teljesítettek szignifikánsan jobban a tanulók. Az anyagmennyiség fogalmának tisztázatlanságából (vö. anyagmennyiség – anyag mennyisége) több hibát követték el a tanulók: anyagmennyiség tömegből és moláris tömegből történő számolása, illetve a vegyület képletéből az egyik alkotó atom anyagmennyiségének megadása). Ez utóbbi esetén a szimbólum (képlet) mennyiségi jelentésének értelmezése is gondot okozott. Az összetett feladatok minden évfolyamon a tanulási út közepén találhatók. Előttük a kémiai tudást nem igénylő feladatok vannak, utána pedig a kémiai fogalmakat is tartalmazó példák.

A tanulók 38%-a alkalmazott valamilyen jól azonosítható megoldási módszert a két összetett feladat megoldásában. A hat feladatmegoldó stratégia közül csak az iskolában tanult algoritmusokat, a mólmódszert, a hármasszabályt, valamint a kevert módszert használták a tanulók az összetett feladatok megoldásához a korábbi hazai tapasztalatokhoz hasonlóan. A megoldási stratégiák közül a tanulók többsége a hármasszabályt és a kevert módszert választotta, a mólmódszert csak a diákok kisebb része használta. A logikai eljárás egyáltalán nem fordult elő. A kémiaoktatás előrehaladtával stratégiaváltás sem volt kimutatható. A nemzetközi szakirodalomban leírtakkal ellentétben azt találtam, hogy a megoldási módszer megválasztása nem függ a két összetett feladat adatbázisának jellegétől, azaz, hogy 1:1, vagy 3:2 tömegarányban tartalmazza a kétkomponensű vegyület az alkotó atomokat. Ennek alapvetően az az oka, hogy az a logikai út, amelynek használhatóságát a szakirodalom szerint valóban befolyásolják a feladatban megadott adatok, nem fordult elő az alkalmazott megoldási stratégiák között. Azok a tanulók, akik az összetett feladatot nem oldották meg, vagy nem azonosítható megoldási módszerrel próbálkoztak, jóval gyengébb teljesítményt értek el, mint azok, akik valamilyen jól azonosítható megoldási módszert használtak. Mindkét összetett feladatban nagyon jó eredményt értek el a tanulók az alkalmazott jól azonosítható megoldási módszertől függetlenül. A kevert módszer használatával a legjobb az eredmény, de az évfolyam növekedésével csökken. Az egyes évfolyamok között nincsenek lényeges különbségek az 1. és a 2. feladatot külön-külön vizsgálva. A mutatott teljesítmények nagyon hasonlóak a két összetett feladatot összevetve. Érdekesség azonban, hogy tanulók a 7. évfolyamon, a mólmódszerrel sikeresebbek, a 10. évfolyamon, a hármasszabállyal eredményesebbek az 1. feladatban, mint a 2. feladatban.

Minden évfolyamon az összetett feladatok megoldására jól azonosítható megoldási stratégiát használó tanulók dolgoztak sikeresebbek a nincs és nem azonosítható megoldási eljárást alkalmazó társaikhoz képest a teljes feladatlapra nézve is.

A vizsgált négy évfolyamra meghatározott jellemző tudásszerkezetekből megállapítottam, hogy az egyenes arányosság ismerete szinte minden esetben előfeltétele az összetett feladat megoldásának. Az egyes évfolyamokra jellemző tudásszerkezetben különbségek vannak a két feladatcsoportot vizsgálva. Minden osztályban a nehezebb indikátorfeladatot tartalmazó csoport esetén (3:2 az alkotó atomok tömegaránya) az összetett feladat beépült a tudásszerkezetekbe, míg az egyszerűbb indikátorfeladatot magába foglaló csoportban (1:1 az alkotó atomok tömegaránya) az összetett feladat elkülönült a többi tudáselemet tartalmazó szerkezettől.

Különbség volt megfigyelhető a különböző megoldási módszert használó (mólmódszer, hármasszabály, kevert módszer) tanulócsoportok jellemző tudásszerkezetében az 1. és 2. feladatcsoport esetén is. Meglepő módon a mólmódszert alkalmazó tanulók tudásszerkezetében az összetett feladat és az egyszerű feladatok között semmilyen kapcsolat nincs. Ez arra utal, hogy a tanulók mechanikusan, algoritmusszerűen használják a mólmódszert. A hármasszabállyal dolgozó tanulók körében az összetett feladat esetén leginkább az egyenes arányosság a meghatározó tudáselem. A kevert módszerrel számoló diákok tudásszerkezetében az összetett feladat általában az egyenes arányosság ismeretét igénylő tudáselemre épül. A nincs és nem azonosítható megoldási módszert használó tanulók tudásszerkezetében az látszik, hogy szintén csak az egyenes arányosságot használják fel az összetett feladat megoldásához.

A két csoport közös feladatait vizsgálva a három különböző megoldási módszert (mólmódszer, hármasszabály, kevert módszer) alkalmazó tanulócsoportok jellemző tudásszerkezetében kis különbségek voltak, a feladatok közötti kapcsolat gyakorlatilag egyforma. Mindegyik eljárás esetén a diákoknak az összetett feladatok megoldásának alapjául csak az egyenes arányosság szolgált, más ismeret nem volt szükséges számukra az indikátorfeladatok kiszámolásához.

A megoldási módszerek kapcsolata azt mutatta, hogy a logikai eljárás használata egyik esetben sem épült be teljesen a stratégiák kapcsolatát jellemző hierarchiába. Az összetett feladatok eredményessége alapján a megoldási eljárások egymáshoz való viszonyában sem volt változás, a tanulók gyakorlatilag külön kezelték az algoritmikus, iskolában tanult megoldási módszereket és a gondolkodtató, logikai eljárást.

Az összetett feladatban alkalmazott megoldási módszerek kapcsolata tekintetében különbségek vannak a kezdők és a haladók jellemző tudásszerkezetében. Azon tanulók csoportjában, akik nem tudták megoldani az összetett feladatot, a mólmódszer a hierarchia csúcsán van. Az összetett feladatot helyesen kiszámolók tudásszerkezetében a mólmódszernek a hármasszabály és a kevert módszer az alapja. Ezekből látszik, hogy a kezdőknél a mólmódszerrel való feladatmegoldás, míg az életkor előrehaladtával a hármasszabállyal és a kevert módszerrel történő számolás áll közelebb a tanulók gondolkodásmódjához.

A tartalmi elemzés jól mutatta, hogy a tanulók egy része nem tudta elkülöníteni az anyagokat felépítő kémiai részecskéket. Gondolkodásmódjukban keveredett az atom, az elemmolekula és a vegyületmolekula fogalma. Az elemi egységek tisztázatlanságából származó hibák miatt a tanulók használták a C_2, Li_3, O_2, H_2 jelölést. A diákok a feladat megoldása után a tömeg mellett ezeket a jelöléseket is feltűntették, azonban ez a számolásukat, így a feladat sikerességét sem befolyásolta.

A kémia alapvető mennyiségeinek fogalma és ismerete (az anyagmennyiség, a részecskeszám, a tömeg) és a közöttük lévő kapcsolat felismerése is több feladatban problémát jelentett a diákoknak, amelyet a fogalmi megértés hiánya okozhatott. A tanulók gondolkodásmódjában valószínűleg mechanikusan rögzült a három mennyiség kapcsolata (a tömeg, a moláris tömeg és az anyagmennyiség), amely nem biztos, hogy helyesen és ez már korábban is kimutatott tévképzetek kialakulásához vezetett *(Tóth, 2005, 2006, 2007a)*.

8. Makroszintű és részecskeszintű mennyiségek átszámítása

Az anyagfogalom fejlődésében meghatározó lépés annak megértése, hogy az anyagok részecskékből épül fel. E nélkül lehetetlen számos kémiai fogalom (például a kémiai reakció) elsajátítása. A részecskemodell tanítása már a hetedik osztályban elkezdődik. A tanulók megismerkednek a gázok, a folyadékok és a szilárd anyagok makroszkopikus tulajdonságaival és a halmazállapot-változásokkal. Még ugyanebben az évben részletesen foglalkoznak az atomok, az ionok és a molekulák szerkezetével. Megjelenik egy absztrakt, szemmel nem látható világ, a részecskék világa, amely megértése nem is olyan egyszerű. Mindezt nehezíti, ha az elemi és kémiai részecskék már számítási feladatokban is megjelennek. Ebben az esetben nem csak a makroszintű és részecskeszintű jellemzők, hanem az ezeket kifejező mennyiségek is nehézséget okoznak. A numerikus példákban egy feladaton belül is előfordulhat a két szint megjelenése. Jellemző makroszintű mennyiségek a tömeg, a térfogat, az anyagmennyiség. Részecskeszintű mennyiségi jellemzők közül a leggyakoribb a részecskeszám. A tanulóknak egyszerre kell különbséget tenni, és kapcsolatot teremteni a makroszintű és a részecskeszintű mennyiségek között. Várható, hogy ez számos tanulónak gondot jelent.

8.1. Irodalmi előzmények

A tudomány a részecskemodellt használja az anyagok és az anyag átalakulásával kapcsolatos jelenségek leírására, értelmezésére. Ez magában foglalja az anyagokat felépítő részecskék egyedi tulajdonságait és a köztük ható kölcsönhatások természetét is. Ezzel szemben a tanulók gyakran úgy használják a részecskemodellt, hogy az anyag makroszkopikus tulajdonságait vetítik le az anyagot felépítő részecskékre, majd ezekkel a makroszkopikus tulajdonságokkal felruházott részecskéket használják az anyag tulajdonságainak és átalakulásainak értelmezésére *(Taber, 2002)*.

Az oktatás területén a három kémiai részecske közül az atom fogalmával kapcsolatos vizsgálatokkal találkozhatunk a leginkább. Az atomfogalom megértésével és a felmerülő tévképzetekkel több tanulmány foglalkozik *(Lee és munkatársai, 1993; Harrison és Treagust, 1996; Taber, 2002; Cokelez és Dumon, 2005)*. Újabban már tudásszerkezet-elemzések is készültek e témában a fogalmi fejlődés és fogalmi váltás vizsgálatát illetően *(Tóth és Ludányi, 2007a; Tóth és Kiss, 2009; Tóth, 2013)*. Ezekből kiderül, hogy a tanulók gondolkodásmódjában az anyag makroszintű és részecskeszintű jellemzői között nincs kapcsolat. Számítási feladatokban végzett felmérésünk *(Sebestyén és Tóth, 2006b)* is igazolta, hogy a makroszintű (tömeg, térfogat, anyagmennyiség) és részecskeszintű (részecskeszám) mennyiségek közötti átlépés még elsőéves egyetemi hallgatók körében is nehézséget okoz.

A megoldási módszereket tekintve a makroszintű és a részecskeszintű mennyiségeket is tartalmazó feladatok esetén a megoldáshoz többféle úton juthat el a tanuló. A legtöbbet alkalmazott módszer a „lépésenként”, a másik az „összevontan” történő feladatmegoldás. Természetesen a dimenzióanalízis és a LEGO®-elv, mint megoldási stratégia is használható. A korábban említett tanulmányban a vizsgált egyetemi hallgatók körében többen választották a „lépésenként” történő megoldási lehetőséget, viszont az „összevont” módszerrel számolók sikeresebben dolgoztak. Azonban nem volt szignifikáns különbség a különböző módszert használók eredményessége között *(Sebestyén és Tóth, 2006b)*. Az orosz középiskolák egy része ilyen jellegű számítási feladatban (molekula részecskeszáma–molekula tömege, molekula részecskeszáma–molekula térfogata) a „lépésenként” történő feladatmegoldást részesítették előnybe, de sikeresebbek voltak az „összevont” stratégiát alkalmazók. A tanulók másik része, akik az összevont megoldási módszert külön is tanulták, inkább ezt választották és eredményesebben is teljesítettek. Azonban így is voltak közöttük olyanok (11. osztályos tanulók 80%-a), akik ragaszkodtak a jól ismert összefüggések alkalmazásához. Ezt azzal indokolták, hogy megszokták a képlet alkalmazását. További érdekesség, hogy ezen számolási feladattípus második tanítási órán jelentősen nőtt (8-26%) az „összevont” megoldási módszer alkalmazása és az eredményességben sem történt csökkenés *(Akhmetov és munkatársai, 2010)*.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a tanulóknak nem egyszerű érzékelni a különbséget az anyagi rendszerek leírásának két szintje között és a legtöbb tanuló nem képes összefüggést találni a makroszint és a részecskeszint között. Kutatásomban arra törekedtem, hogy megtudjam, milyen okok állhatnak ennek hátterében és megkeressem a meghatározó, nehézséget okozó tudáselemet a makroszintű és részecskeszintű mennyiségek közötti átlépést igénylő kémiai számítási feladatokban.

8.2. A feladatlap bemutatása

Az általam készített írásbeli felmérőlap nyílt végű feladatotokat tartalmaz. A nyolc feladat egyike összetett feladat, indikátorfeladat (5. feladat), amely a különböző tanulócsoportok kialakítását segíti. A többi hét egyszerű feladat (1-4. és 6-8. feladat) pedig a lehetséges megoldási utak kulcslépéseire vonatkoznak. Az egyszerű feladatok az összetett feladat megoldási stratégiáiban előforduló tudáselemekkel kapcsolatosak.

Az adott feladat mellett tűntetem fel, hogy mely megoldási módszer részlépését fedi le, valamint milyen szintek között történik a számolás. A következő jelöléseket alkalmaztam: **L1**: lépésenként I., **L2**: lépésenként II., **Ö**: összevontan; **M**: makroszint, **R**: részecskeszint

A feladatlap a következő feladatokat tartalmazza:

1. Mennyi az anyagmennyisége 48 g magnéziumatomnak? **L1, L2 (M-M)**
2. Mekkora anyagmennyiségű oxigénatomban van 12 mol elektron? **L1 (M-M)**
3. Hány atom van 2,0 mol magnéziumban? **L1, L2 (R-M)**
4. Mekkora anyagmennyiségű elektron van 48g magnéziumatomban? **L1, L2 (M-M)**
5. Mekkora tömegű oxigénatom tartalmaz $12 \cdot 10^{23}$ elektront? **Ö (R-M)**
6. Hány atom van 6,0 g magnéziumban? **Ö (M-R)**
7. Mekkora anyagmennyiségű oxigénatomban van $24 \cdot 10^{23}$ elektron? **Ö (R-M)**
8. Hány oxigénatomban van $32 \cdot 10^{23}$ elektron? **L2 (R-R)**

8.3. A megoldási módszerek részletes ismertetése

A makroszintű és részecskeszintű mennyiségeket tartalmazó számítási feladatokat megoldására öt módszer alkalmazható:

- lépésenként I.
- lépésenként II.
- összevontan
- dimenzióanalízis
- LEGO®-elv

A feladatmegoldó stratégiákat a felmérésben szereplő összetett feladat, indikátorfeladat (5. feladat) alapján mutatom be.

Mekkora tömegű oxigénatom tartalmaz $12 \cdot 10^{23}$ elektront?

Lépésenként I.: Ezen az úton már az első lépésben szintet váltunk, a részecskeszintről (részecskeszám) makroszintre (anyagmennyiség) lépünk.

a) lépés: az elektron anyagmennyiségének kiszámolása:
n(elektron) = $(12 \cdot 10^{23}) : (6 \cdot 10^{23}$ 1/mol) = 2,00 mol

b) lépés: az elektron anyagmennyiségéből az atom anyagmennyiségének kiszámolása a periódusos rendszer (rendszám) segítségével:
1,00 mol oxigénatomban van 8,00 mol elektron
x mol oxigénatomban van 2,00 mol elektron
x mol = 0,250 mol oxigénatom

c) lépés: az oxigénatom tömegének kiszámolása:
m(oxigénatom) = 0,250 mol · 16,0 g/mol = 4,00 g

Lépésenként II.: Ebben a módszerben később lépünk át a makroszintre. Először az elektron részecskeszámából (részecskeszint) az atom részecskeszámát (részecskeszint) számoljuk ki. Majd az atom részecskeszámából (részecskeszint) az atom anyagmennyiségét (makroszint), végül az atom tömegét adjuk meg.

a) lépés: az oxigénatom részecskeszámának kiszámolása a periódusos rendszer (rendszám) segítségével:

$N(\text{oxigénatom}) = 12 \cdot 10^{23} : 8 = 1{,}5 \cdot 10^{23}$

b) lépés: az oxigénatom anyagmennyiségének kiszámolása:

$n(\text{oxigénatom}) = (1{,}5 \cdot 10^{23}) : (6 \cdot 10^{23}\ 1/\text{mol}) = 0{,}250\ \text{mol}$

c) lépés: az oxigénatom tömegének kiszámolása:

$m(\text{oxigénatom}) = 0{,}250\ \text{mol} \cdot 16{,}0\ \text{g/mol} = \underline{\underline{4{,}00\ \text{g}}}$

Összevontan: Egy lépésben közvetlenül a részecskeszintű (az elektronok száma) és a makroszintű (az atom tömege) mennyiségek között írunk fel összefüggést, aránypárral oldjuk meg a feladatot.

$8 \cdot 6 \cdot 10^{23}$ elektron van 16,0 g oxigénatomban van
$12 \cdot 10^{23}$ elektron van x g oxigénatomban van

x g = $\underline{\underline{4{,}00\ \text{g}}}$

Dimenzióanalízis: A feladatból ismert mennyiségek mérőszámaival és mértékegységeivel algebrai műveleteket végzünk *(Tóth, 2000)*.

x g oxigénatom = $12 \cdot 10^{23}$ elektron · [(1 mol elektron) / ($6 \cdot 10^{23}$ elektron)] · [(1,00 mol oxigénatom) / (8,00 mol elektron)] · [(16,0 g oxigénatom / (1,00 mol oxigénatom)] = $\underline{\underline{4{,}00\ \text{g}}}$ oxigénatom

LEGO®-elv: A módszer „építőelemek" és „alappanel" felhasználásával „nem bontja részlépésekre a számítások megoldásait, hanem az ismert kiindulási és keresett fizikai vagy kémiai mennyiségek feltérképezése után, egyszerű képletek segítségével juttat el a megoldásig." *(Molnár és Molnárné, 2006b, 9. oldal)*

Alappanel: $n(\text{ismert}) = \text{u} \cdot n(\text{keresett})$

a) lépés: az u érték meghatározása a periódusos rendszer alapján:

$\text{u} = Z_C = 8$ (a szénatomban lévő elektronok száma)

b) lépés: az ismert és a keresett adatok felírása:

ismert adatok:	keresett adatok:
$N(\text{elektron}) = 12 \cdot 10^{23}$	$m(\text{oxigénatom})$
$N_A = 6 \cdot 10^{23}\ 1/\text{mol}$	
$M(\text{oxigénatom}) = 16{,}0\ \text{g/mol}$	

c) lépés: a részecskeszámot és a tömeget tartalmazó anyagmennyiség-képletek, mint építőelemek használata:

n(ismert) = N(elektron) : N_A n(keresett) = m(oxigénatom) : M(oxigénatom)

d) lépés: az építőelemek illesztése az alappanelre:

n(elekron) : N_A = u · [m(oxigénatom) : M(oxigénatom)]

e) lépés: az adatok behelyettesítése és a keresett tömeg kiszámolása:

m(oxigénatom) = [N(elektron) : N_A] · [M(oxigénatom) : u]

m(oxigénatom) = $[(12 \cdot 10^{23}) : (6 \cdot 10^{23}\ 1/\text{mol})] \cdot (16{,}0\ \text{g/mol} : 8)$

m(oxigénatom) = $\underline{\underline{4{,}00\ \text{g}}}$

8.4. A tankönyvekben bemutatott megoldási módszerek

A makroszintű és részecskeszintű jellemzők elsajátítását igénylő témakörben különösen fontos az anyagszerkezet megismerése. Ennek megértéséhez a tanulóknak az elméleti tudás tanítása mellett szükségük van gyakorlatias példákra is. Ezt leginkább a tankönyvekben megjelenő kémiai számítási feladatok teszik lehetővé. Azonban egyetlen tankönyv (18. számú) mutat az összetett feladatra mintapéldát a lépésenként I. megoldási stratégiával. 2 tankönyv a lépésenként I. és az összevont stratégiát, 4 a lépésenként I., további 2 az összevont módszer leírására használ mintafeladatot *(24. függelék)*. Ezek mindegyikére jellemző, hogy az elemi részecske részecskeszámát már nem, csak az atom részecskeszámát kell kiszámolni a feladatban.

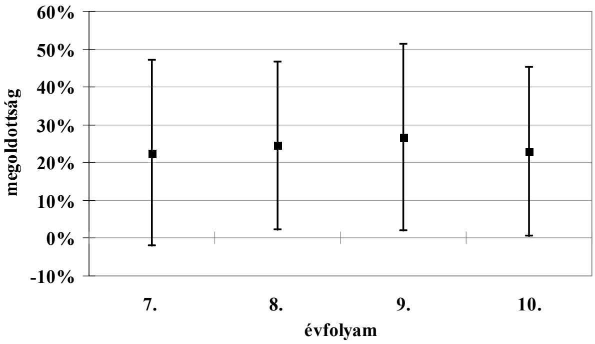
Fontosnak tartom megjegyezni, hogy már a 7. osztályos tankönyvek mindegyikében egyidejűleg bevezetésre kerül a három szint (makroszintű, részecskeszintű és szimbólumszintű) a kémia jellemző szimbólumrendszere, a vegyjel és a képlet esetén. A makroszintű és a részecskeszintű valamint a minőségi és a mennyiségi jelentését egyszerre tárgyalják a tankönyvek. Például a C vegyjel jelenti a szenet, mint elemet és annak atomját, a szénatomot, továbbá jelent 1 db szénatomot, 1 mol szenet, $6 \cdot 10^{23}$ db szénatomot és 12 g szenet *(Siposné és munkatársai, 2005)*.

8.5. A feladatok megoldásakor kapott válaszok statisztikai értékelése

8.5.1. A teljes feladatlap megoldása során elért tanulói teljesítmények értékelése

A feladatlap egészére jellemző megoldottságot tekintve a tanulók nagyon gyenge átlagteljesítményt ért el, amely minden évfolyamon csak 25% körül *(42. ábra és 25. függelék)*. A 8. és a 9. osztályban némi teljesítménynövekedés volt tapasztalható, de ez nem számottevő. Az évfolyamok között szignifikáns különbségeket nem mutattam ki. Az előző két témakörhöz hasonlóan a relatív szórás értékei itt is nagyok

(90,8-110%). A 8. osztályos tanulók feladatmegoldásban elért eredményessége itt is egységesebb, mint a többi évfolyamon tanulóké.



