Riedel Miklós[1] – Füzesi István[2] – Rózsahegyi Márta[1] – Wajand Judit[1]

[1] ELTE Kémiai Intézet, [2] ELTE Bolyai János Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, Szombathely

miklos.riedel@ttk.elte.hu | fuzesi.istvan@sek.elte.hu | marta.rozsahegyi@ttk.elte.hu | wajandj@gmail.com

Tanítható-e a kísérlettervezés az iskolákban?

A kémiaoktatás egyik eleme a tanulói kísérletezés. Ehhez jelenleg főként receptszerű tanulókísérleti leírásokat használnak az iskolákban. A kreatív gondolkodás és az élet azonban megkívánja azt, hogy egy probléma ismeretében a diák maga kísérelje meg egy kísérlet megtervezését és ennek alapján annak kivitelezését. Iskolai szinten természetesen csak nagyon egyszerű „kutatási kérdések” megválaszolására lehet korrekt természettudományos vizsgálatokat terveztetni a tanulókkal. Kérdés, hogy tanítható-e mindez.

A kutatásalapú kémiatanulás projektje

A Magyar Tudományos Akadémia 2016-ban négy tanévre szóló pályázatot hirdetett olyan oktatásmódszertani (tantárgy-pedagógiai) kutatások támogatására, amelyeknek célja új, komplex tanítási módszerek tudományos igényű megalapozása, a szükséges oktatási segédletek (e-learning tananyagok, tankönyvek stb.) elkészítése, a kidolgozott módszerek iskolai bevezetése [1]. Kikötés volt mindezek hatékonyságának és eredményességének vizsgálata is.

A bírálóbizottság támogatásra érdemesnek tartotta az ELTE TTK Kémiai Intézetének a „Megvalósítható kutatásalapú kémiatanulás” című pályázatát. A kutatási terv egy korábbi projekt eredményein alapult [2]. Az egyik kérdés az volt, hogy a tanulók által megtervezett és elvégzett kísérletek segítik-e a tanulókat hosszú távon abban, hogy egy további probléma esetében is korrekt módon meg tudjanak tervezni és el tudjanak végezni egy természettudományos vizsgálatot. Másrészt fontos-e az, hogy a tanulók el is végezzék az általuk megtervezett kísérleteket abból a célból, hogy a kémiai ismertek elsajátításában és az újabb kísérletek tervezésében sikeresebbek legyenek az ezt el nem végző társaiknál. A projekt vállalásai közé tartozott a tanulókísérleti feladatlapok és a hozzájuk tartozó tanári segédletek elkészítése és nyilvánosságra hozatala is.

A pályázatban felvetett kérdések konkrétan a következők voltak:

1. Milyen reálisan megvalósítható célok tűzhetők ki a kutatásalapú tanulás alkalmazásában?

2. Milyen eredménnyel jár a kémia tanításában a receptszerű tanulókísérletezéssel szemben a kísérletterveztető módszer alkalmazása?

3. Fejlődik-e a tanulók kísérlettervező képessége akkor, ha kísérleteket kell megtervezniük, mielőtt végrehajtanák őket, ill. akkor, ha csak papíron terveznek kísérleteket?

4. Változik-e a tanulók kémia tantárggyal szemben mutatott attitűdje (ténybeli tudása és motivációja), ha megterveznek, illetve ha el is végeznek egyszerű kísérleteket?

Ebben az írásban ismertetjük a módszert, az oktatásmódszertani kutatás lebonyolítását, a feladatlapok kidolgozását, lektorálását, a végeredményre vonatkozó tapasztalatokat. Az elkészült oktatási segédanyagok [3, 4] a későbbi felhasználóknak, továbbá a hasonló gyűjtemények összeállítóinak is hasznosak lehetnek. A projekt tantárgy-pedagógiai tanulságai, a kérdőíves visszajelzések statisztikai feldolgozása a munkáról készült magyar [5] és nemzetközi [6, 7] publikációkban találhatók. Itt csak röviden foglalkozunk a tanulói tesztek eredményeinek és a tanári kérdőíves visszajelzéseknek az elemzésével.

A kutatás megszervezése

A kutatócsoportot a projekt teljes időtartamát tekintve 5 egyetemi oktató, 41 kémiatanár, továbbá 5 kémiatanár-jelölt hallgató alkotta. A projekt vezetője Szalay Luca, az ELTE Kémiaoktatás-módszertani Csoport vezetője volt. A munkában a tanáraik irányításával 18, hat- vagy nyolcosztályos gimnázium 31 osztálya/tanulócsoportja vett részt az egész országból. A tanulók induló létszáma a 2016/2017-es tanévben 920 volt. A diákok a projekt kezdetekor 12–13 évesek (7. osztályosok) voltak, és az eredetileg 4 évre tervezett projekt alatt a 10. osztályig végig tanultak kémiát. Felmenő rendszerben ugyanaz a tanulói minta vett részt a kísérletben, de csak azok teszteredményeit elemeztük, akik az adott időpontig az összes tesztet megírták.

A pedagógiai kísérlet indításakor az osztályokat/tanulócsoportokat véletlenszerűen osztottuk be a három alábbi csoportra, és a projekt végéig ugyanabban a számú csoportban maradtak.

1. csoport (kontrollcsoport). A tanulók csak receptszerűen leírt tanulókísérleteket végeztek el egy-egy megadott témában.

2. csoport. Ugyanazokat a receptszerűen leírt tanulókísérleteket végezték el, mint a kontrollcsoport, de emellett az első évben meg kellett tervezniük egy vagy két, a témához tartozó kísérletet, adott szempontok szerint. A második tanévtől kísérlettervezés helyett magyarázatot kaptak arra, hogy miért úgy kellett megtervezni a kísérleteket, ahogyan azt a recept számukra előírta.

3. csoport. Az 1. és a 2. csoporttal azonos kísérletek közül néhányat receptszerű leírás alapján hajtottak végre, a többit pedig a szükséges előzetes tudás birtokában saját maguk tervezték meg, és ennek alapján végezték el. A második tanévtől a kísérlettervezés előtt a feladatlapokon segítő kérdéseket és magyarázatot kaptak a természettudományos vizsgálatok megtervezésének legfontosabb elveiről.

A projekt minden évében 6 (azaz összesen 24) tanulói feladatlap és ehhez tartozó tanári útmutató készült mindhárom válto-

Sorszám	Cím	Téma	Osztály
2.	Hogyan működik a sütőpor?	fizikai és kémiai változások	7.
3.	Oldás és kötés	oldhatóság, oldhatatlanság	7.
5.	Segítsünk Hamupipőkének!	keverékek szétválasztása	7.
7.	Jamie Oliver tökéletes salátaöntete	sav-bázis reakciók, mennyiségi elemzés	8.
11.	Nem ettünk meszet!	mészégetés, mészoltás, a mészkő és a savas eső reakciója	8.
13.	Mire jó még a tűzijáték?	sók lángfestése	9.
17.	Az indikátoroktól az országzászlóig	sav-bázis reakciók, hidrolízis	9.
22.	Megeheted-E?	szerves savak és észterek, E-számok	10.
23.	Mennyi a C-vitamin a narancslében?	titrálás, mérési hibák	10.

1. táblázat. Néhány feladatlap címe és témája

zatban **(1. táblázat)**. Egy feladatlap elvégzésére 1 tanórát szántunk, azaz tanévenként 6 tanórát vett igénybe ezek kitöltése. A diákok a projekt kezdetén a tudásukat felmérő tesztet (0. teszt) és minden egyes tanév végén az eredményességet felmérő teszteket (1. teszt, 2. teszt stb.) töltöttek ki, Erre mindig 40 perc állt rendelkezésre.

Feladatlapok

Az első évben öt feladatlapot és a hozzá tartozó tanári útmutatót a kutatócsoport egyetemi oktató tagjai készítettek el, ez volt a minta a további évekre. Később a feladatlapokat egyre növekvő arányban a kutatásban részt vevő és erre vállalkozó tanárkollégák írták. Összesen nyolc gyakorló kémiatanár, négy egyetemi oktató és egy végzős kémiatanár-hallgató vett részt az írásos tananyagok elkészítésében. A feladatlapok szerzői Bárány Zsolt Béla, Borbás Réka, Böddiné Schróth Ágnes, Dancsó Éva, Ferenczyné Molnár Márta, Kiss Edina, Nagyné Hodula Andrea, Riedel Miklós, Rózsahegyi Márta, Szalay Luca, Szél Nikoletta, Tóthné Tarsoly Zita és Wajand Judit voltak.

Minden tanév kezdete előtt a kutatócsoport kiválasztotta az az évi tananyagból azt a hat témakört, amelyekhez folyamatosan elkészültek a feladatlapok. A kijelölésnél számos szempontot kellett figyelembe venni, ezek közül csak néhányat sorolunk fel:

- *A kémia köznapi, gyakorlati szerepének bemutatása.*
- *A tanulók érdeklődésének felkeltése.* A kémia nem népszerű tantárgy az iskolákban, ezért fontos az érdeklődés felkeltése már a foglalkozás elején. Ezt a célt szolgája a feladatlapok tartalma mellett azok címe is **(1. táblázat)**.
- *Fontos és nehéznek tartott témakörök is szerepeljenek a feladatok között.*
- *Időbeli korlátok.* Valamennyi feladatlapot 45 perces tanórára kellett tervezni. A kipróbálások azt bizonyították, hogy megfelelő előkészítéssel a feladatok elvégzése általában valóban belefért a tanórába.
- *Baleset- és környezetvédelmi szempontok.* Csak olyan kísérletek szerepelhettek a feladatlapokon, amelyeket az adott életkorú tanulók a csoportmunkában biztonságosan el tudtak végezni.
- *Egyszerűen kivitelezhető kísérletek legyenek.* Könnyen beszerezhető (a szertárban meglévő vagy a háztartásban fellelhető) eszközöket és anyagokat kelljen használni.

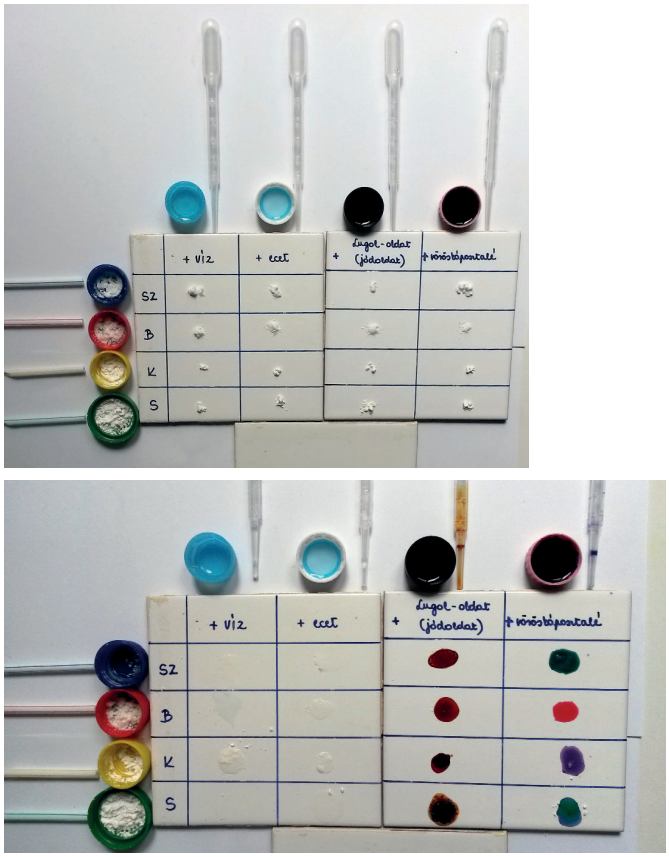
Egy-egy feladatlaphoz átlagosan 20 oldal terjedelmű anyag készült, és a felépítése egységesen a következő:

- *Módszertani útmutató.* A feladatlap eredményes megoldásához szükséges előismeretek felsorolása, a gyakorlat céljának ismertetése, a tananyag strukturált felsorolása, az aktuális módszertani megfontolások.
- *Technikai segédlet.* A gyakorlatok elvégzéséhez szükséges anyagok és eszközök felsorolása, a gyakorlatot megelőző előkészítési feladatok ismertetése, a balesetvédelem és a hulladékkezelés tennivalói. Gyakran szerepel az anyagokban a tanulók számára előkészített tálca fényképe **(1. ábra)**.