42. ábra: Az egyes évfolyamokra jellemző megoldottság a teljes felmérőlapon

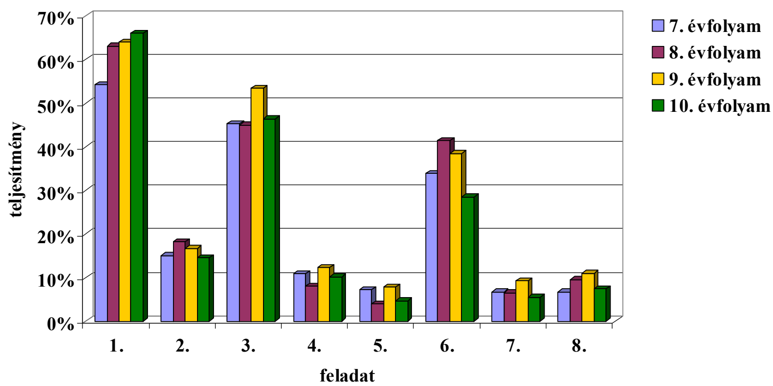
Az előző két feladatlap eredményeihez hasonlóan itt is szoros a kapcsolat az egyes feladatokban mutatott teljesítmény és a teljes feladatlap megoldottsága között, a korrelaciós együtthatók értékei: 0,561-0,727. *(26. függelék)*

Az adatok összesítéséből látható *(43. ábra és 27. függelék)*, hogy a tanulók számára a feladatok egyik csoportja (1., 3. és 6. feladat), amelyben csak az atommal kapcsolatos számítások szerepeltek, viszonylag könnyen kiszámolható volt. A másik csoportjának (2., 4., 5., 7. és 8. feladat) megoldása viszont nehézséget okozott. Itt már látni kellett az atom, mint kémiai részecske és az elektron, mint elemi részecske közötti kapcsolatot. A tanulók jó eredményt értek el azokban a feladatokban (1., 3. és 6. feladat), ahol csak az atommal kapcsolatos számítások jelentek meg. Sokkal jobb a teljesítmény ($p \leq 0,002$) az első csoportba tartozó példák esetén. Még azokban a feladatokban (3. és 6. feladat) is sikeresen dolgoztak – bár teljesítményük szignifikánsan csökkent ($p \leq 0,05$) – amelyekben már az átlépés is megtörtént a makroszintű (anyagmennyiség, tömeg) és részecskeszintű (részecskeszám) mennyiségek között. Nem meglepő, hogy legjobb volt a teljesítményük a tömeg, a moláris tömeg és anyagmennyiség kapcsolatának ismeretét igénylő 1. feladatban, amely az életkor növekedésével nő (7-9.: $p=0,022$; 7-10: $p=0,006$). A részecskeszám számolásában a 3. feladatban a kilencedikesek (8-9.: $p=0,050$), a 6. feladatban a nyolcadikosok bizonyultak jobbnak ($p=0,002$).

A feladatok másik csoportjában (2., 4., 5., 7. és 8. feladat) már az atomot alkotó egyik elemi részecske, az elektron is megjelent, amely nagyon megzavarta a tanulókat. Ráadásul az 5., a 7. és a 8. feladatban az elektronok számával való számolás még bonyolultabbá teszi, az amúgy is nehezen átlátható feladatot (az 5. és a 7. feladat közötti korrelációs érték: 0,581; szoros kapcsolatot mutat, *26. függelék*).

Egyszerre kell kapcsolatot teremteni a kémiai és elemi részecske, valamint a makroszintű és részecskeszintű mennyiségek között (atom tömege → elektron részecskeszáma). Ennek megfelelően szignifikánsan gyengébb a teljesítmény ezekben a feladatokban általában 10% alatti, több esetben szignifikánsan ($p \leq 0,05$), mint a 2. és a 4. feladatokban.. Közülük az összetett feladat (5. feladat) bizonyult a legnehezebbnek. Nem értek el sokkal jobb eredményt a diákok a 7. és a 8. feladatban sem. Csak a 8. évfolyamon volt szignifikánsan kimutatható teljesítménynövekedés a 7. feladat, valamint a 8. feladat esetén az 5. feladathoz viszonyítva (5-7.: $p=0,025$; 5-8.: $p=0,002$). A 10. évfolyamon tanulók itt is minden feladatban gyengébben teljesítettek fiatalabb társaikhoz képest. Ez abból adódhat, hogy míg a 7., a 8. és a 9. évfolyamon frissebb az ismeretanyag, a 10. évfolyamon a kémia teljesen más területével (szerves kémia) foglalkoztak a diákok és a megoldáshoz szükséges összefüggésekre már nem emlékeztek.

A feladatok megoldásának eredményéből arra lehet következtetni, hogy a tanulóknak nem vagy nem csak számolási nehézségeik voltak, hanem a fogalmak megértésével is akadtak problémáik.



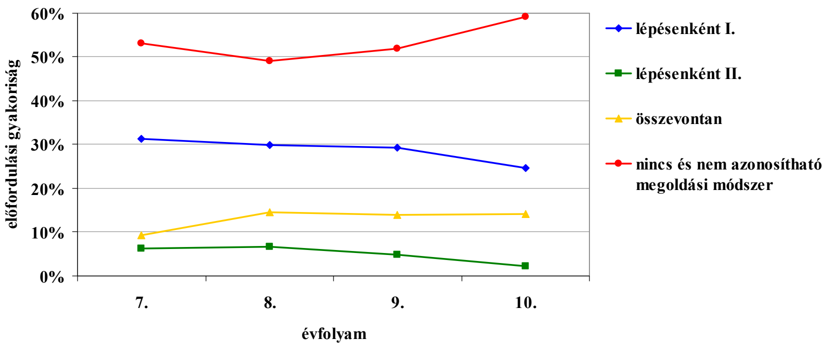
43. ábra: A tanulók egyes feladatokban elért átlagteljesítménye a különböző évfolyamokon

8.5.2. A megoldási módszerek gyakorisága és sikeressége

A feladatok megoldásakor kapott teljesítmények magyarázatára további válaszokat adott a tanulók által használt megoldási módszerek részletes vizsgálata. Az összetett, 5. feladat alapján képeztem a tanulókból csoportokat aszerint, hogy a feladat kiszámolására mely megoldási utat választották. Természetesen voltak olyanok is, akik nem oldották meg, vagy megoldásuk nem volt azonosítható.

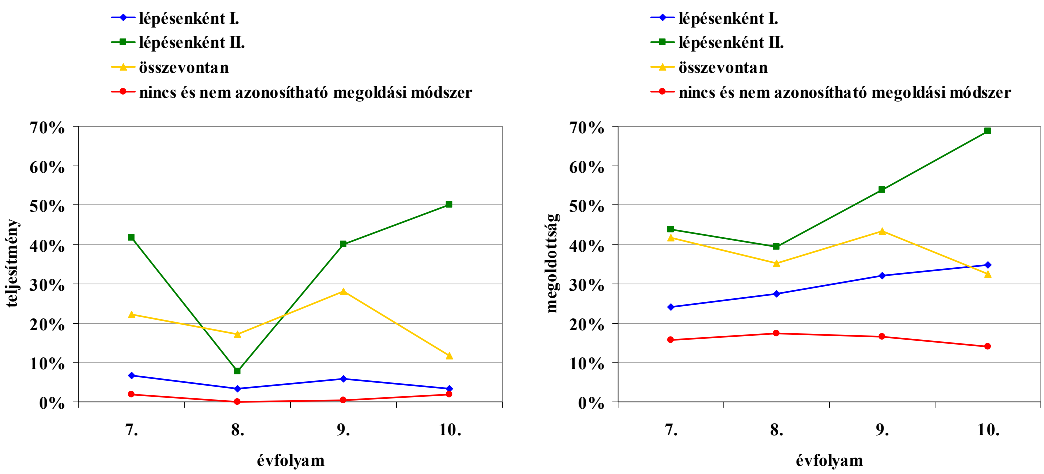
Az eredmények alapján elmondható, hogy a tanulók 46%-a használta a megoldási utak valamelyikét *(44. ábra és 28. függelék)*. A diákok a lépésenként I. módszerrel történő feladatmegoldást részesítették előnyben, ettől messze elmaradt a lépésenként

II. megoldási eljárás használata minden évfolyamon ($p \leq 0,05$) és az összevont megoldást is kevesebben választották ($p \leq 0,05$). Egyértelműen a mól fogalommal történő számolás (lépésenként I.) jellemző: a tanuló már rögtön az első lépésben az elektron részecskeszámából az elektron anyagmennyiségét számolja és ezzel szintet is vált: N(elektron) → n(elektron) → n(atom) → m(atom). A lépésenként II. megoldási módszert minden évfolyamon csak nagyon kevés tanuló választotta. Itt csak a számolás közben lépünk át az anyagmennyiségre, a makroszintű mennyiségre: N(elektron) → N(atom) → n(atom) → m(atom). A diagramon az is jól látható, hogy többen dolgoznak az összevont stratégiával is, amelyben a kulcslépés az egyenes arányosság felírása az elektron részecskeszáma valamint az atom tömege között. Így ez a feladat megértését leginkább igénylő stratégia. A LEGO®-elv használata itt is csak elvétve jelent meg. Így ezt a stratégiát választó tanulókat a LEGO®-elvre jellemző részlépések alapján a lépésenként II. megoldási eljárással alkalmazó diákokhoz soroltam.



44. ábra: A megoldási módszerek előfordulási gyakorisága évfolyamonként az összetett feladatban

Általánosan igaz, hogy minden évfolyamon a lépésenként történő feladatmegoldásokkal voltak sikeresek a tanulók *(45. a) ábra és 28. függelék)*. Ezek közül a lépésenként I. módszerrel történő feladatmegoldás a jellemző leginkább, az összetett feladatban mégsem ezzel érték el a legjobb eredményt. Sőt ebben teljesítettek a leggyengébben. Leghatékonyabban a lépésenként II. és az összevont megoldási stratégiával dolgoztak a diákok. Arra mindenképpen ki kell térni, hogy a várakozástól eltérően a tanulók sokkal eredményesebbek számoltak az összetett feladat megoldásakor a lépésenként II. megoldási módszerrel, mint a lépésenként I. megoldási stratégiával. Ez a nyolcadikosok kivételével minden évfolyamon szignifikánsan is kimutatható volt ($p \leq 0,004$). Ez utóbbi módszerhez viszonyítva az összevont megoldási eljárást használó diákok a 8. és a 9. osztályban érnek el kimutathatóan jobb eredményt ($p \leq 0{,}008$). A lépésenként I. megoldási stratégiában az összetett feladat kiszámolásának első lépése a mennyiségek közötti szintváltás (3. feladat: N(elektron) $\rightarrow$ n(elektron)). Azonban a továbbiakban elengedhetetlen annak megértése, hogy az atomot elektronok alkotják és ennek számszerű megállapításhoz a periódusos rendszer használatának ismerete szükséges (2. feladat: n(elektron) $\rightarrow$ n(atom). A lépésenként II. megoldási stratégia is igényli az elektronok és az atom mennyisége közötti kapcsolat ismeretét, de ebben az esetben részecskeszinten történik az átváltás (8. feladat: N(elektron) $\rightarrow$ N(atom)). Amennyiben ezt sikerül a tanulónak megoldania nagy valószínűséggel helyesen adja meg a feladat végeredményét. Ezek az eredmények tovább erősítik azt a feltételezésemet, hogy a makroszintű és a részecskeszintű mennyiségek (tömeg-anyagmennyiség, részecskeszám) és a két rendszer (atom-elektron) közötti kapcsolat megértésének hiánya miatt a tanuló több oldalról is akadályba ütközik a számítási feladat megoldásában.



a) b)

45. ábra: Az összetett feladatban megjelenő megoldási módszerek alapján elért teljesítmény az összetett feladatban (a) és a jellemző megoldottság a teljes feladatlapon (b) évfolyamonként

Említésre méltó, hogy a 10. évfolyamon a lépésenként II. megoldási módszerrel számoló tanulók értek el kiugróan jó eredményt a többi eljáráshoz viszonyítva ($p=0{,}000$), annak ellenére, hogy ebben osztályban választotta a legkevesebb tanuló ezt a megoldási utat. Továbbá meglepő, hogy egyik évfolyamon sincs szignifikáns különbség a lépésenként I. megoldási módszert alkalmazók teljesítményében a nincs és nem azonosítható megoldási eljárást használókhoz viszonyítva. A többi esetben minden osztályban az összetett feladat megoldására jól azonosítható megoldási stratégiát használók dolgoztak sikeresebben a nincs és nem azonosítható megoldási eljárást alkalmazókhoz képest ($p \leq 0{,}008$). Az évfolyamok között sem tudtam kimutatni egyik megoldási módszer esetén sem szignifikáns különbséget.

A teljes feladatlapra nézve *(45. b) ábra és 29. függelék)* a megoldási módszereket vizsgálva a 8. évfolyam kivételével szintén a lépésenként II. megoldási módszert alkalmazva a legeredményesebbek a tanulók ($p \leq 0{,}035$). A jól azonosítható megoldási stratégiát használó diákok szignifikánsan jobban teljesítettek a nincs és nem azonosítható megoldási eljárással dolgozó tanulókhoz képest ($p \leq 0{,}020$). Az egyes évfolyamok egymáshoz viszonyítva csak a lépésenként I. megoldási utat alkalmazók esetén tudtam kimutatni szignifikáns különbséget a 7. és a 10. évfolyam között ($p=0{,}019$).

8.6. A feladatok megoldásakor kapott válaszok szerkezeti elemzése

A statisztikai értékelés alapján a makroszint és részecskeszint közötti kapcsolatot igénylő feladatok megoldásakor több akadályba is ütköztek a tanulók. A felmerülő nehézségek értelmezéséhez nyújtanak segítséget a tanulócsoportokra jellemző tanulási utak és tudásszerkezetek.

8.6.1. A teljes feladatlap szerkezeti vizsgálata

A feladatok megoldásának sorrendjét a jellemző tanulási utak *(46. ábra)* is jól mutatják, amelyekben nincs lényegi különbség az egyes évfolyamok között. Az összetett feladat minden évfolyamon a tanulási út végén foglal helyet. A statisztikai eredményekkel megegyezően tanulási út elején ugyanazon anyagi rendszerrel (atom) kapcsolatos számítási feladatok vannak. Utána következnek azok a példák, amelyekben ugyanazon a szinten kétféle anyagi rendszer közötti átszámítás szükséges, végül a szintátváltást és az anyagi rendszer váltását is igénylő feladatok.

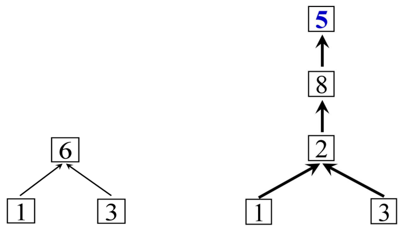
7. évfolyam	$1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow \mathbf{5}$ $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow \mathbf{5} \rightarrow 7 \rightarrow 8$
8. évfolyam	$1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow \mathbf{5}$ $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow \mathbf{5} \rightarrow 4$
9. évfolyam	$1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow \mathbf{5}$
10. évfolyam	$1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow \mathbf{5}$ $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 2 \rightarrow 8 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow \mathbf{5}$

46. ábra: Az egyes évfolyamokra jellemző tanulási utak a teljes felmérőlapon

A felmérőlapon 8 feladat szerepel, amely esetén a tanulói tudásállapotok kapcsolatát legjobban leíró tudásszerkezet felírása a kívánt pontossággal (illeszkedés>95%) nem lehetséges és a statisztikai elemzések is azt erősítik, hogy célszerű két csoportban vizsgálni a feladatok kapcsolatát. A tanulók számára a feladatok egyik csoportja (1., 3. és 6. feladat), amelyben csak az atommal kapcsolatos számítások szerepeltek, viszonylag könnyen kiszámolható volt és jó eredményességgel dolgoztak. A feladatok másik csoportjában (1., 2., 3., 5. és 8. feladat) szerepel az összetett feladat és ennek megoldásához szükséges egyszerű példák. Ebben a csoportban több feladatban (2., 5. és 8. feladat) látni kellett az atom, mint kémiai részecske és az elektron, mint elemi részecske közötti kapcsolatot. Ezek megoldása viszont nehézséget okozott. Így a jellemző tudásszerkezeteket már ezekre a feladatcsoportokra írtam fel külön-külön.

8.6.2. A két feladatcsoport szerkezeti vizsgálata a különböző évfolyamokon

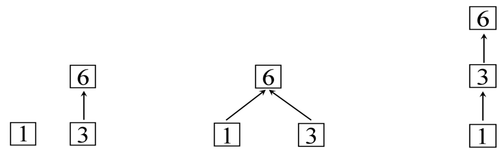
Mindkét csoport esetén az iskolában elsajátított ismeretek alapján megszerkeszthető a feladatok kapcsolatát leíró szakértői tudásszerkezet *(47. ábra)*.



47. ábra: A feladatok kapcsolatát leíró szakértői tudásszerkezetek a két feladatcsoport esetén

A szerkezeti elemzés során a legjellemzőbb tudásállapotok figyelembevételével a tudástérelmélet alkalmazásával felírtam az évfolyamokra jellemző tanulók tudásszerkezetét a két feladatcsoportra.

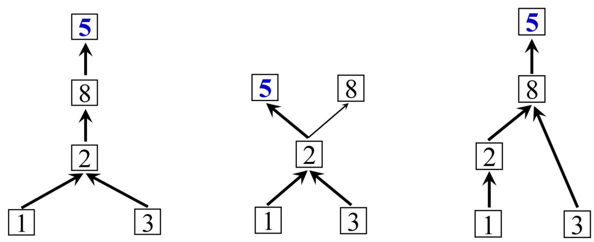
Először a három feladatot tartalmazó Hasse-diagramokat mutatom be *(48. ábra)*. Minden évfolyamra jellemző, hogy a 3. feladat megoldása nélkül nem tudták a tanulók a 6. feladatot kiszámolni. A 3. feladatban történik a két szint közötti átlépés, amely a meghatározó tudáselem. A szintátlépés (3. feladat), mint tudáselem, minden esetben előfeltétele az összetett feladat (6. feladat) sikeres megoldásának. A 7. évfolyamra jellemző tudásszerkezetre igaz, hogy a legkönnyebbnek számító, szintátlépést nem tartalmazó feladat (1. feladat) izolálódik. A hetedikes tanulók külön-külön meg tudták oldani a két részlépést, de a kettő összekapcsolása már gondot okozott. Egy részük valószínűleg még egyáltalán nem találkozott ilyen jellegű feladattal. A 9. évfolyamon egy másik szerkezet is megjelent. Itt az összetett feladat megoldásában ugyanolyan fontos szerepet tölt be mind a két feladat (1. és 3. feladat). Egyre kevésbé okozott problémát a két szint közötti átmenet. Tulajdonképpen ez a szakértői tudásszerkezet. A szakértő, a pedagógus így építené egymásra a feladatokat. A 10. évfolyamon szintén ez volt a jellemző. Az itt megjelenő másik szerkezet egyértelműen a feladatok egymásra épülését mutatja a tudáselemek nehézsége alapján. Nehézségi sorrendet látunk, amely egyben a jellemző tanulási út is. A feladatok sikerességének elemzése során azt tapasztaltam, hogy a szintátlépést igénylő feladat eredményességében szignifikáns különbség csak a 8. és a 9. osztály között volt, amely azt támasztja alá, hogy minden évfolyamon a szintátlépés okozott problémát, ez a meghatározó tudáselem.



7. évfolyam	$p<0,001$ >99,9%		
8. évfolyam	$p<0,003$ >99,7%		
9. évfolyam	$p<0,001$ >99,9%	$p<0,003$ >99,7%	
10. évfolyam	$p<0,001$ >99,9%	$p<0,001$ >99,9%	$p<0,01$ >99%

48. ábra: A különböző évfolyamok tudásszerkezetét legjobban leíró modellek a három feladatot tartalmazó feladatcsoport esetén

Az összetett feladat megoldásához öt egyszerűbb számolási feladatot (1., 2., 3., 5. és 8. feladat) kell helyesen kiszámolni. A szükséges tudáselemekre jellemző feladathierarchia felírható mindegyik évfolyam esetén *(49. ábra)*.



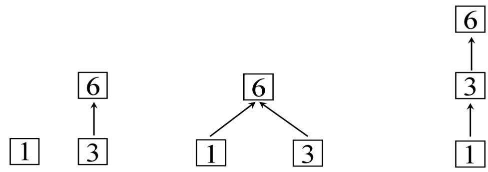
7. évfolyam	$p<0,002$ >99,8%	$p<0,002$ >99,8%	
8. évfolyam	$p<0,001$ >99,9%	$p<0,001$ >99,9%	$p<0,001$ >99,9%
9. évfolyam	$p<0,002$ >99,8%	$p<0,001$ >99,9%	
10. évfolyam	$p<0,001$ >99,9%	$p<0,001$ >99,9%	

49. ábra: A különböző évfolyamok tudásszerkezetét legjobban leíró modellek az öt feladatot tartalmazó feladatcsoport esetén

A tudástérelmélet segítségével kapott tudásszerkezetekben különbségeket nem tapasztaltam. A tudásszerkezetek alapja minden osztályban a makroszint és a részecskeszint közötti átlépés (3. feladat), ez a meghatározó tudáselem. A jellemző tudásstruktúrák tovább erősítik, hogy a kétféle anyagi rendszer közötti mozgás is nagy problémát jelent: 2. feladat: n(elektron) $\rightarrow$ n(atom); 8. feladat: N(elektron) $\rightarrow$ N(atom). Ezek a feladatok is beépülnek a Hasse-diagramokba.