1. ábra. A tanulócsoportok számára előkészített kísérleti eszközök és anyagok tálcája (11. és 17. feladatlap)

- *Tanulói feladatlapok.* Az adott feladatlap háromféle változata, amelyeket a felhasználó tanárnak az adott óra előtt megfelelő példányszámban ki kellett nyomtatnia. Azért, hogy a sokszorosítás egyszerű és olcsó legyen, a tanulói feladatlap terjedelme általában 1 vagy 2 oldal.
- *Tanári feladatlap.* Itt szerepel a háromféle tanulói feladatlap helyesen kitöltve, továbbá a feladatlap szerzője sok hasznos módszertani tanácsot ad a gyakorlat lebonyolításához. A kísérletek várt eredményei sok esetben fényképpel vannak illusztrálva **(2.**

ábra). Az anyag esetenként kiegészítő szakmai ismereteket, érdekességeket is tartalmaz.



2. ábra. Egy előkésztett kísérlet és annak elvégzése után kapott eredmények (2. feladatlap)

A kísérletterveztetős feladatokra néhány példát a keretes szöveg mutat be. A receptszerű feladatokhoz nem mutatunk példákat, mert azok stílusa a praktikumokból, tankönyvekből ismert. A kísérletterveztetős feladatlap-változat módosított eszköz-előkészítést, a diákok számára pedig kevesebb direkt megadott információt jelentett **(3. ábra)**. A feladatlapok teljes szövege megtekinthető és letölthető a megadott linken [3].

3. ábra. A 22. feladatlap tanulócsoportonként előkészített kísérleti tálcája receptszerű, ill. kísérletterveztetős változatban

2. feladatlap. A sütőpor és három összetevője, a szódabikarbóna, a borkősav és a keményítő között ránézésre nehéz különbséget tenni. A sütőpor úgy működik, hogy amikor nedvesség éri, akkor szén-dioxid-gáz fejlődik belőle, ami felfújja a sütit. Vajon a sütőpor mely összetevőinek reakciójából keletkezik a szén-dioxid-gáz? Tervezzetek és végezzetek is el ennek kiderítésére egy kísérletet.

3. feladatlap. A tálcátokon található anyagok felhasználásával tervezzetek meg és hajtsatok végre egy kísérletet, amellyel el tudjátok dönteni, hogy az óraüvegen lévő jód inkább vízoldható vagy inkább zsíroldható anyag.

5. feladatlap. Hamupipőke meséjében a gonosz mostoha szándékosan összekeverte a lencsét hamuval és más szeméttel, és abból kellett a szegény kis árvának a lencsét kiválogatnia. Egy még gonoszabb mostoha vasreszeléket (1), réz-szulfátot (2), homokot (3) és mustármagot (4) kevert össze. A galambok helyett Ti segítsetek Hamupipőkének szétválasztani a keveréket a megismert vegyészi szétválasztási módszerek felhasználásával.

17. feladatlap. Három számozott kémcsőben ismeretlen sorrendben a következő oldatok azonos térfogatai vannak: KOH-oldat, Na_2CO_3-oldat és HNO_3-oldat. Mindegyik 0,1 mol/dm^3 koncentrációjú. Tervezzetek kísérletet a kémcsövek tartalmának meghatározásához! Állítsátok pH-értékük alapján növekvő sorrendbe az oldatokat! Tervezzétek meg, hogy az eddig felhasznált oldatok és indikátorok segítségével a tálcátokon lévő fehér csempén hogyan készítenétek el a magyar zászlót! Utána végezzétek is el a kísérletet!

Tapasztalatok a feladatlapok lektorálása során

Az anyagokat összesen sok szerző készítette, ezért nagy szükség volt a feladatlapok egységesítésére. A feladatlapok és a tesztfeladatok végső formába öntését, szakmai és pedagógiai ellenőrzését többkörös lektorálás biztosította. Ezen egyszerre mindig legalább négy lektor dolgozott (Riedel Miklós, Rózsahegyi Márta, Szalay Luca, Tóth Zoltán és Wajand Judit, mindig azok, akik nem voltak az adott feladatlap szerzői), akik sokszor egymással is vitatkozva alakították ki a végleges álláspontot. A tanárok így a szerzők által többszörösen javított feladatlapokat kapták meg kipróbálásra. A feladatlapok egységesítésében a legnagyobb gondot az egyes feladatok nehézségi fokában való különbségek, a nehezebb feladatok megoldásához a túl kevés idő, az időnként túl hosszú háttéranyag okozta. A projekt sikeres lebonyolításának előfeltétele, hogy a tantermi munka megszervezése érthető legyen, továbbá a tanulók a feladatlap kézbevételekor tisztában legyenek a munka zavartalan elvégzéséhez szükséges követelményekkel (pl. hány csoportban dolgoznak, azonos vagy különböző kísérleteket végeznek-e el stb.).

A szokásos lektori műveleteken túl ügyelni kellett arra is, hogy az egész anyag összhangban legyen a projekt céljával, a tantervekkel, a tanulók életkori sajátosságaival és meglévő ismeretszintjükkel, illetve a feladatlapok formai, tartalmi és sorrendi kívánalmaival. Fontos szempont volt, hogy érvényesül-e az egymásra épülés elve, illetve a feladatlap megoldásához elegendő-e a tanórán rendelkezésre álló idő, figyelembe véve a feladat nehézségi fokát is. Azt is vizsgáltuk, hogy a tanári demonstrációs kísérletek szükségesek-e és alkalmasak-e arra, hogy segítsék a ta-

nulókat a kísérlettervezési feladat megoldásában. Fontos volt az internetes források friss ellenőrzése is, mert a világhálón rengeteg hibás, megtévesztő információ kering, amelyek főként a tanulók, de időnként még a tanárok félrevezetésére is alkalmasak. A kísérletekhez szükséges anyagok időnkénti nehézkes beszerezhetősége miatt esetenként javasoltuk a háztartásban fellelhető anyagok használatát. Ez persze jár egy bizonyos fajta veszéllyel, miszerint ha egy anyag a kémiai kísérletezés tárgya, akkor már nem tekinthető konyhai, háztartási anyagnak. Ilyen szempontból is ellenőriztük a baleset- és környezetvédelemi szempontok érvényesülését is.

A tanárok és a diákjaik végül, az alapos előkészítés után gondosan kidolgozott anyagokat kaptak készhez a kísérletek fényképével, alkalmanként az értelmezést és a magyarázatot segítő ábrákkal stb. **(4. ábra)**. A projektben résztvevő tanárok visszajelzései is nagyon értékesek voltak. Egészében jól használhatónak tartották a feladatlapokat, de azok kipróbálása és az egész projekt befejezése után a pozitív visszajelzések mellett még mindig akadtak megfontolandó megjegyzések, amelyeket figyelembe vettünk az anyagok publikálása előtt.

4. ábra. 7. osztályos tanulók dolgoznak az 5. feladatlapon

Az év végi tesztek tapasztalatai

A tantárgy-pedagógiai kutatás adatai a tanulókkal megíratott tesztekből származnak. Az első tanév elején minden diáknak meg kellett írnia egy teljesítménymérő és attitűdvizsgáló tesztet (0. teszt), amellyel azt vizsgáltuk, hogy az 5. és 6. osztályos természetismeret tantárgy tanulása során milyen kép alakult ki a tanulókban az anyag szerkezetéről és a fizikai, ill. kémiai változásokról. Ezt követően, mind a négy tanév végén a diákok egy-egy tesztet írtak (1. teszt, 2. teszt stb.), amely a tényleges tudás, a kísérlettervező képesség és a kémia iránti attitűd változását mérte. Az összes teszt szerkesztett változatban hozzáférhető a [4] kiadványban. A keretes szöveg egy-egy jellemző kísérlettervező képességet mérő feladatot mutat be a négy évvégi utótesztből. A kísérletek elvégzéséből eredő tárgyi tudásra, valamint az attitűdre vonatkozó kérdéseket itt nem ismertetjük.

1. utóteszt. Egy szokatlanul rendetlen háztartásban felcímkézetlen dobozokban tárolják a következő anyagokat: 1. borkősav, 2. lúgkő (NaOH), 3. Hyperol (por alakban), 4. szódabikarbóna. Szeretnénk rendet teremteni, ezért mind a négy anyagból vizes oldatot készítettünk. A négyféle oldat azonosításához kizárólag fenolftaleinindikátort és üres kémcsöveket használhatunk, valamint az oldatokból vett minták egymáshoz is önthetők. Gondold végig és írd le, milyen kísérletek elvégzésével tudnád meghatározni, hogy melyik edényben melyik anyag van!

2. utóteszt. Három kémcső közül az egyikben ezüstionok, a másikban alumíniumionok, a harmadikban cinkionok színtelen vizes oldata van. Mellettük két fölcímkézett folyadéküveg egyikében ammóniaoldat, a másikban nátrium-hidroxid-oldat van. a) Minimum hány kémcső tartalmát kellene megvizsgálni ahhoz, hogy mindhárom kémcsőről el tudjuk dönteni, melyikben milyen iont tartalmazó oldat van? b) Az NH_3-oldat vagy az NaOH-oldat segítségével tudnánk-e meghatározni, hogy melyik kémcsőben melyik ion található? c) Hogyan kellene adagolni az általad kiválasztott oldatot? d) Írd le, mit tapasztalnál az alumíniumionok (Al^{3+}) esetében a fönti kísérlet elvégzésekor! (A kevés, ill. sok reagens alkalmazása esetén a tapasztalatokat a feladat mindkét reagensre külön-külön megadta.)

3. utóteszt. A következő három, felirat nélküli vízmintát szeretnénk azonosítani sav-bázis indikátorok segítségével. **A**) Esővíz, amely csak a szén-dioxid oldódása miatt enyhén savas, a pH-ja 5,6. **B**) Erősen szennyezett területen gyűjtött savas eső, a pH-ja 2,8. **C**) A Balatonból származó vízminta, amelynek a bázikus alapkőzet miatt a pH-ja 8,0. Maximum 2 vizsgálatot végezhetünk. A használható indikátorok (fenolftalein, brómtimolkék, kristályibolya, lakmusz, metilnarancs) adatait (színek és átcsapási tartomány) a feladat megadta. Hogyan járjunk el?

4. utóteszt. Négy számozott üvegben a következő négy anyag színtelen vizes oldata van: konyhasó, étkezési cukor, bórsav és malátacukor. A malátacukor redukáló, az étkezési cukor nemredukáló cukor. Csak a redukáló cukrok választanak le ammóniás ezüst-nitrát-oldatból fémezüstöt. A konyhasóban lévő kloridionok fehér AgCl-csapadékot képeznek az ezüst-nitrát-oldatban lévő ezüstionokkal, míg a bórsav nem reagál velük. A konyhasó és a cukrok vizes oldatai egyaránt semleges kémhatásúak, a bórsav pedig gyenge sav. Hogyan tudnád eldönteni, hogy melyik számú üvegben melyik anyag van? Rendelkezésére áll híg sósav, ammóniaoldat, vas(III)-klorid-oldat, fenolftaleinindikátor, Fehling I. és II. reagensek, ezüst-nitrát-oldat, univerzál indikátor, valamint kémcsövek, amelyekbe kivehetsz mintákat az ismeretlen oldatokból, és cseppentők is. Megkóstolni természetesen nem szabad semmit.

Első lépésben a tanárok a kapott útmutató alapján kódolva értékelték a tanulók válaszait, majd elküldték a kutatócsoport vezetőjének a részletes statisztikai feldolgozásra. Ehhez kellően nagyszámú válaszlap állt rendelkezésre, hiszen az előtesztet 883 tanuló írta meg, a további években változó, de folyamatosan csökkenő létszámmal (mintegy 850–700) tanulótól gyűltek be a megválaszolt tesztlapok, mivel ha egy tanuló nem írt meg egy tesztet, akkor tovább már nem számítottak bele az eredményeik a mintába. Az összes kitöltött teszt átnézése után elkészült a kiegészített, ill. módosított megoldókulcs, ami alapján az összes teszt egységes szempontok szerinti felülvizsgálata történt. Az adatok statisztikai elemzését Tóth Zoltán végezte. A projekt és eredményei részletes ismertetése a hazai [8–11] és nemzetközi [6, 7] publikációkban találhatók.