8.6.3. A két feladatcsoport szerkezeti vizsgálata a megoldási módszer alapján

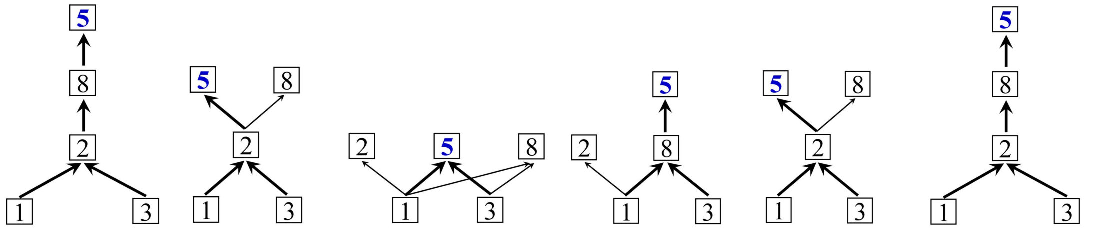
Az atommal kapcsolatos feladatok (1., 3. és 6. feladat) esetén a 6. feladatra jellemző megoldási utak alapján három csoport (lépésenként, összevontan, nincs és nem azonosítható megoldás) tudásszerkezetét vizsgáltam *(50. ábra)*. A megoldási utakra jellemző tudásszerkezetek esetén a következőket tapasztaltam. A tudásszerkezetek mindegyikéből egyértelműen látszik, hogy a szintátlépést tartalmazó feladat (3. feladat) nélkülözhetetlen az összetett feladat megoldásához. Az összevont megoldási utat használók második tudásszerkezetéből kitűnik, hogy mind a két feladat (1. és 3. feladat) egyformán szükséges az összetett feladat megoldásához. Ez a várakozásnak megfelelő. A nem azonosíthatók tudásszerkezetében az eddig felírtak mindegyike szerepel. Ez várható, hiszen ez a legheterogénebb csoport.



lépésenként	$p<0{,}02$ >98%		
összevontan	$p<0{,}001$ >99,9%	$p<0{,}01$ >99%	
nincs és nem azonosítható megoldási módszer	$p<0{,}001$ >99,9%	$p<0{,}001$ >99,9%	$p<0{,}01$ >99%

50. ábra: A különböző megoldási módszereket használó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek a három feladatot tartalmazó feladatcsoport esetén

Az öt feladatot tartalmazó feladatcsoport esetén *(51. ábra)* a különböző megoldási módszert alkalmazó tanulócsoportokra kapott tudásszerkezetek jól mutatják az adott megoldási stratégia sajátosságait. Az összetett feladat azokra az egyszerű feladatokra épül, amelyek a megoldási módszer részlépéseit fedik le. A lépésenként I. megoldási stratégiát használó tanulók tudásszerkezetében érthető módon kirekesztődik a részecskeszinten történő váltás az egyik anyagi rendszerről a másik anyagi rendszerre. A lépésenként II. megoldási módszerrel számoló diákok tudásszerkezetébe pedig egyáltalán nem épül be az anyagmennyiségek közötti átváltás, ugyanis ez nem szükséges az ilyen típusú feladatmegoldáshoz. Az összevont stratégiával dolgozó tanulók tudásszerkezete hasonló a lépésenként I. módszert használókéhoz. A nincs és nem azonosítható megoldási eljárást alkalmazó diákoknak minden feladatot meg kellett oldaniuk, hogy az összetett feladatot ki tudják számolni. Ebben a feladatcsoportban szintén mindegyik megoldási módszerre jellemző Hasse-diagramban a meghatározó tudáselem a makroszint és részecskeszint közötti átváltás.



p<0,001 >99,9% p<0,001 >99,9% p<0,002 >99,8% p<0,004 >99,6% p<0,008 >88,2% p<0,001 >99,9%

lépésenként I. **lépésenként II.** **összevontan** **nincs és nem azonosítható megoldási módszer**

51. ábra: A különböző megoldási módszereket használó tanulók tudásszerkezetét legjobban leíró modellek az öt feladatot tartalmazó feladatcsoport esetén

8.7. A feladatok megoldásakor kapott válaszok tartalmi elemzése

Az eddigi eredményekből úgy tűnik, hogy a diákok az összetett feladat kiszámolása közben több helyen is zsákutcába juthattak. Kíváncsi voltam, hogy a tanulók a megoldás során melyik lépésnél akadnak el. Ennek felderítésére kigyűjtöttem az összetett feladatban adott tanulói válaszokat. A feladatlapok tartalmi áttekintésekor nagyon sok típushibára lettem figyelmes, minden feladat esetén találtam, amelyet a *10. táblázat* tartalmaz.

10. táblázat: A feladatlap egyes feladataiban megjelenő típushibák a válaszadók körében

feladat	megjelenő típushiba	előfordulási gyakoriság a válaszadók körében (%)
1.	részecskeszám megadása végeredményként	11,2
2.	az elektron anyagmennyiségének megszorzása az Avogadro állandóval	10,5
	részecskeszám megadása végeredményként	12,5
	helytelen anyagmennyiség megadása (12,0 mol; 24,0 mol)	10,5
	nem megfelelő összefüggéssel való számolás (m, M, n)	22,6
	a végeredmény grammban történő megadása	21,7
3.	az atom anyagmennyiségének megszorzása a rendszámmal	10,4
	a végeredmény 4 atom	18,9
4.	a végeredmény 2,00 mol elektron	30,0
	a végeredmény $2 \cdot 6 \cdot 10^{23}$ részecske	12,7
	részecskeszám megadása végeredményként	17,2
5.	az elektron anyagmennyiségéből rögtön az atom tömegének kiszámolása (32,0 g) N(elektron) $\rightarrow$ n(elektron) $\rightarrow$ m(atom)	53,9

feladat	megjelenő típushiba	előfordulási gyakoriság a válaszadók körében (%)
6.	rossz részecskeszám megadása (0,5 atom, 2 atom, 3 atom, 4 atom, 6 atom, 72 atom)	17,1
7.	az elektron anyagmennyiségének kiszámolása (4,00 mol)	45,7
	az elektron anyagmennyiségéből az atom tömegének kiszámolása (64,0 g)	10,6
	rossz anyagmennyiség megadása (1,50 mol; 2,00 mol; 3,00 mol; 8,00 mol)	10,3
	a végeredmény grammban történő megadása	13,5
8.	az elektron anyagmennyiségének kiszámolása (5,33 mol)	26,3
	rossz részecskeszám megadása (2 atom, 4 atom)	10,3

8.8. Összefoglalás

A feladatlapok elemzése során az volt a célom, hogy jobban megismerjem a tanulók tudását az anyagi rendszerek leírásának két szintje, a makroszint és a részecskeszint közötti átlépést igénylő kémiai számítási feladatok megoldása során. Továbbá, hogy, megkeressem azokat a pontokat, amelyek akadályokat jelentenek a két szint összekapcsolásakor.

A feladatlap egészét tekintve a tanulók nagyon gyengén teljesítettek, a megoldottság a teljes populációban 25% volt. Az évfolyamok megoldottsági értéke között nem volt szignifikáns különbség. A legjobb teljesítményt a 9. osztályos tanulók nyújtották, viszont ez sem volt szignifikánsan jobb a többi évfolyamhoz képest.

A feladatok közül a tanulók azokkal boldogultak könnyebben, amelyekben csak a kémiai részecskével (atom) kapcsolatos számítások jelentek meg. Sokkal nehezebbek voltak számukra az elemi részecskét (elektron) is tartalmazó példák, ami a teljesítményben is szignifikáns csökkenést mutatott. A két feladatcsoportban a megoldás sikeressége szignifikánsan nem változott az egyes évfolyamokat összehasonlítva.

Az összetett feladat megoldásában a válaszadók 46%-a használta a megoldási utak valamelyikét. A tanulók többsége minden évfolyamon a lépésenként I. megoldási módszert részesítette előnyben, amely az ugyanazon rendszeren belül történő szintátlépéssel (elektron részecskeszáma $\rightarrow$ elektron anyagmennyisége) indul. Az összevont megoldási módszert és különösen a lépésenként II. megoldási stratégiát, amely egyik rendszerről (elektron részecskeszáma) a másik rendszerre (atom részecskeszáma) történő átlépéssel kezdődik, csak kevesen választották.

Az összetett feladatban és a teljes feladatlapon elért teljesítményt tekintve a tanulók – a 8. évfolyam kivételével – a kevésbé jellemző lépésenként II. megoldási stratégiával történő feladatmegoldásban kimutathatóan eredményesebbek, mint a lépésenként I. megoldási eljárással számolva. Minden osztályban az összetett feladat megoldására jól azonosítható megoldási stratégiát használó tanulók dolgoztak sikeresebben a nincs és nem azonosítható megoldási eljárást alkalmazó társaikhoz képest a feladatlap egészét tekintve.

A megoldási utak és a részlépések elemzése alapján kimutattam, hogy a legnagyobb problémát az egyik anyagi rendszerről a másik anyagi rendszerre (elektron $\rightarrow$ atom) való átlépés okozza.

A teljes feladatlapra vonatkozó jellemző tanulási utakban az évfolyamok között jelentős különbség nincs. A felírt tanulási utak is azt mutatják, hogy az egyik anyagi rendszerről a másik anyagi rendszerre (elektron $\rightarrow$ atom) történő átlépés nagyobb problémát jelent, mint a makroszint és részecskeszintű mennyiségek közötti átlépés. Különösen igaz ez, ha részecskeszinten (részecskeszám) valósul meg.

A tanulói tudásszerkezetek vizsgálata alapján az azonos anyagi rendszeren belül meghatározó, nehézséget okozó tudáselem a makro- és a részecskeszint közötti átlépést igénylő számítási feladat. Ez a váltási nehézség az évfolyam előrehaladtával csökken.

Különbség volt megfigyelhető a megoldási módszerek alapján képzett tanulócsoportok jellemző tudásszerkezetében. A lépésenként I. megoldási módszerrel számoló diákok tudásszerkezetében a makroszint és a részecskeszint közötti szintátlépés, mint tudáselem előfeltétele az összetett feladat sikeres feladatmegoldásának. A lépésenként II. megoldási módszerrel dolgozó tanulók tudásszerkezetében a részecskeszintről a makroszintre történő átszámítás nem előfeltétele az összetett feladat megoldásának, mivel ebben az esetben az egyik rendszerről a másik rendszerre történő átmenet részecskeszinten történik. Az összevont megoldási eljárást alkalmazó tanulók csoportjában az összetett feladat helyes eredményének megadása nem igényli a részecskeszinten történő átszámításokat. A nem azonosítható megoldási módszert használó diákok tudásszerkezetében a szigorú egymásra épülés jellemző, az összetett feladat megoldása minden tudáselemre épül. A megoldási módszerekre jellemző tudásszerkezetek mindegyikéből szintén látszik, hogy a szintátlépést tartalmazó feladat nélkülözhetetlen az összetett feladat megoldásához.

A feladatok megoldása során nagyon sok rossz választ született, mert tanulók közül többen megrekedtek az elektronok szintjén és nem tudtak szintet váltani az elektron és az atom között. E mellett a kérdések helytelen értelmezése miatt a diákok gyakran összekeverték a tömeg, a részecskeszám és az anyagmennyiség fogalmát is.

A kapott eredmények alátámasztják, hogy a tanulóknak legalább annyi nehézséget okoz az egyik anyagi rendszerről a másik anyagi rendszerre történő átlépés, mint a makroszintű és részecskeszintű mennyiségek közötti szintváltás.

IV. ÖSSZEGZÉS ÉS JAVASLAT EZ EREDMÉNYEK ALKALMAZÁSÁRA

A dolgozatban általános iskolás és középiskolás tanulók körében készített három vizsgálat eredményeit mutattam be. Célom az volt, hogy átfogó képet kapjak a kémiai feladatmegoldásban legtöbbször megjelenő sztöchiometriai számítási feladatok megoldásában elért eredményekről. Igyekeztem magyarázatot keresni a reakcióegyenlettel, a kémiai képlettel és az atommal kapcsolatos számítási feladatokban tapasztalt teljesítmények okaira, bízva abban, hogy ez által hasznos információkkal szolgálok a tanítási-tanulási folyamat megértéséhez és eredményesebbé tételéhez.

1. Eredmények és következtetések

A kutatás során kapott eredmények a következőkben foglalhatóak össze:

- A ***reakcióegyenlettel és a vegyületek összetételével kapcsolatos feladatlapok megoldottsága*** a vizsgált populációt tekintve 41-42%, ami egy gyenge-közepes eredmény. Különösen lehangoló ***a teljesítmény a makroszintű és részecskeszintű mennyiségek közötti kapcsolatot vizsgálva***, ebben a témakörben csak 25% körüli a tanulók átlagteljesítménye. Általánosan elmondható, hogy sajnos az életkor növekedésével sem nőtt kimutathatóan a diákok teljesítménye. A teljes feladatlapokon a legjobb eredményt többnyire a 8. évfolyamos tanulók – ***a makroszintű és részecskeszintű átlépést mérő feladatlap*** esetében a 9. osztályos tanulók – érték el. Egyedül ***a vegyületek összetételének számításával kapcsolatos feladatlapon*** mutatnak szignifikánsan jobb teljesítményt a 8. osztályos tanulók a 7. osztályos társaikhoz képest. Más esetekben az évfolyamok közötti különbségek nem bizonyultak szignifikánsnak. Az iskolai – kémiai – tanulmányok előrehaladása nem fejleszti a kémiai számítások sikeres megoldásához szükséges képességeket és készségeket. A kapott nagy relatív szórások (64,5-110%) azt mutatják, hogy a vizsgált tanulócsoportok a feladatmegoldásban nagyon heterogének. A 8. évfolyamokon a legkisebb a relatív szórás, ami arra utal, hogy a 8. osztályos tanulók feladatmegoldásban elért eredményessége viszonylag egységesebb, mint a többi évfolyamon tanuló diákoké.
- A feladatok közül a kémiai ismeretet igénylő számítási feladatok megoldásában gyengébben (4-51%) teljesítettek a tanulók, mint a kémiai tudás nélkül elvégezhető

számítási feladatok megoldásakor (49-68%). Kivételt csak a moláris tömeg, a tömeg és az anyagmennyiség kapcsolatának meglátását jelentő feladat képez, amely a legjobban begyakorolt, mechanikusan rögzült számítás (37-70%). ***A vegyületek összetételének számításával kapcsolatos feladatlapon szereplő*** két összetett feladatot könnyebben oldották meg a diákok, ami teljesítményben (47% és 39%) megelőzi több egyszerűbb feladat eredményességét is. Az azonos típusú feladatok esetében a könnyebben kiszámolható példák megoldásában teljesítettek szignifikánsan jobban a tanulók. ***A makroszintű és részecskeszintű mennyiségek közötti kapcsolatot vizsgáló feladatlapon*** szereplő feladatok közül a tanulók azokkal boldogultak könnyebben (29-66%), amelyekben csak a kémiai részecskével (atom) kapcsolatos számítások jelentek meg. Sokkal nehezebbek voltak számukra az elemi részecskét (elektron) is tartalmazó példák, ami a teljesítményben (4-18%) is szignifikáns csökkenést mutatott. A részlépések elemzése alapján **a *makroszintű és részecskeszintű mennyiségek kapcsolatát*** vizsgálva kimutattam, hogy a legnagyobb problémát az egyik anyagi rendszerről a másik anyagi rendszerre (elektron $\rightarrow$ atom) való átlépés okozza, különösen, ha ez részecskeszinten (részecskeszám) történik.

A feladatok megértésének sorrendje a tudástérelmélet alapján felírt jellemző tanulási utakban is jól nyomon követhető volt és lényeges változás nem történt az életkor előrehaladtával.

▪ A tanulók a várakozásnak megfelelően a tankönyvekben bemutatott megoldási módszerekkel dolgoztak az összetett feladatok megoldásakor, bár a diákok csak kisebb része választotta: ***a reakcióegyenlettel történő számoláshoz*** 29%, ***a vegyületek összetételének megadásához*** 38%, a ***makroszintű és részecskeszintű mennyiségek közötti kapcsolat teremtéséhez*** 46%. Saját megoldási eljárást egyáltalán nem alkalmaztak. Általánosan elmondható, hogy az életkor növekedésével stratégiaváltás nem történt. Az adott megoldási módszer során elért eredményeket tekintve az egyes feladatlapokon szignifikáns különbség nem volt kimutatható az évfolyamok teljesítménye között. Mindhárom feladatlapon, minden évfolyamon az összetett feladatok megoldására jól azonosítható megoldási stratégiát használó tanulók dolgoztak sikeresebbek a nincs és nem azonosítható megoldási eljárást alkalmazó társaikhoz képest a feladatlap egészét tekintve és az összetett feladatra nézve egyaránt.

▪ Az összetett feladatot sikeresen megoldók szignifikánsan jobb eredményt értek el a teljes feladatlapon, mint helytelenül számoló társaik. A részfeladatok sikeres megoldása tehát nem garancia a többlépéses feladatok sikeres megoldására.

▪ ***A reakcióegyenlet alapján történő számolást tartalmazó feladatlapon*** szereplő egyszerű feladatok megoldásához a képlettel történő számolási technikát részesítették előnyben a tanulók a következtetéssel történő feladatmegoldáshoz képest. A számolási technikákat összehasonlítva mégis a következetéssel dolgozók értek el jobb eredményt. A képlettel történő számításhoz a tanulónak elég egyetlen alapösszefüggést ismernie a képletben szereplő bármelyik mennyiség megadásához, azonban számolásnak több buktatója is lehetett. A képlettel alkalmazásakor egyrészt a tanulók az adatok kigyűjtésekor nem biztos, hogy a kémiai mennyiségeket a megfelelő kémiai jelekre alakították át. Másrészt a matematikai műveletek elvégzése gondot okozhatott. Harmadsorban az értelmes tanulás helyett a magolással rögzült képletekre nem biztos, hogy helyesen emlékeztek a tanulók. Negyedrészt a lépések kellő tudatosítása, rögzítése nélkül a gyengébb előmenetelű tanulók nem tudták eredményesen használni a képleteket a feladatok megoldásában. A feladatok következtetéssel történő megoldásához a képlet mechanikus megtanulása helyett a kémiai mennyiségek olyan értelmezésére volt szükség, amely tudatosítja a tanulóban, hogy mekkora az egységnyi mennyiség. A tanulónak kell összehasonlítania az egységnyi mennyiséget a megadott mennyiségekkel, újra kell értelmeznie a kiindulásul szolgáló mennyiségeket, ha ez sikeresen megtörtént a feladat megoldása helyes volt.

▪ A tudásszerkezet vizsgálatokat elvégezve megállapítható ***minden feladatlapnál***, hogy a többféle szempont alapján kialakított tanulócsoportok jellemző tudásszerkezetében eltérőek. A tudásszerkezetek között különbségek abból adódhatnak, hogy a tanulók nem egyforma előzetes tudással rendelkeznek, így másképp is oldják meg az összetett feladatot.

▪ ***A reakcióegyenlet segítségével történő számolás és a vegyületek összetételének meghatározása során*** az egyes évfolyamon tanuló – különösen 8-10. évfolyamon – és a különböző, jól azonosítható megoldási stratégiát alkalmazó diákok csoportjára jellemző tudásstruktúrák nagyon jól mutatják, hogy a tanulók az összetett feladat megoldása során nem aktiválták a témakörrel kapcsolatos valamennyi ismereteiket. Másrészt a diákok tanult, mechanikusan begyakorolt feladatmegoldó stratégiával rendelkeznek és feladatmegoldásuk nem a megértés alapján történt, mint azt már más tanulmányokban (*Nurrenberg és Pickering 1987, Nakhleh 1993, Nakhleh és Mitchell 1993, Cracoline és munkatársai 2008*) is kimutatták. Eredményeim, a felírt tudásszerkezetekkel szintén alátámasztják és kiegészítik a korábbi megállapítást.

A reakcióegyenletet alkalmazásának megértését mérő feladatlap esetén a 7. osztályos diákok és a nincs és nem azonosítható megoldási módszerrel dolgozó tanulócsoportok esetén minden feladat előfeltétele az összetett feladat sikeres megoldásának. A Hasse-diagramok hasonlítanak a szakértői tudásszerkezetekhez. A tudáselemek között erős kapcsolat van, de ennek ellenére a tanulók sikertelenek a feladatmegoldásban. Mindez elsősorban arra enged következtetni, hogy a tanulók nem rendelkeznek a feladat megoldásához szükséges ismeretekkel. Másodsorban az is lehetséges, hogy birtokában vannak a témakörhöz tartozó elméleti ismereteknek, de ezek nem kapcsolódnak össze, a diákok gondolkodásmódjában még nem alakult ki egységes asszociációs rendszer az egyszerű feladatok megoldásához szükséges tudáselemek között. Ennek szükségességére már *Lee és munkatársai (2001)* is felhívták a figyelmet. Az összetett feladatban jól teljesítő tanulók a tudáselemeket már készségszinten alkalmazzák, amelyek a tanulók tudásában egy jól működő, összefüggő struktúrát képeznek.

A reakcióegyenlettel kapcsolatos számítási feladatban a különböző tanulócsoportok tudásszerkezetében fellelhető, hogy a memorizálási technikával tanult ismeretek részben elkülönült tudásrészeket képeztek. Ezek összekapcsolódása nem mindig történt meg a tanulók kognitív struktúrájában. Ezt nagyon jól erősíti, hogy a korábban már kimutatott kapcsolat a moláris tömeg és a moláris térfogat között *(Tóth 2006, 2007)* itt is megjelenik minden tudásszerkezetben.

A reakcióegyenleten alapuló számítási feladatban különbség van az összetett feladatot jól megoldó diákok és az azt megoldani nem tudó tanulók tudásszerkezetében is. A sikertelenül teljesítő tanulók esetén az összetett feladat sikeres megoldásának előfeltétele valamennyi egyszerű feladat megoldásának ismerete. Itt az egyszerű feladatok megoldásához szükséges tudáselemek még nem képeznek egységes asszociációs rendszert, míg az összetett feladatot jól megoldók esetében ezek a tudáselemek már készségszinten működnek és a tanulók tudásában egy jól működő, összefüggő struktúrát alkotnak.

- ***A vegyületek összetételének számításával kapcsolatos feladatsor esetén*** a várakozástól eltérően, hasonlóan ez előző feladatlap esetén az összetett feladatok nem a hierarchia csúcsán helyezkednek el. Viszont itt be sem épülnek a tudásszerkezetbe, ha mégis, akkor is az egyenes arányossággal kapcsolatos tudáselemhez kapcsolódnak. Azonban a mól fogalmának megértésével nagy gondjaik vannak a tanulóknak, amit már más tanulmányban is kimutattak *(Kiss és Tóth, 2006)*. Azok a feladatok, ahol feltétlenül anyagmennyiséggel kell számolni, a tudásszerkezetben gyakorlatilag elkülönülnek. A vegyületet alkotó atom anyagmennyiségének kiszámítása jelenti a legnehezebb feladatot, ez helyezkedik el a feladathierarchia csúcsán. Ez nagy valószínűséggel arra vezethető vissza a kémia részecskék ismeretében alapvető hiányosságai vannak a tanulóknak, nem tudjk, hogy a vegyületet atomok alkotják.

A Hasse-diagramok nem mutattak stratégiaváltást az életkor növekedésével, a magyar tanulók a külföldi diákokkal ellentétben (*Schmidt, 1997; Schmidt és Jignéus, 2003*) ragaszkodtak az iskolában tanult megoldási módszerekhez.

A kezdők és a haladók tudásszerkezetében meglepő módon nem tapasztaltam különbséget az előző feladatlappal ellentétben.

▪ Legnagyobb tanulsággal talán a ***makroszintű és részecskeszintű mennyiségek közötti kapcsolatot vizsgáló felmérés*** szolgált. Elemzése során bebizonyosodott, hogy az atomszerkezet a valóságtól, a mindennapi élettől meglehetősen távolinak tűnő terület a tanulók számára. A diákok nem érzékelik a különbséget a kémiai részecske és az elemi részecskék között.

Az atommal, mint kémiai részecskével kapcsolatos feladatokat könnyebben megoldották a tanulók, de az atomot felépítő elemi részecskét, elektront is tartalmazó példákban már sikertelenül próbálkoztak. A tanulók mindkét feladattípusnál a makroszintű és részecskeszintű mennyiségek közötti szintátlépést nem igénylő feladat megoldásában sikeresebbek. A szintátlépést igénylő feladat megoldásának eredményessége alig változik az egyes évfolyamokat összehasonlítva. Sajnos a vizsgált tankönyvek semmilyen alternatívát nem kínálnak az ilyen típusú feladatokra, amely nagyban hozzájárult az elkeserítő eredményhez. Elgondolkodtató, hogy a tanulók közel fele – ebben a témakörben a legtöbben – választott valamilyen megoldási eljárást az összetett feladat megoldásának sikeressége mégis nagyon gyenge: 4-7,8%.

A tudástérelmélet segítségével az egyes évfolyamokra és megoldási módszerekre kapott feladathierarchiák csúcsán foglal helyet az összetett feladat, a tudáselemek szigorú egymásra épülése jellemző. A Hasse-diagramok alapja a makroszintű és részecskeszintű mennyiségek közötti kapcsolatteremtést tartalmazó feladat. A tudásszerkezet-vizsgálatok igazolták azt a várakozásomat, hogy a szintátlépés, mint tudáselem, minden esetben előfeltétele a sikeres feladatmegoldásnak. Kutatásom során sikerült kimutatni, hogy a meghatározó, nehézséget okozó tudáselem a makroszintű és a részecskeszintű átlépést igénylő számítási feladat.

A makroszintű és részecskeszintű mennyiségekkel való számolás mellett legalább annyi problémát jelentett a kétféle anyagi rendszer közötti mozgás, különösen akkor, ha ez részecskeszinten történt. A makroszint és részecskeszint minőségi és mennyiségi jellemzőinek megértése is nagy gondot okoz, amelyhez nagyban hozzájárul, hogy a vegyjel tanításakor egyszerre kerülnek bevezetésre.

- ***Mindegyik feladatlap esetén*** igaz, hogy a tanulók egyes csoportjának gondot okozott a kémiai számításokhoz szükséges fogalmak értelmezése. Az alapvető összefüggések, képletek valószínűleg mechanikusan rögzültek, fogalmi megértés nem társult hozzájuk, így azokat nem tudták kellő biztonsággal használni, ez már korábban is kimutatott tévképzetek kialakulásához vezetett (*Tóth, 2005; 2006; 2007*). Ez a válaszadók körében 10-23%-ot jelentett.

- A ***három feladatlap*** tartalmi elemzésekor több tévképzet kialakulására illetve meglétére lettem figyelmes. Részben a kémiai tudás hiányából, részben a szövegértésből adódó hibák miatt a tanulók sokszor nem helyesen értelmezték a kérdéseket. Nem mindegyik diák értette meg a moláris tömeg, a moláris térfogat és a részecskeszám jelentését, valamint az anyagmennyiség fogalmának tisztázatlanságából adódóan összekeverték az anyag mennyisége és az anyagmennyiség kifejezéseket.

A reakcióegyenlet segítségével történő számítás során sok tanuló, a válaszadók 18%-a hibázott a feladatmegoldás során, mert nem tudták helyesen értelmezni a reakcióegyenletet.

A vegyületek összetételének számításakor a tanulók egy része nem tudta elkülöníteni az anyagokat felépítő kémiai részecskéket, összekeverték az atom, az elemmolekula és a vegyületmolekula fogalmát.

A makroszintű és részecskeszintű mennyiségek közötti kapcsolatot vizsgáló feladatlap eredményei tovább erősítik, hogy a tanulóknak nagyon sok problémát jelent a kémiai részecskék csoportosítása. E mellett annak felismerése is, hogy milyen kapcsolat van a kémiai részecskék és az azt alkotó elemi részecskék között, és hogy ezek nem egyenrangúak.

A három feladatlap megoldása során kapott eredmények több oldalról történő elemzése kapcsán elért eredmények sok tanulsággal szolgáltak. Legfontosabbnak azt tekintem, hogy igazolást nyert azon hipotézisem, hogy a tanulók által alkalmazott feladatmegoldó módszerek és a tudásszerkezetük között kapcsolat van, valamint a különböző megoldási stratégiát használó tanulók jellemző tudásszerkezete különbözik. A kutatás során bebizonyosodott, hogy a kémiai számítási feladatok megoldása nagyon sok problémát jelent a diákok számára, azonban ez arra is rávilágított, hogy a tanulóknak alapvető fogalmi hiányosságaik is vannak.

2. Az eredmények alkalmazásának lehetőségei, az értekezés jelentősége

A kutatás alatt elsősorban arra törekedtem, hogy a sztöchiometriai számítási feladatok három területén olyan fontos információkat nyerjek, amelyeket hasznosítva ***hatékonyabb tanítási-tanulási folyamat valósítható meg*** különös tekintettel az általános és középiskolai kémiaoktatás során. Munkámmal mindenekelőtt szeretnék segítséget nyújtani a pedagógusoknak a hatékonyabb oktatáshoz valamint a tanulóknak az eredményesebb tanuláshoz. A három témakörben kapott eredmények alátámasztják, hogy a megoldási módszerek alkalmazása előtt feltétlenül szükséges ismernünk a tanulók által alkalmazott és a pedagógusok által tanított megoldási stratégiákat az adott témakörben. Kizárólag ezek tudatában tervezhetjük oktatási tevékenységünket. A szerkezeti vizsgálatokhoz a tudástérelméletet alkalmazva bebizonyosodott, hogy a tudástérelmélet alkalmas a tudásszerkezetben mutatkozó különbségek vizsgálatára, illetve kimutatására. Segítségével értékes információkat nyerhetünk a különböző tanulócsoportok aktuális tudásáról. Többek között az összefüggések helyes ismeretéről és fogalmak jelentésének megértéséről. A tudásszerkezet-vizsgálatok legfontosabb előnyét abban látom, hogy a felírt tanulási utak és jellemző feladathierarchiák segítségével megválaszthatjuk az ismeretek tanításának sorrendjét, így optimalizálhatjuk a tanítási folyamatot. Amennyiben ezeket sikerül megvalósítani a tanulók a képességeikhez igazítva sajátíthatják el az ismeretanyagot, ezáltal nagyobb sikerélményük lesz a kémiai számítási feladatok megoldásában. A tudásszerkezet és a megoldási stratégia kapcsolatának részletes vizsgálata hozzájárulhat a tanulók problémamegoldással kapcsolatos általános ismereteinek fejlődéséhez is.

A kutatás tapasztalataira építve ***új tanári segédanyagok kidolgozása válik lehetővé***. A feladatlapok tartalmi elemzése során egyértelműen az derült ki, hogy a tanulók az iskolában már tanult megoldási módszereket részesítik előnyben és más stratégiával jellemzően nem próbálkoznak. Azt gondolom, hogy ezt mindenképpen pótolni kell, mert párhuzamos feladatmegoldó módszerek tanításának pontosan az a célja, hogy a tanulókban kifejlesszük azt a gondolkodási képességet, hogy mindig a feladat jellegének megfelelő megoldási módszert használják. A tanulók a tanult megoldási stratégiákat algoritmusként használták még akkor is, ha azok mechanikusan rögzültek a gondolkodásmódjukban és fogalmi megértés nem társult hozzájuk, így ez által azt nem tudták kellő biztonsággal alkalmazni. Ebből adódóan nem elég csak megtanítani a megoldási módszereket, mert a tapasztalatok alapján, a kémiai számítási feladatok megoldása sajnos ennél összetettebb feladat. Meg kell keresni, el kell távolítani valamint be kell tölteni azokat a hézagokat és szakadékokat, amelyek a sikertelen feladatmegoldáshoz vezetnek. A kémiai számítási feladatok megoldáshoz szükséges összefüggések és kémiai fogalmak mélyebb, pontos megértésére kell törekedni, amelyben segíthet olyan feladatok elkészítése, amelyekkel ezt ellenőrizni tudjuk. Szólni kell a tankönyvek hibáiról is, hiszen csak a megoldási módszerek töredéke jelenik meg bennük, vagy egyes témaköröknél egyáltalán nem mutatnak be a tankönyvírók semmilyen megoldási eljárást.

Kapott eredményeim a tanárképzésben is hasznosíthatók. ***Eredményeim közvetlenül beépíthetők a kémia szakos tanárjelölt hallgatók szakmódszertani képzésébe***, valamint ***a kémia szakos egyetemi hallgatók alapképzésébe is***. Az eredmények alapján lehetővé válik a kémiai számítások tanításának olyan módszertani megújítása, amely hangsúlyozottabban épít a tanulók előzetes tudására, az ismert megoldási módszerekre. Fontos, hogy felhívjuk a tanárjelöltek figyelmét a feladatmegoldás során fellépő kritikus pontokra, buktatókra, amelyek típushibaként megjelentek a feladatlapok elemzése során, mert ezeket a pedagógusnak korrigálnia kell.

Végül munkám további kutatási irányokat is felvet, leginkább ***a kémiai számítási feladatok más témaköreinek részletes vizsgálatára nyújthat példát.*** A kapott tapasztalatok alapján a jövőben is lehetne hasonló típusú vizsgálatokat végezni. Későbbiekben a kutatást érdemes lenne kiterjeszteni más jellegű, a tanulóknak szintén nehézséget okozó feladattípusokra is. Úgy gondolom, sokkal több módszertani kutatásra lenne szükség a kémia tantárgyban meglévő problémák tisztázására, mert sajnos az utóbbi évek kutatási eredményei sem biztatóak *(Tóth és Radnóti, 2009; Radnóti, 2010a, 2010b, 2010c; Tóth, 2010a, 2010b)*.

Bízom benne, hogy munkámmal, ha csak kis részben is, de segítséget nyújtottam a kémiai számítási feladatok sikertelenségének megértéséhez és hozzájárulhatok eredményesebb tanításához.

V. SUMMARY

In this work, I presented the results of three surveys carried out among elementary and secondary school students. My aim was to get an overall picture of the results achieved in solving stoichiometric calculations the most frequently occurring in chemical problem solving. I tried to find the reasons for performances in calculations with chemical equations, chemical formulas and atoms and I hoped to provide useful information in order to understand the processes of teaching and learning and to make them more efficient.

1. Results and conclusions

The results of the study may be summarized as follows:

- The success rate of ***worksheets related to chemical equations and the composition of chemical compounds*** is 41-42% regarding the examined population, which is a weak-modest result. ***The performance rate regarding the connection between amounts at the macro and the sub-microscopic levels*** is rather distressing: in this topic area, the average performance of the students is only about 25%. We can say in general that unfortunately the performance of the students did not demonstrably increase with age either. In the entire worksheets, the best results were mostly achieved by 8th graders – and by 9th graders in the case of ***the worksheet testing the shift between the macro and the sub-microscopic levels***. 8th graders only show a significantly better performance ***in the worksheet with calculating the composition of chemical compounds*** compared to 7th graders. In the other cases, the differences between the grades did not prove to be significant. Advancement in school (chemistry) studies does not develop abilities and skills necessary for successfully solving chemical calculation tasks. Large variation coefficients (64.5-110%) indicate that the examined groups of students are very heterogeneous in problem solving. Variation coefficient is the smallest in the 8th grade, which refers to the fact that the efficiency of 8th graders in problem solving is relatively more homogeneous than that of the students of the other grades.

- Within the problems, the students performed more weakly (4-51%) in solving calculation tasks requiring chemical knowledge than in solving calculation tasks not requiring any chemical knowledge (49-68%). The only exception was the task based on the connection between molar mass, mass and amount, which is the most frequently practiced and mechanically learned calculation task (37-70%). The students solved the two complex problems ***in the worksheet with calculation of the composition of chemical compounds*** more easily, which also outnumbers the efficiency of several simpler problems in performance (47% and 39%). In the case of the same types of problems, students performed significantly better in solving problems easier to calculate. Among the problems ***in the worksheet testing the relationship between amounts at the macro and the sub-microscopic levels***, the students coped more easily (29-66%) with problems where only calculations related to chemical particles (atoms) were present. Problems also containing elementary particles (electrons) were much more difficult for them, which showed a significant decrease even in performance (4-18%). Analyzing the partial steps regarding ***the connection between amounts at the macro and the sub-microscopic levels*** I pointed out that the greatest problem is caused by the shifting from one material system (electron $\rightarrow$ atom) to another material system, especially if it happens at the sub-microscopic level (particle number).

The order of understanding the problems was also well traceable in the characteristic learning pathways described above by the knowledge space theory and there was no significant change with age.

▪ When solving the complex problems, the students worked with solving methods presented in the course books as expected. Although only a small parts of the students chose them: 29% ***for calculating with a chemical equation***, 38% ***for the composition of chemical compounds***, 46% ***for creating a connection between amounts at the macro and the sub-microscopic levels***. They did not apply any individual solving procedures at all. We can generally say that there was no strategy change with the growth of age. Regarding the results of the solving methods, there were no significant differences in the performances of the grades in the worksheets. In all the three worksheets and in every grade, students using a well identifiable solving strategy for complex problems worked more successfully compared to students using a non-identified solving procedure considering both the entire worksheet and the complex problem.

▪ Those successfully solving the complex problem achieved a significantly better result in the entire worksheet than those calculating incorrectly. Consequently, success in solving partial problems does not guarantee a success in solving multiple-step problems.

▪ For solving simple problems ***in the worksheet containing calculation with a chemical equation,*** the students preferred the calculation technique with a chemical formula to solving a problem with induction. Comparing the calculation techniques, yet those using induction achieved a better result. In the case of calculation with a formula, it is enough for the student to know a single basic correspondence to give any amount in the formula, although calculation might have several pitfalls. On the one hand, when using a chemical formula, the students were not sure to convert the amounts to the appropriate chemical symbols in data collection. On the other hand, performing mathematical operations may have caused a problem. Third, the students were not sure to remember formulas memorized by rote learning instead of meaningful learning correctly. Fourth, without integrating and making the steps adequately conscious weaker students could not use the formulas in problem solving efficiently. To solve problems with induction, instead of mechanically learning a formula, there was a need for such an interpretation of chemical amounts that makes a student aware of what a unit of amount is. Students must compare a unit of amount with the amounts given in the problem and re-interpret amounts serving as a starting point. If this happened successfully, the problem solving was also correct.

▪ After analyzing knowledge structures, it may be established in connection with ***every worksheet*** that student groups selected by several criteria differ in their characteristic knowledge structures. Differences in knowledge structures derive from the fact that students do not possess identical prior knowledge thus they solve complex problems in a different manner.

▪ ***In calculating with a chemical equation and defining the composition of chemical compounds,*** the knowledge structures characteristic of students of different grades (especially in the 8th to 10th grade) and the student group using well identifiable solving strategies indicate very well that the students did not activate all their knowledge related to the topic area in solving a complex problem. On the other hand, students possess learned and mechanically practiced problem-solving strategies and their problem solving did not happen by understanding as it was also shown in other studies (*Nurrenberg and Pickering 1987, Nakhleh 1993, Nakhleh and Mitchell 1993, Cracoline et al, 2008*). The above statement is supported and supplemented by my results concerning the knowledge structures.

▪ ***In the worksheet testing the understanding of how to apply a chemical equation,*** in the case of 7th graders and student groups working with a non-identified solving method every problem is the prerequisite of successfully solving a complex problem.

The Hasse diagrams are similar to the expert's knowledge structures. There is a strong relationship between the knowledge elements but, despite this, the students are unsuccessful in problem solving. First, it points to the fact that students do not possess the knowledge necessary for solving the problem. Second, the students probably possess elements of theoretical knowledge connected to the topic area but they do not link up, and a homogenous system of associations between the elements of knowledge necessary for solving simple problems has not evolved yet in the students' minds. *Lee et al. (2001)* have already called attention to the necessity of this. Students performing well in the complex problem already apply the knowledge elements at the level of skills, which constitute a well-functioning and coherent structure in the knowledge of the students.

In the calculation with a chemical equation, it can be found in the knowledge structures of the student groups that knowledge elements learnt by memorization formed partially separated parts of knowledge. These did not always connect in the students' cognitive structures. It is very well supported by the fact that the connection between molar mass and molar volume described earlier *(Tóth 2006, 2007)* is also present in every knowledge structure.

In the calculation with a chemical equation, there are differences in the knowledge structures of students correctly solving the complex problem and students unable to solve that. In the case of students performing unsuccessfully, the prerequisite of successfully solving a complex problem is knowledge of the solution of every simple problem. Here the knowledge elements necessary for solving simple problems do not yet constitute a homogenous system of associations while in the case of those correctly solving the complex problem these elements of knowledge already function at the level of skills and constitute a well-functioning and coherent structure in the knowledge of the students.

▪ ***In the case of the worksheet with calculation of the composition of chemical compounds,*** contrary to all expectations, complex problems are not at the top of the hierarchy similarly to the previous worksheet. However, they do not integrate here into the knowledge structure at all, or they only link to the knowledge element connected to direct proportionality after all. However, students have a big problem in understanding the concept of mole, already shown in other studies *(Kiss and Tóth, 2006)*. Problems requiring calculation with the amount of substance are definitely separated in the knowledge structure in practice. The most difficult task is calculating the amount of the atom constituting the chemical compound: this is at the top of the problem hierarchy.

The Hasse diagrams did not show any strategy change with the growth of age: Hungarian students, as opposed to foreign students (*Schmidt, 1997; Schmidt and Jignéus, 2003*), adhered to solving methods learnt at school.

Surprisingly enough I did not find any differences in the knowledge structures of beginners and advanced learners as opposed to the previous worksheet.

▪ Probably the most edifying was the ***survey related to the connection between amounts at the macro and the sub-microscopic levels***. The analysis revealed that atomic structure is an area rather distant from reality and everyday life for students. Students do not feel the difference between chemical particles and elementary particles.

The students solved problems related to the atom as a chemical particle more easily but they were unsuccessful in problems containing electron, an elementary particle constituting the atom. In both types of problems, students were more successful in solving problems not requiring a shift between amounts at the macro and the sub-microscopic levels. The success rate of solving a problem only requiring a level shift hardly changes comparing the grades. Unfortunately, the examined course books do not offer any alternatives for such problems, which largely contributed to this distressing result.

According to knowledge space theory, the top of the problem hierarchies is occupied by complex problems characteristic of the grades and the solving problems and these hierarchies are characterized by the strict building of knowledge elements upon each other. The problem containing a connection between amounts at the macro and the sub-microscopic levels served as a basis for the Hasse diagrams. Analyses of knowledge structures justified my expectation that level shifting, as a knowledge element is a prerequisite of successful problem solving in every case. I managed to point out in my study that the determining and problematic knowledge element is calculation requiring a shift between the macro and the sub-microscopic levels.

Besides calculation with amounts at the macro and the sub-microscopic levels, shift between the two types of material systems caused (atom → electron) a similar problem especially if it happened at the sub-microscopic level. Understanding the qualitative and quantitative parameters of the macro level and the sub-microscopic level is also very problematic, largely augmented by the fact that they are introduced to students simultaneously, together with the teaching of chemical symbols.

- It is true ***for every worksheet*** that understanding concepts necessary for chemical calculations was problematic for some student groups. Basic relationships and formulas were probably memorized mechanically and there was no conceptual understanding associated with them, thus the students could not use them safely enough, which led to the formation of misconceptions described earlier (*Tóth, 2005; 2006; 2007*). This meant 10-23% among those solving the worksheets.

- After the content analysis of the ***three worksheets***, I noticed the formation and existence of several misconceptions. Partly due to the lack of chemical knowledge, partly due to mistakes in reading comprehension, the students did not interpret the problems correctly many times. Not every student understood the meaning of molar mass, molar volume and particle number, and they mixed up the expressions 'the amount of substance' and 'amount' due to the unclarified concept of amount.

In calculations with a chemical equation, many students (18%) made a mistake in problem solving because they could not interpret the chemical equation correctly.

When calculating the composition of chemical compounds, a part of the students could not differentiate the chemical particles constituting the materials, and they mixed up the concepts of atom, elementary molecule and compound molecule.

The results of the ***worksheet testing the relationship between amounts at the macro and the sub-microscopic level*** further verify that students have a lot of problem with grouping chemical particles. Another problem is to recognize the connection between the chemical particles and the elementary particles constituting them and to recognize that they are not equal.

The results achieved by a multi-lateral analysis of the solutions in the three worksheets were very edifying. What I find most important is that it supported my hypothesis that there is a connection between problem-solving methods applied by the students and their knowledge structures and that the characteristic knowledge structures of students using different solving strategies are different. This study also highlighted that solution of chemical calculations causes many problems to students. Besides, it also proved that students have deficiencies in their basic conceptual knowledge.

2. The applications of the results

In this study, I mostly aimed at gathering information in three areas of stoichiometric calculation to promote ***a more effective teaching and learning process*** with special respect to chemistry teaching in elementary and secondary schools. First of all I would like to give assistance with my work to teachers to teach more effectively and to students to learn more successfully. The data collected in the three topic areas support that before applying the solving methods, it is necessary to know solving strategies used by students and taught by teachers in the given topic. We can organize our teaching process only being aware of all these. Applying the knowledge space theory for structural analyses, it was proved that we can gather valuable data about the relevant knowledge of the student groups. For example, a correct knowledge of relationships and an understanding of the meaning of concepts. I think the most important benefit of knowledge structure analyses is that we can choose the correct order of teaching elements of knowledge by the help of learning pathways and typical problem hierarchies described above and thus we can optimize the teaching process. If these are achieved, students will be able to acquire knowledge adjusted to their abilities hereby they will have more success in solving chemical calculation problems. Detailed analysis of the connection between knowledge structure and solving strategy may promote the development of the general knowledge of students related to problem solving as well.