Az első tanévvégi teszt eredménye nem igazolta a kísérlettervezés elvárt pozitív hatását. Ugyanis a kísérleteket megtervező és

végre is hajtó, 3. típusú csoport eredményei sem a kísérlettervezés, sem a diszciplináris tudás tekintetében nem különböztek szignifikánsan az 1. típusú (csak receptszerűen leírt kísérleteket végző) kontrollcsoportétól. Érdekes az is, hogy az első év végén éppen a 3. csoport preferálta legjobban a receptszerű kísérleteket. Ennek magyarázata az lehet, hogy a kísérlettervezés ebben a korosztályban (12–13 éves diákok, 7. osztály) sokkal nehezebb feladat, mint a receptszerűen leírt kísérletek végrehajtása. Föltételezhető, hogy a tanulók többsége ekkor még a konkrét gondolati műveleti fázisban volt, így nem tudtak a hat feladatlap szerint tervezett kísérletekből olyan általánosításokat levonni, amelyek segítették volna egy ismeretlen kísérlet megtervezését. Az év végi teszt ugyanis ezt kívánta volna meg. Ezért a kutatási tervet annyiban módosítottuk, hogy a második tanévtől direkt módon tanítottuk meg a kísérlettervezés legfontosabb elveit a 2. csoportnak a receptszerű kísérletek elvégzése után, a 3. csoportnak pedig a kísérletek megtervezése előtt (amint erre már az osztályok csoportokba sorolása kapcsán is utaltunk). Ezáltal sikerült a következő tanévben elérni azt, hogy mindkét (a 2. és a 3.) kísérleti csoport jobban fejlődött a kontrollcsoportnál, mind a tárgyi tudást, mind a kísérlettervezés képességének fejlődését mérő alteszten. A második tanév végére visszafordult az a nem várt trend is, miszerint a tanulók az első tanév végén kevésbé tartották fontosnak a kísérletek szerepét, mint a kutatás kezdetén. A kísérlettervezés szempontjainak tanítására szolgáló néhány jellemző részletet a keretes szövegben mutatunk be.

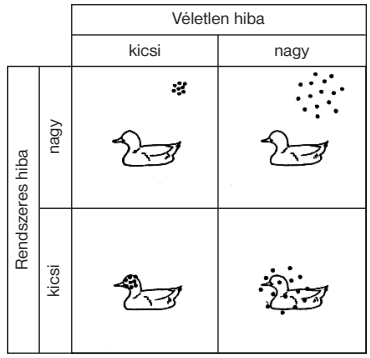
11. feladatlap. A karbonátok és savak között lejátszódó reakció miatt a mészkő gátolja a természetes vizek savasodását. Ezen a feladatlapon három kísérlet is ún. „modellkísérlet” volt, mert a valóságban lejátszódó folyamatok kémiai lényegét ragadták meg. A 2. csoporttal a kísérlettervezés szempontjából elemzett, ill. a 3. csoport által megtervezendő kísérletben a tanulók azt modellezték, hogyan változik a savas eső hatására a tó vizének a kémhatása, ha homok vagy ha mészkő alkotja a tómedret. A mészkő hatását a homok hatásához hasonlították, és így a homok ún. összehasonlító anyagként (referenciaanyagként) szerepelt.

13. feladatlap. A feladatlap megoldása során a természettudományos vizsgálatok elvei közül a következőkkel ismerkedtek meg a kísérleti csoportok tanulói (a 2. csoport a receptszerűen leírt kísérlet elvégzése után, a 3. csoport pedig a kísérlettervezés előtt):

- Amikor ismeretlen anyagok kémiai összetételét kívánjuk azonosítani, minőségi elemzést (kvalitatív analízist) végzünk. Ennek fontos (klasszikus) módszerei a „próbák”, pl. a lángfestés vizsgálata, amelyet a nátrium ismert színű lángfestésével végeztek el.
- Ezután foghattak hozzá a feladatlap problémafölvető kérdésének megválaszolásához, hogy hogyan tudnak következtetni a gerjesztési energiák nagyságára lángfestések színének összehasonlításából. Ehhez először a mások korábbi munkái alapján született szakirodalomból megismerhették a következőket: az összefüggést a lángfestés színe és a gerjesztési energia között; konkrét adatokat (a hullámhossz-tartományokhoz tartozó színek); korábbi kísérleti eredményeket (néhány kémiai elem atomjainak lángfestése).
- Ezután elvégezték a kísérletet (a lángfestési próbát a két másik vegyülettel).
- A kapott kísérleti eredményeket értékelték (összevetették a szakirodalomban találtakkal) és az alapján megválaszolták a problémafelvető (kutatási) kérdést.

7. és 23. feladatlap. A feladatlapokon szereplő kísérletek során a tanulók egy-egy titrálást modelleztek. (A 7. feladatlapon egy sav-bázis titrálást, a 23. feladatlapon pedig egy redoxititrálást.) Vagyis olyan lépéseket végeztek el, mint a valódi titrálások során, de kevésbé pontos eszközöket és módszereket használtak (pl. büretta helyett Pasteur-pipettát). A kísérleti csoportok diákjainak a figyelmét felhívtuk arra, hogy az általuk alkalmazott eszközök és módszerek, valamint a mérést végzők gyakorlatlansága nagyobb mérési hibákat okozhatnak, mintha szakemberek az erre a célra kialakított laborokban végezték volna a műveletet.

Megtudhatták, hogy rendszeres (szisztematikus) hibát okoz a készülékek, eszközök, módszerek pontatlansága vagy a kísérleti körülmények helytelen megválasztása, esetleg az eredmények helytelen kiértékelése. Véletlen hibát okoz viszont a megfigyelés, leolvasás pontatlansága, az objektív és szubjektív kísérleti feltételek ellenőrizhetetlen ingadozása. Hangsúlyoztuk, hogy minden mérésnek van valamekkora véletlen hibája, és hogy ezek a hibák a valódi értéknél kisebb és nagyobb mérési eredményt egyaránt okozhatnak. A mérési hibák típusait és nagyságát az alábbi ábrával szemléltettük az 1. feladatlapon.



22. feladatlap. A kísérletek során a tanulók szerves kémiai minőségi elemzést (kvalitatív analízist) hajtottak végre. Ekkor friss és lejárt szavatosságú (a mintakészítéskor szalicilsavra és ecetsavra hidrolizált) aszpirintabletták porát kellett megkülönböztetniük egymástól. A kísérleti csoportok tanulóinak a feladatlapon elmagyaráztuk, hogy az első lépés ilyenkor az, hogy a vizsgálatokat a tiszta anyagokkal végezzük el. Akkor kiderül, hogy hogyan reagál az adott funkciós csoport egy-egy reagenssel. Eközben az „egyszerre csak egy paramétert változtatunk” elvet kell követni. A következő lépés az, hogy az ismeretlen anyaggal is elvégezzük a kísérleteket, és a tapasztalatokat összevetjük a tiszta anyagok esetében kapott eredményekkel. A 2. csoport számára a receptszerűen elvégzett kísérletek után leírtuk, hogy a friss aszpirint és a lejárt szavatosságú aszpirint a bomlástermék (a szalicilsav) jelenlétének kimutatásával különböztethették meg. A lejárt szavatosságú tablettában lévő bomlástermék volt a meghatározni kívánt ismeretlen anyag. A még fogyasztható aszpirintabletta kontrollként szerepelt. A kontrollt azért volt szükséges alkalmazni, hogy igazolják: tényleg az aszpirin bomlásából keletkező vegyületet sikerült meghatározni, mert a tiszta aszpirin nem mutatja azokat a sajátságokat. A 3. csoport számára csak az általános elveket írtuk le, de a konkrét kísérleteket nekik kellett megtervezni.

A második tanév viszonylagos sikerei után kellemetlen meglepetésként ért minket a harmadik tanév végén írt tesztek eredménye. Az adatok elemzése során ugyanis az derült ki, hogy a 2. és 3. számú kísérleti csoport kísérlettervező feladatokon nyújtott teljesítménye nem különbözött szignifikánsan az 1. kontrollcsoportétól. Ez egyfelől értelmezhető úgy, hogy a már a formális gondolati műveleti fázisban lévő 15–16 éves diákok elegendő receptszerű kísérlet végzése után képessé válnak bizonyos általánosítások, absztrakciók elvégzésére, és elegendő előzetes ismeret birtokában egyszerű kísérletek megtervezésére. Valószínű azonban, hogy az eredményekben szerepet játszott a feladatlapok kitöltésére való hajlandóság is. Ezt pedig csökkenthette a 9. osztályos, igen elvont kémia tananyag miatti motivációvesztés, de az is, ha már megszületett a döntés a diák továbbtanulásáról, és ahhoz nem szükséges kémiából érettségiznie. Statisztikailag kimutatható hatása volt viszont a fejlesztésre annak, hogy a tanulók iskolája hol helyezkedett el a „legjobbiskola.hu” oldalon felállított rangsorban.

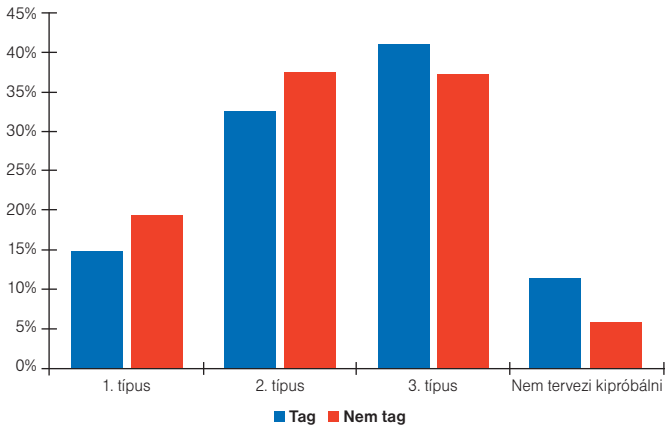
A projekt ütemezés szerinti befejezését (a feladatlapok egy részének elvégzését és a végső teszt elkészítését) az időközben kitört Covid–19 járvány megnehezítette. 2020 március közepétől megszűnt a jelenléti oktatás az iskolákban, a kutatás fontos jellemzője viszont éppen az, hogy a tanulók az iskolában, együtt végeznek kísérleteket. Így a kutatásban részt vevő tanárok dönthettek arról, hogy 2020 őszén (az akkor adódó rövid normál oktatási környezetben), az akkor a kémiát kötelező jelleggel már nem tanuló (11. évfolyamos) diákjaikkal elvégzik-e a 2020 tavaszán elmaradt feladatlap-kipróbálásokat és megíratják-e az utolsó tesztet. Végül ezt négy tanár kivételével mindenki vállalni tudta. A tanév végéig ők mindnyájan befejezték diákjaikkal a feladatlapok kipróbálását és a teszt megíratását. Mivel az utolsó tanulói teszt megírásának körülményei mégiscsak rendhagyóak, az eredmények statisztikai elemzéséből csak különös óvatossággal vonhatók majd le általános jellegű következtetések.

Tanárok véleménye a projekt végén

2020 őszén a kutatásban részt vevő tanárok egy 19 kérdésből álló kérdőív[1] online kitöltésével nyilváníthattak véleményt a projektről és fogalmazhatták meg a javaslataikat. A feladatlapok kipróbálásába és a véleményezésbe olyan kémiatanárok is bekapcsolódtak, akik nem voltak tagjai a kutatócsoportnak, sőt több ELTE-n végzett friss diplomás is csatlakozott, akik a kémia szakmódszertan kurzus során ismerkedtek meg a kutatásalapú kémiatanítással. A digitális oktatásra való átállás miatt a feladatlapok olyan diákokkal való kipróbálására, akiket nem vontunk be a kutatásba, végül kevés alkalommal volt lehetőség, de a kérdőív segítségével a tanárok értékelhették az elkészült feladatlapokat. Ez a későbbi hasznosulásuk szempontjából volt informatív. A 26 válaszadóból 19-en a kutatócsoport tagjai voltak, 7-en a kérdőív kitöltése előtt nem vettek részt annak a munkájában. A kérdőívet kitöltőknek ismerniük kellett mind a 24 feladatlap témáját, módszertani útmutatóját, valamint legalább a 3. típusú feladatlapokat, és azok megoldókulcsának szövegét.