The results will ***allow the elaboration of new teaching aids***. After the content analysis of the worksheets, it turned out unambiguously that students prefer solving methods already learnt at school. I think we should compensate it by all means, because the exact aim of teaching parallel problem solving methods is to develop the cognitive ability of students to select a solving method always corresponding to the type of problem. The students used the solving strategies learnt at school as algorithms even if they got integrated mechanically in their minds and there was no conceptual understanding associated with them thus they could not apply them safely enough. Consequently, it is not enough just to teach the solving methods, because, as the results show, solving chemical calculations is unfortunately a more complex task. We have to search for, remove and fill in the gaps, which lead to an unsuccessful solving of the problem. We must try to understand relationships and chemical concepts necessary to solve chemical calculations more deeply and more punctually, assisted by preparing tasks to check them. I also have to mention errors in chemistry books, as they only refer to a small part of solving methods or there are no solving procedures presented in some topic areas by the authors at all.

My results are useful in teacher training as well. ***My results may be directly built in the methodological training of teacher trainees who major in chemistry***, as well as ***in the basic training of university students who major in chemistry***. The results allow a methodological renewal of teaching chemical calculations, which rests on the learners' prior knowledge and the known solving methods with more emphasis. It is important to call the teacher trainees' attention to the critical points and pitfalls occurring during problem solving which appeared as typical mistakes in the worksheets. In the future, they must be corrected by the teachers.

As a conclusion, my research work suggests further areas of study: mostly ***it may serve as an example for a detailed analysis of other subject matters in chemical calculation.*** Concerning the results, I think that similar types of research could be carried out in the future. Later, research may be worth extending to other types of tasks also causing a problem to students. I think we need much more methodological research to clarify problems in the subject of chemistry, because the results of recent years are unfortunately not very promising.

I hope that, with my work, I could at least partly help understand the failure to solve chemical calculation tasks and I can contribute to teaching more effectively.

Research work was supported by OTKA (T-049379 and K-105262).

VI. IRODALOMJEGYZÉK

Abari K., Máth J. (2010): A történelmi tudás mérése a tudástérelmélet segítségével, In: Münnich Á., Hunyady Gy.: *A nemzeti emlékezet vizsgálatának pszichológiai szempontjai*, ELTE, Eötvös Kiadó, Budapest, 191-216.

Adigwe J. C. (1993): Some correlates of Nigerian students' performances in chemical problem-solving, *Research in Science and Technological Education*, 11 (1), 39-48.

Akhmetov M., Iseava O and Pilnikova N. (2009): Using visual method for students training in chemistry, Starptautiskas, *Zinetniski Metodokas Konferences*, Riga, 190-195.

Akhmetov M., Pilnikova N. and Ksenofontova G. (2010): Study of the effekt of a visual representation on students' abilities to chemical calculations, *10th European Conference on Research in Chemistry Education*, Pedagogical University of Krakow, Book of Abstracts, 4-7.

Albert D. (1994): *Knowledge Structures.* (www.uni.graz.at/publicdocs/publications/albert1994.pdf)

Albert D. (2008): The competence performance distinction and it's implications for teacher education and training, In: Higuchi S.: *Comparative study on teacher education system between Austria and Japan for constructing a new conception of teacher training*, 187-206.

Albert D., Hockemeyer C. and Mori T. (2006): Memory, knowledge, and elearning, In: Lars G. N., Nobuo O: *Memory and society: Psychological perspectives* 87-109.

Albert D., Schrepp M. and Held T. (1994): Construction of knowledge spaces for problem solving in chess, In: Fischer G. H., and Laming D.: Contributions to Mathematical Psychology, Psychometrics, and Methodology. Springer-Verlag, New York, 123-135.

Anderson J. R. (1993): Problem solving and learning, *American Psychologist*, 48, (1), 35-44.

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

Arasasingham R., Taagepera M., Potter F., Martorell I. and Lonjers S. (2005): Assessing the effect of web-based learning tools on student understanding of stoichiometry using knowledge space theory, *Journal of Chemical Education*, 82, 1251-1262.

Ashmore A. D., Frazer M. J. and Cassey R. J. (1979): Problem-solving and problem solving networks in chemistry, *Journal of Chemical Education*, 56, (6), 377-379.

Ausubel D. P., Novak J. D. and Hanesian H. (1978): *Educational psychology: a cognitive view*, New York: Holt, Rinehart and Winston

Atwater M. M., Alick, B. (1990): Cognitive development and problem-solving of Afro-American students in chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*, 27, (2), 157-172.

Bahar M., Johnstone A. H. and Utcliffe R. G. (1999): Investigation of students' cognitive stucture in elementery genetics through word association tests, *Journal of Biological Education*, 33, (3), 134-141.

Bánhalmi Á. (2015): Konjunktív Bayes-hálókkal kiterjesztett tudástérelmélet és alkalmazása a felsőfokú matematikaoktatás néhány problémájára, *Doktori (PhD) disszertáció*, Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Budapest

Bassok M., Novick L. R. (2011): Problem solving, In: Holyoak K. J., Morrison R. G.: *The cambridge handbook of thinking and reasoning*, Cambridge University Press, New York, 321-349.

Bennett S. W. (2008): Problem solving: can anybody do it? *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 60-64.

Bernholt A., Parchmann I. (2011): Assessing the complexity of students' knowledge in chemistry, *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 167-173.

Bloom B. S. (1956): *Taxonomy of educational objectives: Handbook 1, cognitive domain*, New York: David McKay

Bodner G. M. (1987): The role of algorithmus in teaching problem solving, *Journal of Chemical Education*, 64, (6), 513-514.

Bodner G. M. (1991): I have found you an argument: the conceptual knowledge of beginning chemistry graduate students, *Journal of Chemical Education*, 68, (5), 385-388.

Bodner G. M. (2003): Problem solving: the difference between what we do and what we tell students to do? *University Chemistry Education*, 7, 37-45.

Bodner G. M., Domin D. S. (2000): Mental models: The role of representations in problem solving in chemistry, *University Chemistry Education*, 4, 24-30.

Bunce D. M. (1993): Introduction to symposium on "Lecture and learning: are they compatible?", *Journal of Chemical Education*, 70, (3), 179-180.

Bühner M, Kröner S. and Ziegler (2008): Working memory, visual-spatial-intelligence and their relationship to problem solving, *Intelligence*, 36, 672-680.

Cachapuz A. F. C., MAskill R. (1987): Detecting changes with learning int he organization of knowledge: use of word association test to follow the learning of collision theory, *International Journal of Science Education*, 9, (4), 491-504.

Cardellini L. (2006): Fostering creative problem solving in chemistry through group work, *Chemistry Education Research and Practice*, 7, 131-140.

Cardellini L. (2008). A note on the calculation of the Garskof-Houston relatedness coefficient, *Journal of Science Education*, 9, (1), 48-51.

Carrol J. B. (1993): *Human cognitive abilities, a survey of factoranalitic studies*, Cambridge University Press, Cambridge

Chandran S., Treagust D. F. and Tobin K. (1987): The role of cognitive factors in chemistry achievement, *Journal of Research in Science Teaching*, 24 (2), 145-160.

Chen J., Salahuddin R., Horsch P. and Wagner S. L. (2000). Turning standardized test scores into a tool for improving teaching and learning: An assessment-based approach, *Urban Education*, 35, 356-384.

Chi M. T. H., Glaser R. and Rees E. (1982): Expertise is problem solving, In: Sernberg R. I.: *Advances in the psychology of human intelligence*, Vol. 1. N. J. Hillsdale

Chiu M-H. (2001): Algorithmic problem solving and conceptual understanding of chemistry by students at a local high school in Taiwan, *Proceedings of the National Science Council*, 11, (1), 20-38.

Cokelez A., Dumont A. (2005): Atom and molecule: upper secondary school French students' representations in long term memory, *Chemistry Education: Research and Practice*, 6, 119-135.

Cooper M. M., Cox C. T. Jr., Nammouz M., Case E. (2008): An assessment of the effect of collaborative groups on students' problem-solving strategies and abilities, *Journal of Chemical Education*, 85, 866-872.

Costu B. (2007): Comparison of Students' Performance on Algorithmic, Conceptual and Graphical Chemistry Gas Problems, *Journal of Science Education and Technology*, 16, (5), 379–386.

Costu B. (2010): Algorithmic, Conceptual and Graphical Chemistry Problems: A Revisited Study, *Asian Journal of Chemistry*, 22, (8), 6012-6025.

Cracoline M. S., Deming J. C., Ehlert B. (2008): Concept learning versus problem solving: A cognitive difference, *Journal of Chemical Education*, 85, 873-878.

Csapó B. (1992): *Kognitív pedagógia*, Akadémiai Kiadó, Budapest

Csapó B., Molnár Gy. (2012): Gondolkodási készségek és képességek, In: Csapó B.: *Mérlegen a magyar iskola*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 407-440.

Csíkos Cs., Steklács J. (2011): Az adaptív stratégia-választás pedagógiai relevanciája, *XI. Országos Neveléstudományi Konferencia*, Összefoglalók, 219.

Daru K., Tóth Z. (2014a): Óvodások időjárással kapcsolatos szóasszociációinak elemzése, *Oktatáskutatás Határon Innen és Túl* (HERA Évkönyvek 1.), Belvedere Meridionale, Szeged, 39-57.

Daru K., Tóth Z. (2014b): A szóasszociációs módszer alkalmazhatósága óvodások időjárással kapcsolatos tudásszerkezetének vizsgálatára, *Új Kutatások a Neveléstudományokban 2013*, Líceum Kiadó, Eger, 51-62.

Dobi J. (2002): *Megtanult és megérdemelt matematikatudás, Az iskolai tudás,* 2. kiadás, Osiris Kiadó, Budapest, 177-199.

Dobóné Tarai É. (2005): Kutatásmódszertani dolgozat, Debreceni Egyetem, Debrecen

Dobóné Tarai É. (2007): Általános iskolai tanulók tudásszerkezete, *Iskolakultúra*, 17, (8), 119-131.

Dobóné Tarai É. (2008): Általános iskolai tanulók anyagszerkezettel és anyagi változásokkal kapcsolatos fogalmainak fejlődése, *Doktori értekezés*, Debreceni Egyetem, Debrecen

Doignon J.-P. and Falmagne J.-C. (1999): *Knowledge Spaces,* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Dori Y. J., Sasson I. (2008): Chemical understanding and graphing skills in an honors case-based computerized chemistry laboratory environment: The value of bidirectional visual and textual representations, *Journal of Research in Science Teaching*, 45, (2), 219-250.

Dóra L. (2015): 3 és 5 – a problémamegoldás hatékonyságának csoportlétszáma, *Iskolakultúra*, 25, (1), 35-50.

Duncker K. (1945): On problem solving, *Psychological Monographs*, 58, (5), 1-113.

Ercan F., Tasdere A. and Ercan N. (2010): Observation of cognitive structure and conceptual changes through word association tests, *Journal of Turkish Science Education*, 7, (2), 155-157.

Falus I., Ollé J. (2000): *Statisztikai módszerek pedagógusok számára*, Okker Kiadó Kft., Budapest

Falmagne J.-C., Albert D., Doble C., Eppstein D. and Hu X. (2013): *Knowledge Spaces: Applications in Education*, Springer Publishing Company

Falmagne J.-C., and Doignon J.-P. (2011): *Learning Spaces,* Berlin: Springer-Verlag

Falmagne J.-C., Doignon J.-P., Koppen M, Villano M. and Johannessen L. (1990): Inroduction to knowledge spaces: How to build, test and search them, *Psyhological Review*, 2, 201-224.

Falmagne J.-C., Doignon J.-P., Koppen M, Cosyn E. and Thiery N. (évszám nélkül): *The assessment of knowledge, in theory and in practice.* (www.aleks.com/aleks/science_Behind_ALEKS.pdf)

Fatalin L. (2008): Hierarchikus fogalmi struktúrák vizsgálata gráfokkal, *PhD értekezés*, Debreceni Egyetem, Matematikai és Számítástechnikai Doktori Iskola, Debrecen

Fisher R. (1987): *Problem solving in primary school*, Basil Blackwell Ltd., Oxford

Frank D. V., Baker C. A. and Herron J. D. (1987): Should students always use algorithms to solve problems? *Journal of Chemical Education*, 64 (6), 514-515.

Frazer M. J. (1982): Nyholm lecture: solving chemical problems, *Chemical Society Reviews*, 11, (2), 171-190.

Frazer M. J., Sleet R. J. (1984): A study of students' attempts to solve chemical problems, *European Journal of Science Education*, 6, (2), 141-152.

Frederickson N. (1984): Implication of cognitive theory for instruction in problem solving, *Review of Educational Research*, 54, 363-407.

Funke J. (2010): Complex problem solving: A case for complex cognition? *Cognitive Processing*, 11, (2), 133-142.

Funke J. and Frensch P. A. (2007): Complex problem solving: The Eurapean perspective – 10 years after, In: Jonassen D. H.: *Learnong to solve complex scientific problems*, Lawrence Erlbaum, New York, 25-47.

Gabel D. L., Bunce, D. M. (1994): Research on problem solving: chemistry. In: Gabel D. L., *Handbook of research on science teaching and learning: a project of the national science teachers association*, New York

Gabel D. L., Sherwood R. D. (1983): Facilitating problem solving in high school chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*, 20, (2), 163-177.

Gabel D. L., Sherwood R. D. and Enochs L. (1984): Problem-solving skills of high school chemistry students, *Journal of Research in Science Teaching*, 21, (2), 221-233.

Gagne R. M. (1977): *The conditions of learning*, New York: Holt, Rinehart and Winston.

Glover J. A., Ronning R. R. and Bruning R. H. (1990): *Cognitive psychology for teachers*, New York: Macmillan.

Greenbowe T. J. (1983): An investigation of variables involved in chemistry problem solving, *Ph.D. Thesis*, Purdue University

Greeno J. G. (1978): Natures of problem solving abilities, In. Estes W. K.: *Handbook of learning and cognitive processes*, 5, Erlbaum, Hilsdale. N. J.

Habók A. (2008): Fogalmi térképek, *Magyar Pszichológiai Szemle*, 63, (3), 519-546.

Harrison A. G., Treagust D. F. (1996): Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry, *Science Education*, 80, (5), 509-534.

Hass G., Parkay F. W. (1993): *Curriculum Planning: a new approach*, Allyn and Bacon, Boston

Hayes J. R. (1981). *The complete problem solver*, The Franklin Institute Press., Philadelphia

Herron J. D., Greenbowe T. J. (1986): What can we do about Sue: a case study of competence, *Journal of Chemical Education*, 63, (6), 528-531.

Hockemeyer C., Conlan O., Wade V. and Dietrich A. (2003): Applying competence prerequisite structures for elearning and skill management, *Journal of Universal Computer Science*, 9, 1428–1436.

Hovardas T., Korfiatis K. J. (2006): Word associations as a tool for assessing conceptual change in science education, *Journal of Learning and Instruction*, 16, 416-432.

Johnstone A. H. (1993): Creative problem solving in chemistry, London: *The Royal Society of Chemistry*, Introduction: In Wood C. and Sleet R.

Johnstone A. H. (2001): Can problem solving be taught? *University Chemistry Education*, 5, 69-73.

Johnstone A. H., Otis K. H. (2006): Concept mapping in problem based learning: a cautionary tale, *Chemistry Education Research and Practice*, 7, 84-95.

Kagan S. (2001): *Kooperatív tanulás*, Ökonet Kft., Budapest, 11-17.

Kahney H. (1986): *Problem solving: a cognitive approach*, UK: Open University

Kempa R. F., Nicholls C. E. (1983): Problem-solving ability and cognitive structurean exploratory investigation, *European Journal of Science Education*, 5, (2), 171-184.

Kilpatrick J., Swafford J. and Findell B. (2001): *Adding it up: Helping children learn mathematics*, National Academy Press, Washington

Kiss E. (2008): A tanulók tévképzeteinek és fogalmi fejlődésének vizsgálata a kémia néhány alapfogalma területén, *Doktori értekezés*, Debreceni Egyetem, Debrecen

Kiss E., Tóth Z. (2002): Fogalmi térképek a kémia tanításában, *Módszerek és Eljárások 12.*, 63-69.

Kiss E., Tóth Z. (2006): A tanulók anyagmennyiséggel kapcsolatos fogalmi megértése és fejlődése, *Középiskolai Kémiai Lapok*, 33, (1), 72-90.

Kluknavszky Á., Tóth Z. (2009): Tanulócsoportok levegőszennyezéssel kapcsolatos fogalmainak vizsgálata szóasszociációs módszerrel, *Magyar Pedagógia*, (4), 321-342.

Kontra J. (1996): A probléma és a problémamegoldó gondolkodás, *Magyar Pedagógia*, 96, (4), 341-366.

Korossy K. (1999): Modeling knowledge as competence and performance, In: Albert D., Lukas J.: *Knowledge spaces: Theories, empirical research, and applications*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, Mahwah, 103-132.

Kostova Z., Radoynovska B. (2008): Word association test for styding conceptual structures of teachers and students, *Bulgarian Journal of Science and Education Policy*, 2, (2), 209-231.

Kovács Sz. (2000): A Galois-gráf alkalmazása a fizika tanításában, *Iskolakultúra*, 9, 46-55.

Kürti Istvánné (1982): *Tervek, hipotézisek, stratégiák a 9-14 éves gyermekek gondolkodásában*, Akadémiai Kiadó, Budapest

Lee K. W. (1985): Cognitive variables in problem solving in chemistry, *Research in Science Education*, 15, (1), 43-50.

Lee O., Eichinger D. C., Anderson C. W., Berheimer, G. D. and Blakeslee T. D. (1993): Changing middle school students' conceptions of matter and molecules, *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 249-270.

Lee K. W. L., Fensham, P. J. (1996): A general strategy for solving high school electrochemistry problems, *International Journal of Science Education*, 18, (5), 543-555.

Lee, K. W. L.; Goh, N. K.; Chia, L. S.; Chin, C. (1996): Cognitive variables in problem solving in chemistry: A revisited study, *Science Education*, 80, 691-710.

Lee, K. W. L.; Tang, W. U.; Goh, N-K.; Chia, L. S. (2001): The predicting role of cognitive variables in problem solving in mole concept, *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2, 285-301.

Lenton G., Stevens B. and Illes R. (2000): Numeracy in science: pupils' understanding of graphs', *School Science Review*, 82, (299), 15-23.

Lénárd F. (1984): *A problémamegoldó gondolkodás*, Akadémiai Kiadó, Budapest

Lin Q., Kirsch P. and Turner R. (1996): Numeric and conceptual understanding of general chemistry at a Minority Institution, *Journal of Chemical Education*, 73, (10), 1003

Ludányi L. (2008): A tanulók kémiai részecskékkel kapcsolatos fogalmi rendszere, *Doktori értekezés*, Debreceni Egyetem, Debrecen

Malmos E., Revákné Markóczi I. (2015): Biológia fogalmakhoz kapcsolódó tévképzetek vizsgálata szóasszociációs módszerrel, *Iskolakultúra*, 17, (5-6), 190-199.

Mayer R. E. (1997): *Thinking, problem solving, cognition*, New York: Freeman

Mayer R. E. (2008): *Learning and instruction*, Merrill Prentice Hall, Upper Saddle River, New York

Máth J., Abari K. (2011): Knowledge spaces and historical knowledge in practice, *Applied Psychology in Hungary*, 124-150.

McCalla J. (2003): Problem solving with pathways, *Journal of Chemical Education*, 80, 92-98.

McKenzie D. L., Padilla M. J. (1986): The construction and validation of the test of graphing in science (togs), *International Journal of Science Education*, 23, (7), 571–579.

Milovanovic I., Jeuring J. (2016): The automatic generation of knowledge spaces from problem solving strategies, In: Micarelli A., Stamper J. and Panourgia K.: Intelligent Tuturing Systems, *13th International Conference*, Zagrab, Croatia, 541.

Molnár Gy. (2001): Az életszerű feladathelyzetekben történő problémamegoldás vizsgálata, *Magyar Pedagógia*, 101, (3), 347-372.

Molnár G., Greiff S., Csapó B. (2013): Inductive reasing, domain specific and complex problem solving: relations and development, *Thinking Skills and Creativity*, 9, 35-45.

Molnár J., Molnárné Hamvas L. (2005): A LEGO®-elvről diákoknak, *Középiskolai Kémiai Lapok*, 32, (4), 329-339.

Molnár J., Molnárné Hamvas L. (2006a): Kémiai számítások a LEGO®-elv alapján, *A Kémia Tanítása*, 14, (1), 6-11.

Molnár J., Molnárné Hamvas L. (2006b): A LEGO-elv mint a kémiai számítások újfajta megoldása, *Magyar Kémikusok Lapja*, 61, (1), 9-12.

Nagy J. (1998): A kognitív motívumok rendszere és fejlesztése 1-2. rész, *Iskolakultúra*, (11), 73-86; (12), 59-76.

Nahalka I., Poór I. (2002): Problémák és feladatok megoldása a fizika tanulása során, In: Radnóti K., Nahalka I., *A fizikatanítás pedagógiája*, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, 188-206.

Nakhleh M. B. (1993): Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? *Journal of Chemical Education*, 70, 52-55.

Nakhleh M. B., Mitchell R. C. (1993): Concept learning versus problem solving: There is a difference, *Journal of Chemical Education*, 70, 190-192.

Nakiboglu C. (2008): Using word associations for assessing non major science students' knowledge structure before and after general chemistry instruction: the case of atomic structure, *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 309-322.

Narciss S. (1999): Application of Doignon and Falmagne's theory of knowledge structures to the assessment of motor learning processes, In: Albert D., Lukas J.: *Knowledge spaces: Theories, empirical research, and applications*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, Mahwah, 197-220.

Newell A., Simon H. A. (1972): *Human problem solver*, New Jersey

Niaz A (1987): The role of cognitive factors in the teaching of science, *Research in Science and Technological Education*, 5, 7-16.

Niaz M. (1988a): The inform ation-processing demand of chemistry problems and its Relation to Pascual-Leone's functional M-capacity, *International Journal of Science Education*, 10, (2), 231-238.

Niaz M. (1988b): Manipulation of M-demand of chemistry problems and its effect on student performance: a neo-Piagetian study, *Journal of Research in Science Teaching*, 25, (8), 643-657.

Niaz M. (1988c): Student performance in water pouring and balance beam tasks: effect of manipulation of perceptual field factor, *Research in Science and Technological Education*, 6, 39-50.

Niaz M. (1989): Relation between Pascual-Leone's structural and functional M-space and its effect on problem solving in chemistry, *Journal of International Chemical Education*, 11, 93-99.

Niaz M. (1995): Cognitive conflict as a teaching strategy in solving Chemistry problems: A dialectic-constructivist prespective, *Journal of Research in Science*, 32, (9), 959-970.

Niaz M., Robinson W. (1992): Manipulation of logical structure of chemistry problems and its effect on student performance, *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 211-226.

Nurrenberg S. C., Pickering M. (1987): Concept learning versus problem solving: is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64, 508-510.

Osborne R. J., Cosgrove A M. (1983): Children's conceptions of the change of state of water, *Journal of Research in Science Teaching*, 20, (9), 825-838.

Özden M. (2009): Prospective science teachers' conceptions of the solutation chemistry, *Journal of Baltic Science Education*, 8, (2), 69-78.

Pásztor-Kovács A. (2015): Kollaboratív problémamegoldó képesség egy új, integratív elméleti keret, *Iskolakultúra*, 25, (2), 3-16.

Perez, D. G., Torregrosa J. M. (1983): A model for problem-solving in accordance with scientific methodology, *European Journal of Science Education*, 5, (4), 447-455.

Phelps A. J. (1996). Teaching to enhance problem solving; its more than the numbers, *Journal of Chemical Education*, 73, (4), 301-304.

Pickering A. (1990). Further studies on concept learning versus problem solving, *Journal of Chemical Education*, 67, (3), 254-255.

Pocsainé Vida E. (2005): A 9-12. osztályos tanulók feladatmegoldó stratégiái egyszerű sztöchiometriai problémákra, *Szakvizsgára felkészítő továbbképzés záródolgozata*, Debreceni Egyetem, Debrecen

Potter, F. (2004): *Simplified version of KST analysis*, www.chem.ps.uci.edu/~mtaagepe/KSTBasic.html

Pólya Gy. (1967): *A problémamegoldás iskolája*, Tankönyvkiadó, Budapest

Pólya Gy. (2000): *A gondolkodás iskolája*, Akkord Kiadó, Budapest

Radnóti K. (2010a): Elsőéves hallgatók kémiatudása *A Kémia Tanítása* 18 (1), 13-24.

Radnóti K. (2010b): Felmérés az elsőéves hallgatók kémiatudásáról. Első rész. *Magyar Kémikusok Lapja*, 65, (5), 158-162.

Radnóti K. (2010c): Felmérés az elsőéves hallgatók kémiatudásáról. Második rész. *Magyar Kémikusok Lapja*, 65, (6), 192-195.

Radnóti K. (2014): A természettudományok tanítása, *Szakmódszertani kézikönyv és Tankönyv*, Mozaik Kiadó, Szeged

Reimann P., Kickmeier-Rust M. and Albert D. (2013): Problem solving learning environments and assessment: A knowledge space theory approach, *Computers and Education*, 64, 183-193.

Revákné Markóczi I. (2001): A problémamegoldó gondolkodást befolyásoló tényezők, *Magyar Pedagógia*, (3), 267-284.

Revákné Markóczi I. (2010): A 9-10 éves tanulók természettudományos problémamegoldó stratégiájának vizsgálata, *Magyar Pedagógia*, (1), 53-71.

Revákné Markóczi I. (2011): Problémamegoldó gondolkodás a természettudományok tanításában, In: Revákné és Nyakóné: *A természettudományok tanításának elméleti alapjai*, RE-PE-T_HA-könyvek, Debreceni Egyetem, TEK, Debrecen

Revákné Markóczi I., Malmos E. (2015): Az egyetemi képzésbe belépő biológia BSc hallgatók tudásszerkezete és annak módszertani háttere, In: Pusztai G., Ceglédi T., *Szakmai szocializáció a felsőoktatásban. A pedagógusképzés kihívásai a Kárpát-medencében*, Nagyvárad: Partium Press, 276-288.

Revákné Markóczi I., Máth J., Huszti A. és Pollner K. (2013): A természettudományos problémamegoldás metakogníciójának mérése a felsőoktatásban, *Magyar Pedagógia*, (4), 221-241.

Ross B. H., Kennedy P. T. (1990): Generalizing from the use of earlier examples in problem-solving, *Journal of Experimental Psychology: learning, Memory and Cognition*, 42-55.

Riley M., Greeno J. G. and Heller J. (1982): The development of children's problem solving ability in arithmetic, In: Ginsberg H.: *The development of mathematical thinking*, Academic Press, New York, 153-199.

Salganic L. H. (2001): Competencies for life: A conseptual and empirical challenge, In: Rychen D. S. and Salganik L. H.: *Defining and selecting key competencies*, Hogrefe and Huber Publishers, Seatle, 17-32.

Sawrey B. A. (1990): Concept learning versus problem solving: revisited, *Journal of Chemical Education,* 67, (3), 253-254.

Schmidt H-J. (1990): Secondary school students' strategies in stoichiometry, *International Journal of Science Education*, 12, 457-471.

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., Jignéus C. (2003): Students' strategies in solving algorithmic stoichiometry problems, *Chemistry Education Research and Practice*, 4, 305-317.

Schrepp M. (1997): A generalization of knowledge space theory to problems with more than two answer alternatives, *Journal of Mathematical Psychology*, 41, 237-243.

Sebestyén A., Tóth Z. (2006a): Képlettel vagy következtetéssel? *Középiskolai Kémiai Lapok*, 33, (2), 132-145.

Sebestyén A., Tóth Z. (2006b): Makro- és részecskeszintű mennyiségek keveredéséből adódó problémák egyetemi hallgatók feladatmegoldásaiban, *Középiskolai Kémiai Lapok*, 33, (3), 228-233.

Sebestyén A., Tóth Z. (2006c): Egyetemi hallgatók feladatmegoldó stratégiái a vegyületek összetételével kapcsolatos számításokban, *XXII. Kémiatanári Konferencia*, Veszprém, Előadásösszefoglalók: 99.

Sendur G., Özbayrak Ö. And Uyulgan M. A. (2011): A study of determination of pre-sercice cemistry teachers' understanding about acids and bases, *Procedia Computer Science*, 3, (1), 52-56.

Shaibu A. A. M. (1992): A study of the relationship between conceptual knowledge and problem-solving proficiency: In: Schmidt H. J., *Empirical Research in Chemistry And Physics Education*, 163-174.

Siposné Kedves É., Horváth B. és Péntek L. (2005): *Kémia 7., Kémiai alapismeretek*, Mozaik Kiadó, Szeged

Sternberg R. (1994): *Thinking and problem solving*, Academic Press, San Diego

Sumfleth E. (1988): Knowledge of terms and problem-solving in chemistry, *International Journal of Science Education*, 10, (1), 45-60.

Taber K. (2002): *Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure.* Volume I: theoretical background. Royal Society of Chemistry, London

Taagepera M., Arasasingham R. D., King S., Potter F., Martorell I., Ford D., Wu J. and Kearney A. M. (2011): Integrating symmetry in stereochemical analysis in introductory organic chemistry, *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 322-330.

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

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

Taagepera M., Potter F., Miller E. G. and Lakshminarayan, K. (1997): Mapping students' thinking patterns by the use of the knowledge space theory, *International Journal of Science Education*, 19, (3), 283-302.

Takács V. (1997): A tudásszerkezet mérése, *Iskolakultúra*, 6-7. számának melléklete.

Takács V. (2000): A Galois-gráfok pedagógiai alkalmazása, *Iskolakultúra-könyvek*, 6

Takács V. (2003): Baranya megyei tanulók tudásstruktúrái, *Iskolakultúra-könyvek*, 20

Tóth Z. (1996): *Kémiai számítások mérlegmódszerrel*, Pedellus Kiadó, Debrecen

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

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

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

Tóth Z. (1999b): Chemical calculations – the industrialists' way, *Education in Chemistry*, 36, 38.

Tóth Z. (1999c): Sztöchiometriai számítások rendezett reakcióegyenletek nélkül, *A Kémia Tanítása*, 7, (3), 16-20.

Tóth Z. (2000): Kémiai számítások dimenzióanalízissel, *A Kémia Tanítása*, 8, (1), 23-25.

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

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

Tóth Z. (2002a): Numerikus kémiai problémák szerepe a tanulók kémiai szemléletének és problémamegoldó készségének fejlesztésében, valamint a kémiatanárok képzésében, *Módszerek és Eljárások 12.*, 85-90.

Tóth Z. (2002b): Tanulói stratégiákon alapuló feladatmegoldás kémiaórán, *Módszerek és Eljárások 12.*, 91-105.

Tóth Z. (2002c): Tanulói stratégiák és tévképzetek a reakcióegyenletek rendezésében, *Módszerek és Eljárások 12.*, 106-122.

Tóth Z. (2005): A tudásszerkezet és a tudás szerveződésének vizsgálata a tudástér-elmélet alapján, *Magyar Pedagógia*, 105 (1), 59-82.

Tóth Z. (2006): Középiskolás tanulók alapvető fizikai és kémiai mennyiségek ismeretével és alkalmazásával kapcsolatos tudásszerkezetének vizsgálata tudástér-elmélet segítségével, *A Kémia Tanítása*, (2), 12-21.

Tóth Z. (2007a): Mapping students' knowledge structure in understanding density, mass percent, molar mass, molar volume and their application in calculations by the use of knowledge space theory, *Chemistry Education Research and Practice*, (4), 376-389.

Tóth Z. (2007b): Effect of instruction on the future teachers' knowledge structure regarding the solving strategies of chemical problems, *Proceedings of the 2nd European Variety in Chemical Education*, Prága, 315-319.

Tóth Z. (2010a): Kémia, vegyészmérnöki és biomérnöki alapképzésüket kezdő egyetemi hallgatók kémiai alapismereteinek vizsgálata, *Középiskolai Kémiai Lapok*, 17, (1), 62-77.

Tóth Z. (2010b): Kémia, vegyészmérnöki és biomérnöki alapképzésüket kezdő egyetemi hallgatók kémiai alapismereteinek vizsgálata 2010-ben, *Középiskolai Kémiai Lapok*, 17, (4), 299-320.

Tóth Z. (2011): Tanulócsoportok jellemző tudásszerkezetének vizsgálata a tudástérelmélet alapján, *Habilitációs értekezés tézisei*, Debreceni Egyetem

Tóth Z. (2012): *Alkalmazott tudástérelmélet*, Gondolat Kiadó, Budapest, 19-37.

Tóth Z. (2013): A tanulók kémiai részecskékkel kapcsolatos fogalom rendszerének vizsgálata fenomenográfiával kombinált tudástér elmélettel, *Debreceni Szemle*, 31, (2-3), 91-100.

Tóth Z. (2015): A kémiaoktatás eszközei, eljárásai és módszerei, In: Tóth Z.: *Korszerű kémia tantárgy-pedagógia, Híd a pedagógiai kutatás és a kémiaoktatás között*, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen

Tóth Z., Dobó-Tarai É., Revák-Markóczi I., Schneider I. K. and Oberländer F. (2007): 1st graders prior knowledge about water: knowledge space theory applied to interview data, *Journal of Science Education*, 8 (2), 116-119.

Tóth Z., Kiss E. (2004): Középiskolás tanulók feladatmegoldó stratégiái egyszerű sztöchiometriai problémákra, *A Kémia Tanítása*, 12, (1), 7-11.

Tóth Z., Kiss E. (2005): Hungarian secondary school students' strategies in solving stoichiometic problems, *Journal of Science Education*, (1), 59-82.

Tóth Z., Kiss E. (2006): 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*, 1, 1-23.

Tóth Z., Kiss E. (2007): A fizikai és kémiai változások azonosításával kapcsolatos tudásszerkezet, *Iskolakultúra*, 1, 19-30.

Tóth Z., Kiss E. (2009): Modelling students' thinking patterns in describing chemical change at macroscopic and sub-microscopic levels, *Journal of Science Education*, 10, (1), 24-26.

Tóth Z., Ludányi L. (2007a): Combination of phenomenography with knowledge space theory to study students' thinking patterns in describing an atom, *Chemistry Education Research and Practice*, 8, (3), 327-336.

Tóth Z., Ludányi L. (2007b): Using phenomenography combined with knowledge space theory to students' thinking patterns in describing an ion, *Journal of Baltic Science Education*, 6, (3), 27-33.

Tóth Z., Radnóti K. (2009): Elsőéves BSc-hallgatók sikeressége egy meghatározó reagenssel kapcsolatos számítási feladat megoldásában, *Középiskolai Kémiai Lapok*, 36, (5), 375-390.

Tóth Z., Revák-Markóczi I., Schneider I. K., Oberländer F. and Dobó-Tarai Éva (2008): Effect of instruction on 1st graders' thinking patterns regarding the description of water with every day and scientific concepts, *Practice and Theory in Systems of Education*, 3 (1), 45-54.

Tóth Z., Sebestyén A. (2005): A tanulók reakcióegyenletek rendezésében mutatott teljesítményének és tudásszerkezetének változása a gimnáziumi oktatás során, *Középiskolai Kémiai Lapok*, 32, (3), 254-267.

Tóth Z., Soltész Gy. (1990): Kémiai számítások mérlegmódszerrel, *Módszerek és Eljárások 6.*, 1990, 75-81.

Tóth Z., Sójáné Gajdos G. (2012): Tanulók energiaforrásokkal kapcsolatos tudásszerkezetének vizsgálata szóasszociációs módszerrel, *Középiskolai Kémiai Lapok*, 39, (1), 58-69.

Tóth Z., Sója-Gajdos G. (2012): Using a word association method to study students' knowledge structure to energy sources, *Current Research in the Field of Disciplinary Didactics*, (2), 39-49.

Vaarik A., Taagepera M. and Tamm L. (2008): Following the logic of student thinking patterns about atomic orbital structures, *Journal of Baltic Science Education*, 7, (1), 27-36.

Voss J. F. (1989): Problem solving and the educational process, In: Lesgold A. and Glaser R.: *Foundations for a psychology of education*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, London, 251-294.

Waddling R. E. (1988): Pictorial problem-solving networks, *Journal of Chemical Education*, 65, (3), 260-262.

Watts M. (1991): *The science of problem solving*, Cassel Educational Limited, London

Wood C. (2006): The development of creative problem solving in chemistry, *Chemistry Education Research and Practice*, 7, 96-113.

Zátonyi S. (2001): *Képességfejlesztő fizikatanítás*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 152-157.

Yang M. J. (2000): Problem solving in chemistry at secondary school, *PhD thesis*, University of Glasgow, Glasgow

Yarroch W. L. (1985): Student understanding of chemical equation balancing, *Journal of Research in Science Teaching*, 22, (5), 449-459.

VII. FÜGGELÉKEK

TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az értekezés témájához kapcsolódó tudományos közlemények

Angol nyelvű közlemények

Nemzetközi, referált folyóiratban megjelent közlemény

1. Zoltán Tóth, Annamária Sebestyén
   Relationship between students' knowledge structure and problem-solving strategy in stoichiometric problems based on the chemical equation
   Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education, Vol. 1., Issue 1 (2009) p. 8-20. (e-ISSN: 1306-3049, DOI szám: 10.12973/ejpce.2009.00002a)
   http://www.iserjournals.com/journals/ejpce/articles/10.12973/ejpce.2009.00002a

Hazai kiadású, idegen nyelvű, lektorált folyóiratban megjelent közlemény

2. Annamária Sebestyén, Zoltán Tóth
   Hungarian students' success rate, problem-solving strategy and knowledge structure in the problem of the shifting between the macro- and sub-microscopic levels
   Hungarian Educational Research Journal, Vol. 5., No. 2. (2015), p. 112-125. (ISSN: 2064-2199, DOI-szám: 10.14413/herj.2015.02.08.)
   http://herj.lib.unideb.hu/cikk/cikk/55bfc98144ded

Magyar nyelvű közlemények

Magyar nyelvű, lektorált, szerkesztett tanulmánykötetben megjelent közlemény

3. Sebestyén Annamária
   A tudásszerkezet és a problémamegoldó stratégia kapcsolata kémiai kontextusban
   Új kutatások a neveléstudományokban, A munka és nevelés világa a tudományban című kötet (ISSN: 2062 090X), ELTE Eötvös Kiadó, Budapest (2013), 43-59. oldal
   http://mek.oszk.hu/12100/12188/12188.pdf
   http://www.eltereader.hu/media/2013/10/Uj_kutatasok_2012_READER.pdf

Magyar nyelvű, lektorált folyóiratban megjelent közlemények

4. Tóth Zoltán, Sebestyén Annamária
   A tanulók reakcióegyenletek rendezésében mutatott teljesítményének és tudásszerkezetének változása a gimnáziumi oktatás során
   Középiskolai Kémiai Lapok, XXXII. évfolyam, 3. szám (2005), 254-267. oldal
   http://www.kokel.mke.org.hu/images/stories/docs/2005_3/254-267.pdf

5. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
   Képlettel vagy következtetéssel?
   Középiskolai Kémiai Lapok, XXXIII. évfolyam, 2. szám (2006), 132-145. oldal
   http://www.kokel.mke.org.hu/images/stories/docs/2006_2/Muhely06-2.pdf

6. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
   Makro- és részecskeszintű mennyiségek keveredéséből adódó problémák egyetemi hallgatók feladatmegoldásaiban
   Középiskolai Kémiai Lapok, XXXIII. évfolyam, 3. szám (2006), 228-233. oldal
   http://www.kokel.mke.org.hu/images/stories/docs/2006_3/Muhely06-3.pdf

7. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
   A tanulók feladatmegoldó stratégiái és tudásszerkezete a vegyületek összetételével kapcsolatos számítási feladatokban
   Középiskolai Kémiai Lapok, XLII. évfolyam, 1. szám (2015), 74-92. oldal
   http://www.kokel.mke.org.hu/images/stories/docs/2015_1/KK1501_muhely.pdf

Az értekezés témájához kapcsolódó előadások

Hazai konferenciákon tartott előadások

1. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
   Képlettel vagy következtetéssel?
   XXII. Kémiatanári Konferenciára, Veszprém, 2006. (Előadás összefoglalók: 50. oldal)

2. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
   A tanulók tudásszerkezetének és problémamegoldó stratégiájának kapcsolata egyszerű kémiai problémák megoldásában
   VII. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2007. (Előadás összefoglalók: 75. oldal)

3. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
   A tanulók tudásszerkezetének és problémamegoldó stratégiájának kapcsolata egyszerű kémiai problémák megoldásában
   VI. Pedagógiai Értékelési Konferencia, Szeged, 2008. (Tartalmi összefoglalók: 89. oldal)

4. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
A tanulók tudásszerkezetének és problémamegoldó stratégiájának kapcsolata egyszerű kémiai problémák megoldásában
XXIII. Országos Kémiatanári Konferencia, Budapest, 2008. (Előadás összefoglalók: 72. oldal)

5. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán:
A tudásszerkezet és a problémamegoldó stratégia kapcsolata
XII. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2012. (Összefoglalók: 350. oldal)

Nemzetközi konferencián tartott előadás

6. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
A tudásszerkezet és a tudás szerveződésének vizsgálata a problémamegoldásban
XIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, 2007. (Előadás összefoglalók: 101-105. oldal)

Az értekezés témájához kapcsolódó poszterek

Hazai konferenciákon bemutatott poszterek

1. Tóth Zoltán, Sebestyén Annamária
A tanulók reakcióegyenletek rendezésében mutatott teljesítménye és tudásszerkezete
V. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2005. (Tartalmi összefoglalók: 368. oldal)

2. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
Makro- és részecskeszint keveredése a hallgatók feladatmegoldásáb**an**
XXII. Kémiatanári Konferencia, Veszprém, 2006. (Előadás összefoglalók: 100. oldal)

3. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
Egyetemi hallgatók feladatmegoldó stratégiái a vegyületek összetételével kapcsolatos számításokban
XXII. Kémiatanári Konferencia, Veszprém, 2006. (Előadás összefoglalók: 99. oldal)

4. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
Képlettel vagy következtetéssel?
VI. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2006. (Tartalmi összefoglalók: 78. oldal)

5. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
Makro- és részecskeszint keveredése a tanulók feladatmegoldásában
XXIII. Országos Kémiatanári Konferencia, Budapest, 2008. (Előadás összefoglalók: 123. oldal)

6. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
Tanulók feladatmegoldó stratégiái és tudásszerkezete közötti összefüggés a vegyületek összetételével kapcsolatos számításokban
XXIII. Országos Kémiatanári Konferencia, Budapest, 2008. (Előadás összefoglalók: 122. oldal)

7. Tóth Zoltán, Sebestyén Annamária
A tanulók tudásszerkezetének, feladatmegoldó módszerének és sikerességének vizsgálata egyszerű kémiai számításokban
XII. Pedagógiai Értékelési Konferencia, Szeged, 2014. (Tartalmi összefoglalók: 73. oldal)

Nemzetközi konferenciákon bemutatott poszterek

8. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
A tanulók tudásszerkezetének és problémamegoldó stratégiájának kapcsolata egyszerű kémiai problémák megoldásában ("Sztöchiometriai számítás reakcióegyenlet alapján")
XIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, 2007. (Előadás összefoglalók: 166-169. oldal)

9. Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
A tanulók feladatmegoldó stratégiái a vegyületek összetételével kapcsolatos számításokban ("Vegyületek összetételének számítása")
XIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, 2007. (Előadás összefoglalók: 170-174. oldal)

10. Zoltán Tóth, Annamária Sebestyén
Relationship between students' knowledge structure and problem solving strategy in stoichiometry
9th European Conference on Research in Chemical Education, Isztambul, 2008. (Abstract Book: page 51.)

11. Zoltán Tóth, Annamária Sebestyén
Hungarian students' knowledge structure and problem solving strategy in solving simple stoichiometric problems
10th European Conference for Chemistry Teachers, Salzburg, 2009. (Book of Congress: page 82.)