A projektben részt vevő tanárok a feladatlapok három típusát részben véletlenszerű sorsolás, részben saját elhatározás alapján próbálták ki. Ha volt választási lehetőség, akkor az általános iskolás tanulók esetén a tanárok leggyakrabban a kísérlettervezetős feladatlapokat (3. típus), a középiskolás diákok esetén pedig a 2. típust (receptszerű kísérletezés és elméleti bevezetés a kísérlettervezésbe) választották. A saját elhatározás alapján kipróbált feladatlapoknál a választást főleg a kísérletekhez rendelkezésre álló időkeret, a diákok előzetes ismeretszintje, valamint az adott típus motiváló hatása befolyásolta. Tanulságos, hogy ebben a záró felmérő szakaszban a tanárok a kísérlettervezetős munkát csak kis százalékban (kb. 25%) merték volna felvállalni.

A kérdőívekből kiderült az is, hogy a kémiatanárok melyik típusú feladatot gondolják használhatónak a későbbi oktatómunkájukban, sőt az is, hogy konkrétan melyik feladatlapokat tudnák beépíteni a mindennapi tanítási gyakorlatukba. A projektben készített feladatlapokat a jövőben a tanárok 85%-a szeretné használni, méghozzá erre átlagosan öt 1. típusút, tíz 2. típusút és 12 darab 3. típusút jelöltek meg. A projekt résztvevői kicsit nagyobb arányban tervezik kipróbálni a 3. típusú feladatlapokat, ezzel szemben a csak a kérdőív kitöltésébe bekapcsolódók a kutatócsoport tagjaihoz képest több 1. és 2. típusú feladatlapot terveznek elvégezni. Érdekesnek tűnik, hogy a kutatócsoport tagjai nagyobb arányban nyilatkoztak úgy, hogy a jövőben nem terveznek felhasználni bizonyos feladatlapokat, esetleg nem is lesz módjuk rá **(5. ábra)**. Ennek oka az, hogy közülük hárman is épp mostanában vonultak, illetve vonulnak nyugdíjba.



5. ábra. A feladattípusok tervezett további használata a kutatócsoport tagjai és nem tagjai esetén

A tanárok többségének véleménye alapján öt kísérlettervezetős feladatlap különösen jól használható. A legtöbben „Az indikátoroktól az országzászlóig” című feladatlapot emelték ki az elvégzendő kísérletek látványosságáért, az egyszerű kivitelezhetőségéért, a kísérleti tapasztalatok egyértelműségéért, a kísérlettervezés alapos kidolgozottságáért és a tanulók tudásának hasznos ismeretekkel való bővüléséért. A „Hogyan működik a sütőpor?”, az „Oldás és kötés”, a „Mire jó még a tűzijáték?” és a „Mennyi C-vitamin van a narancslében?” című feladatlapokat a fenti szempontok mellett a kísérletek kevésbé időigényes előkészítéséért, a háztartásokban is megtalálható eszközök és anyagok használatáért, az elvégzendő kísérletek hétköznapi vonatkozásaiért, az adatok táblázatos összesítéséért és rendszerezéséért sorolták a legjobbak közé. A tanárok nagyobb része ítélte nehezen alkalmazhatónak a „Fémek harca” és a „Csepp a tengerben” című feladatlapokat [3]. Az előbbit módosítani javasolják, mert ennél a diákok csoportjai különböző kísérleteket végeznek, ám egy nagy létszámú (34–36 fős) osztályban nagyon nehéz ezt megszervezni.

[1] A kérdőív elérhető online: https://docs.google.com/forms/d/1bQ22SkniTuWgAXw03jYZnxNMxQZagrYbGCH3Y0oLle0/edit?edit_requested=true

Egy-két nehezebb feladatot tehetséggondozásra javasoltak használni. A kísérletekhez szükséges eszközök és anyagok cseréjére is tettek néhány megfontolandó javaslatot. A háztartási anyagok helyett néhány kísérletnél – a szerzők ajánlásával és a projekt filozófiájával ellentétben – inkább vegyszereket használnának, mert ezekkel a tapasztalatok szerint a jelenségek olykor jobban megfigyelhetők. A tanárok kétharmada nyilatkozott úgy, hogy a feladatlapok jövőbeni alkalmazása esetén biztosan változtatni fog azokon. Számos ötlet merült fel e tekintetben, így az elméleti bevezetés rövidítése, bizonyos kísérletek egyszerűsítése vagy módosítása, egyes kísérletek kihagyása, valamint a feladatlap dupla tanórában történő feldolgozása.

A tanárok a nehézségek között megemlítették az elvégzendő kísérletek időigényességét, vagyis azt, hogy a feldolgozásra nem mindig volt elég a 45 perces tanóra. További problémaként jelölték meg a kémiai számításokat is tartalmazó kísérlettervezést, az adott évfolyam tudásszintjét meghaladó előzetes ismeretek elvárását, a nem minden esetben egyértelmű kísérleti tapasztalatokat, és a differenciált csoportmunka alkalmazását. Úgy tűnik, hogy alig befolyásolta a tanárok véleményét a feladatlapok pozitív megítélésénél a tantárgyak (biológia, földrajz) közötti kapcsolat megjelenése, a környezetvédelmi ismeretek bővítése, az „egyszerre csak egy tényezőt változtatunk” elv alkalmazása, továbbá az okoseszközök használata, annak ellenére, hogy ezeket a projekt szervezői eredetileg pozitívumnak tekintették.

A kémiatanárok közel fele egyértelműen úgy véli, hogy a kutatásalapú/kísérlettervező módszert úgy kellene módosítani, hogy a jelenlegi magyar oktatási rendszerrel még inkább összhangban legyen. Ennek lehetőségét legtöbben a rövidebb és a tantervi követelményekhez jobban igazodó feladatlapokban látták. Nagymértékben segítené a tanárok munkáját, ha a kísérletezésre nagyobb tanórai, esetleg szakköri időkeret állna rendelkezésre, valamint a kísérletek előkészítésében laboráns segítségét is igénybe lehetne venni. A 26 tanár közül 20-an szívesen vállalnának részt egy olyan új projektben, amelyben rövidebb, jobban strukturált, a kémiai tananyag globális összefüggéseire is rámutató, kísérlettervező feladatokat kapnának a diákok.