Az értekezés témájához közvetlenül nem kapcsolódó közlemény

Magyar nyelvű, lektorált folyóiratban megjelent közlemény

Kiss Edina, Sebestyén Annamária, Tóth Zoltán
A tanulók tévképzetei és fogalmi fejlődése a fizikai változás és kémiai változás témakörében
A Kémia Tanítása, XIII. évfolyam, 4. szám (2005), 11-22. oldal
http://www.matarka.hu/egy-kozlemeny-oldala.php?MatarkaID=255820

1. függelék: Az egyes feladatlapok megírt tanulók megoszlása iskolatípusonként a 9. és a 10. évfolyamokon

	Gimnázium			Szakközépsikola	Szakmunkásképző Szakiskola
	4 évfolyamos	**6 évfolyamos**	**8 évfolyamos**		
E-1 feladatsor					
9. évfolyam	174 fő	7 fő	47 fő	136 fő	
		63%		37%	
10. évfolyam	239 fő	28 fő	21 fő	54 fő	
		84%		16%	
V-1 feladatsor					
9. évfolyam	149 fő	7 fő	40 fő	136 fő	
		61%		39%	
10. évfolyam	170 fő	15 fő	28 fő	92 fő	21 fő
		67%		27%	6%
R-1 feladatsor					
9. évfolyam	228 fő	7 fő	42 fő	131 fő	
		68%		32%	
10. évfolyam	233 fő	17 fő	24 fő	65 fő	23 fő
		76%		18%	6%

2. függelék: Az egyes feladatlapok Cronbach-alfa értékei évfolyamonként

	7. évfolyam	8. évfolyam	9. évfolyam	10. évfolyam
E-1 feladatsor	0,726	0,776	0,814	0,823
V-1 feladatsor	0,804	0,831	0,857	0,845
R-1 feladatsor	0,804	0,732	0,781	0,761

3. függelék: A tankönyvekben előforduló megoldási módszerek

Megoldási módszerek	Hány tankönyvben található?	Mely tankönyvekben jelenik meg?
mólmódszer bemutatása számolási példán keresztül	8	1., 13., 17., 23., 25., 27., 28., 29.,
hármasszabály bemutatása számolási példán keresztül	10	1., 3., 4., 5., 7., 8., 16., 17., 20., 25.,

4. függelék: A tankönyvekben előforduló számolási technikák

Számolási technikák	Hány tankönyvben található?	Mely tankönyvekben jelenik meg?
tömeg számolásának bemutatása képlettel számolási példán keresztül	13	1., 7., 12., 13., 14., 16., 17., 18, 23., 25., 27., 28., 29.
térfogat számolásának bemutatása képlettel számolási példán keresztül	4	13., 16., 18., 29.,
tömeg számolásának bemutatása következtetéssel számolási példán keresztül	1	7.
térfogat számolásának bemutatása következtetéssel számolási példán keresztül	–	–

5. függelék: Az évfolyamok megoldottságára jellemző statisztikai adatok a teljes feladatlapon

évfolyam	**létszám** (fő)	**megoldottság és szórás** (%)	relatív szórás (%)
7.	160	36,8 ± 26,1	70,8
8.	210	44,8 ± 30,1	67,3
9.	364	42,7 ± 32,1	75,1
10.	338	38,8 ± 32,6	84,1
összesen	1072	**41,0** ± 31,1	–

6. függelék: Korrelációs együtthatók az egyes feladatok és a háttérváltozók között a teljes populációra az E-1 feladatlap esetén

	évfolyam	**nem**	**kémia**	**matek**	**1. fel.**	**2. fel.**	**3. fel.**	**4. fel.**	**5. fel.**	**6. fel.**	**7. fel.**	**összpont**
évfolyam	1	-0,003	-0,257	-0,271	0,049	-0,096	0,127	-0,019	-0,031	-0,076	0,066	-0,005
nem		1	-0,113	-0,091	-0,006	0,063	-0,051	0,005	0,002	-0,001	0,003	0,005
kémia			1	**0,653**	0,234	0,309	0,277	0,329	0,342	0,351	0,232	0,443
matek				1	0,300	0,375	0,298	0,335	0,401	0,393	0,241	0,501
1. fel.					1	0,340	0,375	0,309	0,313	0,314	0,353	**0,633**
2. fel.						1	0,296	0,329	0,371	0,348	0,224	**0,626**
3. fel.							1	0,295	0,359	0,340	0,509	**0,642**
4. fel.								1	**0,592**	0,469	0,275	**0,711**
5. fel.									1	**0,595**	0,315	**0,769**
6. fel.										1	0,336	**0,735**
7. fel.											1	**0,597**
összpont												1

7. függelék: Az évfolyamok teljesítményét jellemző statisztikai adatok az egyes feladatok esetén

		teljesítmény és szórás (%)			
		feladat			
évfolyam	**létszám** (fő)	**1.**	**2.**	**3.**	**4.**
7.	160	22,5±41,9	70,0±46,0	7,50±26,4	51,3±50,1
8.	210	36,7±48,3	68,1±46,7	17,1±37,8	48,6±50,1
9.	364	36,0±48,1	62,6±48,4	24,5±43,0	51,7±50,0
10.	338	32,8±47,0	57,4±49,5	23,1±42,2	47,3±50,0
összesen	1072	**33,1**±47,1	**63,2**±48,3	**20,1**±40,1	**49,6**±50,0
		feladat			
évfolyam	**létszám** (fő)	**5.**	**6.**	**7.**	
7.	160	48,1±50,1	53,1±50,1	5,00±21,9	
8.	210	57,1±49,6	64,3±48,0	21,4±41,1	
9.	364	54,4±49,9	55,2±49,8	14,8±35,6	
10.	338	46,8±50,0	47,0±50,0	17,2±37,8	
összesen	1072	**51,6**±50,0	**54,1**±49,9	**15,4**±36,1	

8. függelék: Az évfolyamok teljesítményét jellemző statisztikai adatok az összetett feladatban megjelenő megoldási módszer alapján az összetett feladatban

	mólmódszer		**hármasszabály**		**nincs és nem azonosítható megoldási módszer**	
évfolyam	**létszám** (fő)	**teljesítmény** (%)	**létszám** (fő)	**teljesítmény** (%)	**létszám** (fő)	**teljesítmény** (%)
7.	12	33,3	9	44,4	139	0,00
8.	32	62,5	33	66,7	141	0,710
9.	66	47,0	42	45,2	251	0,400
10.	38	52,6	66	57,6	230	0,430

9. függelék: Az évfolyamokra jellemző megoldottság az összetett feladatban megjelenő megoldási módszer alapján a teljes feladatlapon

	mólmódszer	**hármasszabály**	**nincs és nem azonosítható megoldási módszer**
évfolyam	**megoldottság** (%)	**megoldottság** (%)	**megoldottság** (%)
7.	72,6	66,7	31,8
8.	74,1	67,5	32,2
9.	73,4	61,2	30,7
10.	71,4	69,5	24,2

10. függelék: Az évfolyamokra jellemző megoldottság az 1. és a 2. feladatban megjelenő számolási technika alapján az 1. és 2. feladatban

	képlet		**következtetés**		**nincs és nem azonosítható megoldási módszer**	
évfolyam	**létszám** (fő)	**megoldottság** (%)	**létszám** (fő)	**megoldottság** (%)	**létszám** (fő)	**megoldottság** (%)
7.	68	62,5	57	68,4	35	17,1
8.	81	67,9	84	75,0	45	17,8
9.	172	64,5	136	70,6	56	9,82
10.	154	63,9	104	62,0	81	18,5

11. függelék: Az évfolyamokra jellemző megoldottság az 1. és a 2. feladatban megjelenő számolási technika alapján az öt feladatban

	képlet	**következtetés**	**nincs és nem azonosítható megoldási módszer**
évfolyam	**megoldottság** (%)	**megoldottság** (%)	**megoldottság** (%)
7.	41,2	46,6	13,7
8.	48,4	59,2	10,7
9.	48,2	52,6	9,64
10.	50,8	49,6	15,6

12. függelék: Az évfolyamokra jellemző megoldottság az összetett feladatot jól és rosszul megoldó tanulók esetén a teljes feladatlapon

	„jók”		**„rosszak”**	
évfolyam	**létszám** (fő)	**megoldottság** (%)	**létszám** (fő)	**megoldottság** (%)
7.	8	89,3	152	33,9
8.	46	79,5	164	35,1
9.	54	88,4	310	34,8
10.	61	82,4	277	29,3

13. függelék: Az évfolyamok teljesítményét jellemző statisztikai adatok a lányok és a fiúk feladatmegoldásában az összetett feladatra

	lányok		**fiúk**	
évfolyam	**létszám** (fő)	**teljesítmény** (%)	**létszám** (fő)	**teljesítmény** (%)
7.	84	6,02	76	3,95
8.	104	20,2	106	23,6
9.	209	12,9	155	17,4
10.	172	21,5	166	14,4

14. függelék: Az évfolyamokra jellemző megoldottság a lányok és a fiúk feladatmegoldásában a teljes feladatlapon

	lányok		**fiúk**	
évfolyam	**létszám** (fő)	**megoldottság** (%)	**létszám** (fő)	**megoldottság** (%)
7.	84	34,1	76	40,0
8.	104	44,6	106	45,0
9.	209	40,5	155	45,7
10.	172	42,6	166	35,1

15. függelék: A tankönyvekben megjelenő megoldási módszerek

Megoldási módszerek	**Hány tankönyvben található?**	**Mely tankönyvekben jelenik meg?**
mólmódszer bemutatása számolási példán keresztül	4	7., 13., 17., 29
hármasszabály bemutatása számolási példán keresztül	4	7., 13., 17., 29

16. függelék: Az évfolyamok megoldottságára jellemző statisztikai adatok a teljes feladatlapon

évfolyam	**létszám** (fő)	**megoldottság és szórás** (%)	relatív szórás (%)
7.	166	36,6 ± 28,6	78,1
8.	201	47,6 ± 30,8	64,7
9.	349	41,7 ± 32,3	77,5
10.	342	43,0 ± 31,4	73,2
összesen	1058	**42,4** ± 31,3	–

17. függelék: Korrelációs együtthatók az egyes feladatok és a háttérváltozók között

	évf.	**nem**	**kémia**	**matek**	**módsz1**	**módsz2**	**1. fel.**	**2. fel.**	**3. fel.**	**4. fel.**	**5. fel.**	**6. fel.**	**7. fel.**	**8. fel.**	**9. fel.**	**összp.**
évf.	1	0,027	-0,279	-0,253	-0,012	-0,019	0,047	0,017	0,025	0,050	0,000	0,018	0,075	0,025	-0,001	0,038
nem		1	-0,111	-0,123	0,012	-0,010	0,084	0,038	0,053	0,066	0,061	0,045	0,097	0,058	0,020	0,082
kémia			1	**0,634**	0,246	0,295	0,287	0,390	0,289	0,291	0,273	0,335	0,247	0,331	0,326	0,448
matek				1	0,284	0,326	0,310	0,368	0,336	0,291	0,301	0,392	0,230	0,339	0,392	0,479
módsz1					1	**0,783**	**0,569**	0,502	0,317	0,235	0,302	0,307	0,263	0,266	0,299	0,537
módsz2						1	0,524	**0,595**	0,318	0,261	0,324	0,349	0,241	0,272	0,329	0,564
1. fel.							1	**0,693**	0,411	0,321	0,334	0,401	0,308	0,327	0,344	**0,751**
2. fel.								1	0,439	0,,383	0,385	0,492	0,338	0,395	0,407	**0,802**
3. fel.									1	0,316	0,366	0,472	0,287	0,289	0,457	**0,663**
4. fel.										1	0,380	0,390	0,337	**0,705**	0,362	**0,590**
5. fel.											1	0,393	0,400	0,414	0,367	**0,614**
6. fel.												1	0,307	0,385	**0,707**	**0,744**
7. fel.													1	0,404	0,321	**0,568**
8. fel.														1	0,383	**0,605**
9. fel.															1	**0,701**
összp.																1

18. függelék: Az évfolyamok teljesítményét jellemző statisztikai adatok az egyes feladatok esetén

		teljesítmény és szórás (%)				
		feladat				
évfolyam	**létszám** (fő)	**1.**	**2.**	**3.**	**4.**	**5.**
7.	166	40,4±49,2	32,5±47,0	60,8±49,0	24,7±43,3	36,8±48,4
8.	201	50,8±50,1	47,8±50,1	76,1±42,7	36,3±48,2	38,8±48,9
9.	349	47,3±50,0	37,8±48,6	67,9±46,8	33,5±47,3	37,0±48,3
10.	342	49,4±50,1	38,9±48,8	66,1±47,4	33,6±47,3	38,9±48,8
összesen	1058	**47,5**±50,0	**39,2**±48,8	**67,8**±46,8	**32,7**±46,9	**37,9**±48,5

		feladat			
évfolyam	**létszám** (fő)	**6.**	**7.**	**8.**	**9.**
7.	166	49,4±50,1	12,1±32,7	19,3±39,6	53,6±50,0
8.	201	59,2±49,3	21,9±41,5	30,4±46,1	67,2±47,1
9.	349	49,9±50,0	22,1±41,5	24,1±42,8	55,6±49,8
10.	342	56,7±49,6	17,3±37,8	26,0±43,9	60,2±49,0
összesen	1058	**53,8**±49,9	**18,9**±39,2	**25,1**±43,4	**59,0**±49,2

19. függelék: A két feladatcsoportra jellemző megoldottság évfolyamonként

		megoldottság (%)	
évfolyam	**létszám** (fő)	**1. csoport**	**2. csoport**
7.	166	38,1	35,1
8.	201	48,5	45,7
9.	349	43,9	39,8
10.	342	44,3	40,6
összesen	1058	**44,0**	**40,5**

20. függelék: Az egyes megoldási módszereket választó tanulók száma a két összetett feladatban

1. feladat	**2. feladat**			
	mólmódszer	**hármasszabály**	**kevert módszer**	**nincs és nem azonosítható megoldási módszer**
mólmódszer	**57**	6	8	14
hármasszabály	2	**136**	11	18
kevert módszer	6	20	**107**	28
nincs és nem azonosítható megoldási módszer	4	13	13	**615**

21. függelék: Az 1. és a 2. feladatban elért teljesítmény évfolyamonként az 1. és a 2. feladatban megjelenő megoldási módszer alapján

	mólmódszer				hármasszabály			
	létszám (fő)		**teljesítmény** (%)		**létszám** (fő)		**teljesítmény** (%)	
évfolyam	**1. fel.**	**2. fel.**	**1. fel.**	**2. fel.**	**1. fel.**	**2. fel.**	**1. fel.**	**2. fel.**
7.	11	9	72,7	55,6	15	14	80,0	71,4
8.	23	12	82,6	83,3	44	47	84,1	80,9
9.	28	28	85,7	71,4	62	64	69,4	67,2
10.	24	20	83,3	80,0	46	50	91,3	72,0
	kevert módszer				**nincs és nem azonosítható megoldási módszer**			
	létszám (fő)		**teljesítmény** (%)		**létszám** (fő)		**teljesítmény** (%)	
évfolyam	**1. fel.**	**2. fel.**	**1. fel.**	**2. fel.**	**1. fel.**	**2. fel.**	**1. fel.**	**2. fel.**
7.	25	22	96,0	95,5	115	121	20,0	14,9
8.	34	35	85,3	88,6	100	107	17,0	15,9
9.	54	44	85,2	77,3	205	213	25,4	16,4
10.	48	39	85,4	82,1	224	233	29,5	21,0

22. függelék: Az évfolyamokra jellemző megoldottság az 1. és a 2. feladatban megjelenő megoldási módszer alapján az 1. és a 2. feladatcsoportban

	mólmódszer		**hármasszabály**	
	megoldottság (%)		**megoldottság** (%)	
évfolyam	**1. cs.**	**2. cs.**	**1. cs.**	**2. cs.**
7.	50,0	64,8	62,2	54,8
8.	64,5	65,3	62,2	60,0
9.	70,8	69,0	50,5	51,5
10.	61,8	65,8	56,2	51,3
	kevert módszer		**nincs és nem azonosítható megoldási módszer**	
	megoldottság (%)		**megoldottság** (%)	
évfolyam	**1. cs.**	**2. cs.**	**1. cs.**	**2. cs.**
7.	69,3	69,0	27,0	24,5
8.	68,2	68,2	32,2	29,8
9.	76,5	70,8	29,7	26,0
10.	64,7	68,0	35,5	31,7

23. függelék: Az évfolyamokra jellemző megoldottság az 1. és a 2. feladatban megjelenő megoldási módszer alapján a teljes feladatlapon

	mólmódszer		**hármasszabály**	
	megoldottság (%)		**megoldottság** (%)	
évfolyam	**1.**	**2.**	**1.**	**2.**
7.	50,5	66,7	59,3	57,1
8.	62,8	65,7	61,4	62,9
9.	70,2	70,2	50,4	54,3
10.	63,9	70,0	55,1	56,2
	kevert módszer		**nincs és nem azonosítható megoldási módszer**	
	megoldottság (%)		**megoldottság** (%)	
évfolyam	**1.**	**2.**	**1.**	**2.**
7.	69,3	70,7	25,2	25,8
8.	69,6	70,8	30,6	31,3
9.	73,3	74,2	26,8	27,4
10.	63,7	70,9	33,9	33,2

24. függelék: A tankönyvekben előforduló megoldási módszerek

Megoldási módszerek	**Hány tankönyvben található?**	**Mely tankönyvekben jelenik meg?**
lépésenként I. bemutatása számolási példán keresztül	6	7., 8., 12., 13., 16., **18**.
lépésenként II. bemutatása számolási példán keresztül	–	–
összevontan bemutatása számolási példán keresztül	4	1., 8., 16., 23.

25. függelék: Az évfolyamok megoldottságára jellemző statisztikai adatok a teljes feladatlapon

évfolyam	**létszám** (fő)	**megoldottság és szórás** (%)	relatív szórás (%)
7.	192	22,5 ± 24,6	109
8.	198	24,5 ± 22,2	90,8
9.	408	26,6 ± 24,6	92,2
10.	362	22,9 ± 22,3	97,2
összesen	1160	**24,4** ± 23,5	–

26. függelék: Korrelációs együtthatók az egyes feladatok és a háttérváltozók között

	évfolyam	**nem**	**kémia**	**matek**	**1. fel.**	**2. fel.**	**3. fel.**	**4. fel.**	**5. fel.**	**6. fel.**	**7. fel.**	**8. fel.**	**összpont**
évfolyam	1	-0,008	-0,250	-0,258	0,075	-0,013	0,019	0,007	-0,019	-0,055	-0,010	0,005	0,006
nem		1	-0,095	-0,085	-0,005	0,089	0,058	0,069	0,079	0,043	0,092	0,120	0,094
kémia			1	**0,653**	0,239	0,223	0,212	0,192	0,191	0,282	0,222	0,184	0,349
matek				1	0,281	0,187	0,239	0,179	0,178	0,314	0,229	0,245	0,375
1. fel.					1	0,248	0,296	0,208	0,129	0,304	0,160	0,179	**0,561**
2. fel.						1	0,272	0,510	0,349	0,324	0,413	0,007	**0,666**
3. fel.							1	0,262	0,220	**0,563**	0,235	0,263	**0,681**
4. fel.								1	0,401	0,313	0,431	0,389	**0,636**
5. fel.									1	0,279	**0,581**	0,436	**0,570**
6. fel.										1	0,303	0,351	**0,727**
7. fel.											1	0,541	**0,626**
8. fel.												1	**0,638**
összpont													1

27. függelék: Az évfolyamok teljesítményét jellemző statisztikai adatok az egyes feladatok esetén

		teljesítmény és szórás (%)			
		feladat			
évfolyam	**létszám** (fő)	**1.**	**2.**	**3.**	**4.**
7.	192	54,2±50,0	15,1±35,9	45,3±49,9	10,9±31,3
8.	198	63,1±48,4	18,2±38,7	45,0±49,9	8,08±27,3
9.	408	64,0±48,1	16,7±37,3	53,4±49,9	12,3±32,8
10.	362	66,0±47,4	14,6±35,4	46,4±49,9	10,2±30,3
összesen	1160	61,8±48,5	16,2±36,8	47,5±49,9	10,4±30,4
		feladat			
évfolyam	**létszám** (fő)	**5.**	**6.**	**7.**	**8.**
7.	192	7,29±26,1	33,9±47,4	6,77±25,2	6,77±25,2
8.	198	4,04±19,7	41,4±49,4	6,57±24,8	9,60±29,5
9.	408	7,84±26,9	38,5±48,7	9,31±29,1	11,0±31,4
10.	362	4,70±21,2	28,5±45,2	5,52±22,9	7,46±26,3
összesen	1160	5,97±23,5	35,6±47,7	7,04±25,5	8,71±28,1

28. függelék: Az évfolyamok teljesítményét jellemző statisztikai adatok az összetett feladatban megjelenő megoldási módszer alapján az összetett feladatban

	lépésenként I.		**lépésenként II.**	
évfolyam	**létszám** (fő)	**teljesítmény** (%)	**létszám** (fő)	**teljesítmény** (%)
7.	60	6,67	12	41,7
8.	59	3,39	13	7,69
9.	119	5,88	20	40,0
10.	89	1,87	8	50,0
	összevontan		**nincs és nem azonosítható megoldási módszer**	
évfolyam	**létszám** (fő)	**teljesítmény** (%)	**létszám** (fő)	**teljesítmény** (%)
7.	18	22,2	102	1,96
8.	29	17,2	97	0,00
9.	57	28,1	212	0,470
10.	51	11,8	214	1,87

29. függelék: Az évfolyamokra jellemző megoldottság az összetett feladatban megjelenő megoldási módszer alapján a teljes feladatlapon

	megoldottság (%)			
évfolyam	**lépésenként I.**	**lépésenként II.**	**összevontan**	**nincs és nem azonosítható megoldási módszer**
7.	24,0	43,8	41,7	15,8
8.	27,5	39,4	35,3	17,4
9.	32,0	53,8	43,4	16,5
10.	34,7	68,8	32,4	14,1

VIII. MELLÉKLETEK

1. melléklet: A tanulók iskolák és évfolyamok alapján történő besorolása

Iskola neve (település)	**évfolyam** (fő)				
	7.	**8.**	**9.**	**10.**	**Összesen**
Mátészalkai Szakképzési Centrum Déri Miksa Szakképző Iskolája és Kollégiuma (Mátészalka)			34	106	140
Arany János Magyar-Angol Kéttannyelvű Általános és Alapfokú Művészeti Iskola (Ebes)	16	23			39
Tóth Árpád Gimnázium (Debrecen)			11		11
Petrik Lajos Két tanítási Nyelvű Vegyipari, Környezetvédelmi és Informatikai Szakközépiskola (Budapest)	9			21	30
ELTE Radnóti Miklós Gyakorló Általános Iskola és Gyakorló Gimnázium (Budapest)	18	25			43
Hőgyes Endre Gimnázium és Szakközépiskola (Hajdúszoboszló)			22		22
Berzsenyi Dániel Gimnázium (Budapest)			23		23
Salgótarjáni Általános Iskola Arany János Tagiskolája (Salgótarján)		16			16
Mezőberényi Petőfi Sándor Evangélikus Gimnázium és Kollégium (Mezőberény)				43	43
Deák Ferenc Gimnázium (Fehérgyarmat)	21	18	17	38	94
Bem József Műszaki Szakközép- és Szakiskola (Cegléd)				34	34
Tomory Lajos Pedagógiai és Helytörténeti Gyűjtemény (Budapest)	12	21		39	72
Paragvári Utcai Általános Iskola (Szombathely)	64	77			141
Földes Ferenc Gimnázium (Miskolc)		25	23		48
Debreceni Hatvani István Általános Iskola (Debrecen)	42	43			85
Debreceni Fazekas Mihály Gimnázium (Debrecen)	22	21	83	52	178
Zrínyi Ilona Gimnázium és Kollégium (Nyíregyháza)			62	17	79
Debreceni Gönczy Pál Általános Iskola (Debrecen)	16	27			43
Debreceni Szakképzési Centrum Péchy Mihály Építőipari Szakgimnáziuma (Debrecen)			91	61	152
Hermann Ottó Gimnázium (Miskolc)		14	44		58
Török Ignác Gimnázium (Gödöllő)		35	31	31	97
Kossuth Lajos Gimnázium, Szakképző Iskola, Általános Iskola és Kollégium (Tiszafüred)	27	59			86
DE Kossuth Lajos Gyakorló Általános Iskolája (Debrecen)	14	16	21		51
Eötvös József Gimnázium (Budapest)	27	53		8	88
Debreceni Református Kollégium Dóczy Gimnáziuma (Debrecen)	43	47	43	20	153

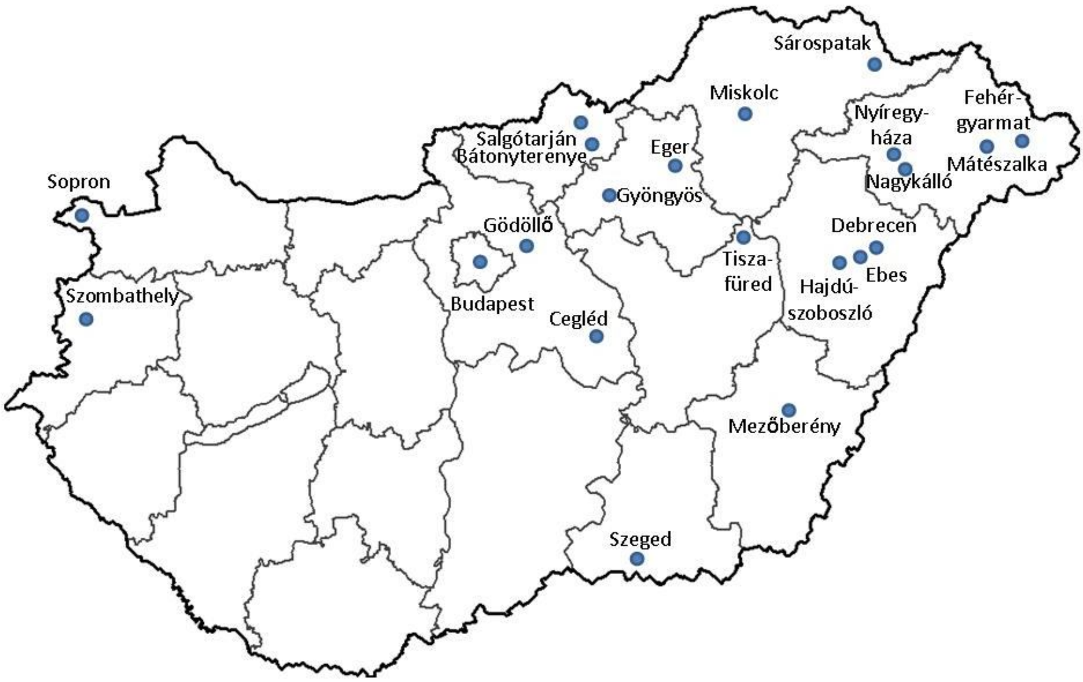
Iskola neve (település)	**évfolyam** (fő)				
	7.	**8.**	**9.**	**10.**	**Összesen**
Petőfi Sándor Közgazdasági Szakközépiskola és Gimnázium (Budapest)			30	46	76
Debreceni Ady Endre Gimnázium (Debrecen)				58	58
Váci Mihály Gimnázium (Bátonyterenye)	9		16	11	36
DE Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma és Általános Iskolája (Debrecen)	50		25	92	167
Berzsenyi Dániel Evangélikus Gimnázium és Kollégium (Sopron)	19	22	24	9	74
Diósgyőri Gimnázium (Miskolc)	22	22	21	23	88
Egri Szakképzési Centrum Kossuth Zsuzsanna Szakgimnáziuma, Szakközépiskolája, Kollégiuma és Könyvtára (Eger)	25		45	67	137
Nyíregyházi Egyetem Környezettudományi Tanszék (Nyíregyháza)	29	38	49	68	184
Debreceni Szakképzési Centrum Beregszászi Pál Szakgimnáziuma és Szakközépiskolája (Debrecen)			57	83	140
Szegedi Szakképzési Centrum Kossuth Zsuzsanna Szakképző Iskolája (Szeged)			39	19	58
Gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium (Gyöngyös)			39	18	57
Debreceni Szakképzési Centrum Irinyi János Szakgimnáziuma és Szakközépiskolája (Debrecen)			61	24	85
Korányi Frigyes Gimnázium és Kollégium (Nagykálló)			14	16	30
Debreceni Szakképzési Centrum Vegyipari Szakgimnáziuma (Debrecen)			100		100
Kék Általános Iskola (Budapest)	26	30	5		61
Fényi Gyula Jezsuita Gimnázium és Kollégium (Miskolc)	7	9	9	37	62
Sárospataki Református Kollégium Gimnáziuma, Általános Iskolája és Diákotthona (Sárospatak)		21	29	1	51

2. melléklet: A vizsgálatban résztvevő iskolák

Iskola kódja	Iskola neve	Iskola címe	Kapcsolattartó pedagógus
01	Mátészalkai Szakképzési Centrum Déri Miksa Szakképző Iskolája és Kollégiuma	4700 Mátészalka Baross utca 9-11.	Mitró Gabriella
02	Arany János Magyar-Angol Kéttannyelvű Általános és Alapfokú Művészeti Iskola	4211 Ebes Széchenyi tér 5.	Sebestyén Annamária
03	Tóth Árpád Gimnázium	4024 Debrecen Szombathi I. utca 12.	Hotziné Pócsi Anikó
04	Petrik Lajos Két Tanítási Nyelvű Vegyipari, Környezetvédelmi és Informatikai Szakközépiskola	1146 Budapest Thököly út 48-54.	Surányi Istvánné
05	ELTE Radnóti Miklós Gyakorló Általános Iskola és Gyakorló Gimnázium	1146 Budapest Cházár András utca 10.	Balázs Katalin
06	Hőgyes Endre Gimnázium és Szakközépiskola	4200 Hajdúszoboszló Rákóczi út 44.	Tóth Magdolna
07	Berzsenyi Dániel Gimnázium	1133 Budapest Kárpáti út 49-53.	Siegler János
08	Salgótarjáni Általános Iskola Arany János Tagiskolája	3104 Salgótarján Budapesti út 66.	Dudok Györgyné
09	Mezőberényi Petőfi Sándor Evangélikus Gimnázium és Kollégium	5650 Mezőberény Petőfi út 13-15.	Tóth Julianna
10	Deák Ferenc Gimnázium	4900 Fehérgyarmat Kiss Ernő út 3.	Kocsisné Gregus Mária
11	Bem József Műszaki Szakközép- és Szakiskola	2700 Cegléd Jászberényi út 2.	Fernengel Katalin
12	Tomory Lajos Pedagógiai és Helytörténeti Gyűjtemény	1181 Budapest Kondor Béla sétány 10.	Maadainé Borbély Mária
13	Paragvári Utcai Általános Iskola	9700 Szombathely Paragavári utca 2.	Martonné Ruzsa Valéria
14	Földes Ferenc Gimnázium	3525 Miskolc Kelemen Didák u. 5.	Medve Judit
15	Debreceni Hatvani István Általános Iskola	4028 Debrecen Kardos utca 18-24.	Bertók Krisztina
16	Debreceni Fazekas Mihály Gimnázium	4025 Debrecen Hatvan utca 44.	Andirkóné Soós Emese
17	Zrínyi Ilona Gimnázium és Kollégium	4400 Nyíregyháza Széchenyi utca 29-37.	Soós Andrea
18	Debreceni Gönczy Pál Általános Iskola	4225 Debrecen-Józsa Gönczy Pál utca 1-3.	Kluknavszky Ágnes
19	Debreceni Szakképzési Centrum Péchy Mihály Építőipari Szakgimnáziuma	4024 Debrecen Varga utca 5.	Demeterné Kozma Zsuzsa
20	Hermann Ottó Gimnázium	3525 Miskolc Tízeshonvéd utca 21.	Vargáné Jacsó Hedvig
21	Török Ignác Gimnázium	2100 Gödöllő Petőfi Sándor utca 2.	Karasz Gyöngyi

Iskola kódja	Iskola neve	Iskola címe	Kapcsolattartó pedagógus
22	Kossuth Lajos Gimnázium, Szakképző Iskola, Általános Iskola és Kollégium	5350 Tiszafüred Baross utca 36.	Jakab Tibor
23	DE Kossuth Lajos Gyakorló Általános Iskolája	4024 Debrecen Kossuth utca 33.	Tóth Györgyné
24	Eötvös József Gimnázium	1053 Budapest Reáltanoda utca 7.	Dancsó Éva
25	Debreceni Református Kollégium Dóczy Gimnáziuma	4024 Debrecen Kossuth utca 35.	Jakab Edit
26	Petőfi Sándor Közgazdasági Szakközépiskola és Gimnázium	1158 Budapest Ady E. utca 31-33.	Pilbath Zsuzsa
27	Debreceni Ady Endre Gimnázium	4024 Debrecen Liszt Ferenc utca 1.	Kertiné Szakáll Anna
28	Váci Mihály Gimnázium	3078 Bátonyterenye Váci út 5.	Kakuk Erika
29	DE Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma és Általános Iskolája	4029 Debrecen Csengő utca 4.	Dr. Bohdaneczky Lászlóné
30	Berzsenyi Dániel Evangélikus Gimnázium és Kollégium	9400 Sopron Széchenyi tér 11.	Dr. Molnár József
31	Diósgyőri Gimnázium	3534 Miskolc Kiss tábornok utca 42.	Bodnár Judit
32	Egri Szakképzési Centrum Kossuth Zsuzsanna Szakgimnáziuma, Szakközépiskolája, Kollégiuma és Könyvtára	3300 Eger Bem tábornok utca 3.	Matúzné Nagy Ildikó
33	Nyíregyházi Egyetem Környezettudományi Tanszék	4400 Nyíregyháza Sóstói út 31/B.	Sarka Lajos
34	Debreceni Szakképzési Centrum Beregszászi Pál Szakgimnáziuma és Szakközépiskolája	4032 Debrecen Jerikó utca 17.	Dr. Kiss Edina
35	Szegedi Szakképzési Centrum Kossuth Zsuzsanna Szakképző Iskolája	6724 Szeged Kodály tér 1.	Kószó Katalin
36	Gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium	3200 Gyöngyös Kossuth utca 33.	Dr. Ludányi Lajos
37	Debreceni Szakképzési Centrum Irinyi János Szakgimnáziuma és Szakközépiskolája	4024 Debrecen Irinyi utca 1.	Tóth Albertné
38	Korányi Frigyes Gimnázium és Kollégium	4320 Nagykálló Korányi utca 27.	Szuhi Erika
39	Debreceni Szakképzési Centrum Vegyipari Szakgimnáziuma	4024 Debrecen Csapó utca 29-35.	Bárány Zsolt Béla
40	Kék Általános Iskola	1213 Budapest Szent László utca 84.	Dobóné Dr. Tarai Éva
41	Fényi Gyula Jezsuita Gimnázium és Kollégium	3529 Miskolc Fényi Gyula tér 10.	Dr. Velkey László
42	Sárospataki Református Kollégium Gimnáziuma, Általános Iskolája és Diákotthona	3950 Sárospatak Rákóczi út 1.	Búzásné Nagy Gabriella

3. melléklet: A vizsgálatban részt vevő iskolák elhelyezkedése Magyarországon



4. melléklet: A vizsgálathoz használt feladatlapok

Reakcióegyenlet alapján történő számításokat tartalmazó feladatlap

E-1

A tanuló osztálya:

A tanuló iskolájának típusa:

A tanuló neme:

A tanuló félévi kémia osztályzata:

A tanuló félévi matematika osztályzata:

A következő oldalakon lévő 1-7. feladatokat tetszőleges sorrendben is megoldhatod.

Megoldásodat a feladat szövege után következő üres helyre írd be!

A megoldáshoz csak zsebszámológépet használhatsz.

1. Hány mol molekula van 6,00 dm^3 standardállapotú klórgázban, ha a klórgáz moláris térfogata 24,5 dm^3/mol?

2. Mekkora a tömege 5,00 mol metánmolekulának, ha a metán moláris tömege 16,0 g/mol?

3. Hány mol hidrogéngáz fejlődik 0,300 mol alumíniummal a következő reakcióegyenlet szerint: $2\,Al + 3\,H_2SO_4 = Al_2(SO_4)_3 + 3H_2$

4. 12,0 g magnézium kénsavban való oldásával 11,2 dm^3 hidrogéngáz fejlődik. Mekkora térfogatú hidrogéngáz fejlődik, ha 8,00 g magnéziumot oldunk fel kénsavban?

5. Hány dm^3 ammóniagáz keletkezik 6,00 dm^3 hidrogéngázból azonos hőmérsékleten és nyomáson, ha 73,5 dm^3 hidrogéngázból 49,0 dm^3 ammóniagáz keletkezik?

6. Legalább mekkora tömegű *B* anyag szükséges ahhoz, hogy 16,0 g *A* anyag maradék nélkül elreagáljon, ha tudjuk, hogy 48,0 g *A* anyag 72,0 g *B* anyaggal reagál el maradék nélkül?

7. Hány g hidrogén-kloridra (M = 36,5 g/mol) van szükség 10,0 dm^3 standardállapotú CO_2-gáz (V_m = 24,5 dm^3/mol) fejlesztéséhez a következő reakcióegyenlet szerint?

$$Na_2CO_3 + 2\,HCl = 2\,NaCl + CO_2 + H_2O$$

Vegyületek összetételének számításával kapcsolatos feladatokat tartalmazó feladatlap

V-1

A tanuló osztálya:

A tanuló iskolájának típusa:

A tanuló neme:

A tanuló félévi kémia osztályzata:

A tanuló félévi matematika osztályzata:

A következő oldalakon lévő 1-9. feladatokat tetszőleges sorrendben is megoldhatod.

Megoldásodat a feladat szövege után következő üres helyre írd be!

A megoldáshoz csak zsebszámológépet használhatsz.

1. Hány gramm szén található 96,0 g MgC_2-ban, ha a magnézium moláris tömege 24,0 g/mol és a szén moláris tömege 12,0 g/mol?

2. Hány gramm lítium található 70,0 g Li_3N-ben, ha a lítium moláris tömege 7,00 g/mol és a nitrogén moláris tömege 14,0 g/mol?

3. Egy oxigéntartalmú vegyület 53,0 grammja 24,0 g oxigént tartalmaz. Hány gramm oxigén van a vegyület 159 grammjában?

4. Egy vegyületet alkotó elemek moláris tömegének aránya 2 : 1. A vegyületben az alkotó elemek anyagmennyiségének aránya 1 : 2. Mennyi az alkotó elemek tömegaránya a vegyületben?

5. Mekkora az anyagmennyisége annak a 20,0 g tömegű vegyületnek, amelynek moláris tömege 40,0 g/mol?

6. Egy vegyületben az alkotó elemek tömegaránya 2 : 3. Hány grammot tartalmaz a vegyület 150 grammja az alkotó elemekből?

7. Mekkora anyagmennyiségű hidrogénatom található 3,00 mol kénsav molekulában (H_2SO_4)?

8. Egy vegyületet alkotó elemek moláris tömegének aránya 3 : 1. A vegyületben az alkotó elemek anyagmennyiségének aránya 1 : 2. Mennyi az alkotó elemek tömegaránya a vegyületben?

9. Egy vegyületben az alkotó elemek tömegaránya 1 : 1. Hány grammot tartalmaz a vegyület 120 grammja az alkotó elemekből?

Makroszintű és részecskeszintű mennyiségeket tartalmazó számítási feladatokkal kapcsolatos feladatlap

R-1

A tanuló osztálya:

A tanuló iskolájának típusa:

A tanuló neme:

A tanuló félévi kémia osztályzata:

A tanuló félévi matematika osztályzata:

A következő oldalakon lévő 1-8. feladatokat tetszőleges sorrendben is megoldhatod.

Megoldásodat a feladat szövege után következő üres helyre írd be!

A megoldáshoz csak zsebszámológépet használhatsz.

A számításokhoz a következő adatokat használd!

MAGNÉZIUM:	**rendszám = 12**	**moláris tömeg = 24 g/mol**
OXIGÉN:	**rendszám = 8**	**moláris tömeg = 16 g/mol**
Avogadro-szám:	$N_A = 6{,}00 \cdot 10^{23}$ **1/mol**	

1. Mennyi az anyagmennyisége 48 g magnéziumatomnak?

2. Mekkora anyagmennyiségű oxigénatomban van 12 mol elektron?

3. Hány atom van 2,0 mol magnéziumban?

4. Mekkora anyagmennyiségű elektron van 48 g magnéziumatomban?

5. Mekkora tömegű oxigénatom tartalmaz $12 \cdot 10^{23}$ elektront?

6. Hány atom van 6,0 g magnéziumban?

7. Mekkora anyagmennyiségű oxigénatomban van $24 \cdot 10^{23}$ elektron?

8. Hány oxigénatomban van $32 \cdot 10^{23}$ elektron?

5. melléklet: Az ún. Potter-féle program alapján kapott értékek

```
>> kst
Response states:
   0    00000  24
  16    10000   1
   8    01000  30
   2    00010  10
  24    11000   9
  10    01010  42
   9    01001   1
  26    11010  23
  22    10110   1
  19    10011   1
  14    01110   1
  30    11110  10
  15    01111   1
  31    11111   6

Knowledge states:
   0    00000   0
   8    01000   0
   2    00010   0
  24    11000   0
  10    01010   0
  26    11010   0
  30    11110   0
  31    11111   0
  n=14 m=8  Population =160

  Knol.st.      Prob       Pred Pop    Pop   Chi Sq
   0  00000   0.14327    22.92375    24    0.05053
   8  01000   0.19060    30.49669    30    0.00809
   2  00010   0.08854    14.16652    10    1.22542
  24  11000   0.07830    12.52777     9    0.99340
  10  01010   0.24346    38.95435    42    0.23813
  26  11010   0.14913    23.86137    23    0.03109
  30  11110   0.06934    11.09362    10    0.10781
  31  11111   0.03735     5.97594     6    0.00010
ChisqT(8)= 2.6546
```

6. melléklet: A megoldási módszerek vizsgálatához használt tankönyvek

1. Kecskés Andrásné, Rozgonyi Jánosné: Kémia 7., Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, 2003.
2. Kecskés Andrásné, Rozgonyi Jánosné: Kémia 8., Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, 2003.

3. Dr. Siposné Dr. Kedves Éva, Horváth Balázs, Péntek Lászlóné: Kémia 7., Kémiai alapismeretek, Mozaik Kiadó, Szeged, 2005.
4. Dr. Siposné Dr. Kedves Éva, Horváth Balázs, Péntek Lászlóné: Kémia 8., Szervetlen kémia, Mozaik Kiadó, Szeged, 2005.
5. Dr. Siposné Dr. Kedves Éva, Horváth Balázs, Péntek Lászlóné: Kémia 9., Általános kémiai ismeretek, Mozaik Kiadó, Szeged, 2003.
6. Dr. Siposné Dr. Kedves Éva, Horváth Balázs, Péntek Lászlóné: Kémia 10., Szerves kémiai ismeretek, Mozaik Kiadó, Szeged, 2005.

7. Z. Orbán Erzsébet: Kémia az általános iskolák 7. osztálya számára, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2003.
8. Z. Orbán Erzsébet: Kémia I., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.
9. Z. Orbán Erzsébet: Kémia II., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1997.
10. Z. Orbán Erzsébet: Kémia III. a 9. évfolyam számára, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998.
11. Z. Orbán Erzsébet: Kémia IV. a 10. osztály számára, Szerves kémia, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999.

12. Nadrainé Horváth Katalin, Varga Imréné: Kémia I. reál érdeklődésű diákok számára, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.
13. Nadrainé Horváth Katalin: Kémia II. reál érdeklődésű diákok számára, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1997.
14. Nadrainé Horváth Katalin: Kémia III. reál érdeklődésű diákok számára, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998.
15. Nadrainé Horváth Katalin: Kémia IV., Szerves kémia, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1999.

16. Villányi Attila: Kémia I., Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998.
17. Villányi Attila: Kémia II., Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999.
18. Villányi Attila: Kémia III., Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2000.

19. Balázs Lórántné, Kiss Zsuzsa: Kémia, Általános kémia, Környezeti kémia, Calibra Kiadó, Budapest, 1993.
20. Balázs Lórántné, Tóth Zsuzsa: Kémia, Nemfémes elemek és vegyületeik, Calibra Kiadó, Budapest, 1993.
21. Tóth Zsuzsa: Kémia, Fémek, Calibra Kiadó, Budapest, 1994.
22. Albert Viktor: Kémia II., Szerves kémia, Calibra Kiadó, Budapest, 1994.

23. Balázs Lórántné, J. Balázs Katalin: Kémia tankönyv az általános iskolák 7. osztálya számára, Apáczai Kiadó, Celldömölk, 2004.
24. Balázs Lórántné, J. Balázs Katalin: Kémia tankönyv az általános iskolák 8. osztálya számára, Apáczai Kiadó, Celldömölk, 2004.

25. Balázs Lórántné, J. Balázs Katalin: Kémia I. alapfokon 13-14 éveseknek, Calibra Kiadó, Budapest, 1996.
26. Balázs Lórántné, J. Balázs Katalin: Kémia II. alapfokon 14-15 éveseknek, Calibra Kiadó, Budapest, 1996.

27. Zsuga Jánosné: Kémia 12-13 éveseknek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1997.
28. Kasza Istvánné, Zsuga Jánosné: Kémia 13-14 éveseknek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1997.

29. Dr. Boksay Zoltán: Kémia 9. a gimnáziumok számára, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2001.
30. Dr. Pfeiffer Ádám: Kémia 10. a gimnáziumok számára, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.

31. Dr. Büki András, Oláh Zsuzsa: Kémia 9. a középiskolák számára, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2001.
32. Dr. Büki András, Oláh Zsuzsa: Kémia 10. a középiskolák számára, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.

33. Z. Orbán Erzsébet: Kémia 9. a szakiskolák számára, Korona Kiadó, Budapest, 2001.

34. Dr. Kisfaludi Andrea: Kémia a szakiskolák számára, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2001.

35. Maróthy Miklósné: Kémia 12-14 éveseknek, Konsept-H Kiadó, Piliscsaba, 1995.