Végső következtetés

Nemzetközi szinten egyre több, a kémia tanításával foglalkozó szakember ismerte már fel, hogy a kísérlettervezés a természettudományos gondolkodás és műveltség fejlesztésének egyik lehetséges eszköze. A jelen projekt során a kutatásalapú módszer hosszú távú hatásait is vizsgálni akartuk, ugyanis a diákok gondolkodásmódjára gyakorolt hatásának maradandónak kellene lennie ahhoz, hogy érdemes legyen a módszert a vizsgált formában alkalmazni. A tanulóknak egész életükben emlékezniük kellene arra, hogy melyek egy természettudományos kísérlet korrekt megtervezésének kritériumai, és mi különbözteti meg ezt az áltudományos alapon végzett kísérletektől és véleménynyilvánítástól.

Alkalmazott módszereinkkel a projekt végéig sajnos nem tudtunk jelentős változásokat elérni a tanulók kémia tantárgy iránti attitűdjében és a kémiából szerzett jegyei átlagában. Nem sikerült jelentősebben befolyásolni a diákok véleményét a kísérletek fontosságáról sem. Ennek oka részben az ilyen feladatok szokatlansága lehetett, részben pedig az, hogy ezek bizonyos gyakorlati tudást és érzéket is igénylő, elég komoly szellemi megerőltetést jelenthettek számukra. Érthető az is, hogy a diákok a kutatásunktól független kötelező tananyag elsajátítására koncentráltak, ami hagyományosan nem tartalmaz ilyen jellegű feladatokat. A kérdéseinkre adott válaszokból nyilvánvaló, hogy a motiváció szempontjából a tanulóknak csak egy kisebb hányada tartozik a kísérlettervezéshez hasonló kihívásokat kedvelő „felfedező” típusba. A „lelkiismeretes” és a „törekvő” típusba tartozók viszont jobban szeretik, ha előre lefektetett, egyértelműen definiált és könnyen áttekinthető kritériumrendszernek kell megfelelniük. A kutatócsoportunk tapasztalatai egyébként óvatosságra intenek abban a tekintetben, hogy milyen fokú önállóság és mekkora lelkesedés várható el az ilyen korú tanulóktól a kutatásalapú módszer alkalmazásakor. Ezért nem javasoljuk azt a megközelítést, amelyben még a problémafelvető kutatási kérdést is maguknak a diákoknak kell megfogalmazniuk (ez a sok kutató által preferált ún. „*open iquiry*” megközelítés).

Mindemellett nyilvánvaló az is, hogy a tanulókísérletezés feltételei (az alacsony kémiaóraszám, a vegyszerek és eszközök, valamint a laboránsok hiánya, ill. a tanórákra való felkészülési idő hiánya miatt) hazánkban jelenleg sok iskolában nem adottak, és ez erősen korlátozza e módszer szélesebb körben való elterjedését. Előrelépést jelent viszont, hogy a 2020 szeptemberében bevezetett Nemzeti alaptantervben [12] és a kémia-kerettantervekben [13], illetve a tankönyvekben [14] már szerepel a kutatásalapú tanulás és a kísérlettervezés. A módszer beépült az Eötvös Loránd Tudományegyetem nappali rendszerű kémiatanár-képzésébe is [15]. Úgy véljük, hogy egyelőre a közeli jövőben elsősorban az egyébként is elkötelezett kémiatanárok fogják alkalmazni a módszert és az ehhez kidolgozott feladatlapjainkat. A nemrég véleményezett érettségi követelmény tervezetében viszont már szerepelnek elvárások egyszerű kísérletek, mérések tervezésére, végrehajtására, az eredmények értelmezésére stb. vonatkozóan [16]. A követelményrendszer várhatóan 2024-től már érvénybe léphet.

A tesztek elemzése alapján született pedagógiai és oktatásmódszertani eredményeket és következtetéseket több konferencián, valamint szakmai fórumon és tanártovábbképzésen tettük közzé, és e lap hasábjain is két alkalommal szerepelt korábban ismertetés a projektben folyó munkáról [8, 9]. A kutatás összes anyaga (a 24 feladatlap mindhárom típusa, a tanári útmutatók, a tesztek és megoldókulcsok, továbbá az eredményeket összefoglaló előadások prezentációs diasorai, poszterei stb.) nyilvánosan hozzáférhető [5]. Reméljük, hogy mindez értéket képvisel, és tartalmaz érdekes kontextusba helyezett új, vagy sokak által nem ismert információkat, vizsgálatokat is. Így végül nemcsak a projekt résztvevői, hanem a későbbi felhasználók is jól alkalmazható oktatási segédanyagokhoz juthatnak, sőt az elkészült kiadványok a jövőben hasonló gyűjteményt összeállítók számára is hasznosak lehetnek.

A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgypedagógiai Kutatási Programja támogatta. Köszönjük az MTA vezetésének, különösen a Tantárgypedagógiai Kutatási Program szakmai vezetőjének, Patkós András akadémikusnak, hogy megteremtették a lehetőséget a kutatás elvégzésére.
A szerzők köszönetüket fejezik ki Szalay Lucának a cikk elkészítéséhez adott sokrétű segítségéért.

IRODALOM

[1] Magyar Tudományos Akadémia, Tantárgy-pedagógiai Kutatási Program, https://mta.hu/tantargy-pedagogiai-kutatasi-program
[2] L. Szalay, Z. Tóth: An inquiry-based approach of traditional ‘step-by-step’ experiments, Chem. Educ. Res. Pract. (2016) 17, 923–961.
[3] „Feladatlapok a kutatásalapú kémiatanításhoz”, szerk. Szalay L., ELTE, Budapest, 2021, ISBN 978-963-489-338-7, http://ttomc.elte.hu/publications/90
[4] „Tesztfeladatok a kutatásalapú kémiatanításhoz”, szerk. Szalay L., ELTE, Budapest, 2021, ISBN 978-963-489-339-4, http://ttomc.elte.hu/publications/90
[5] Az MTA–ELTE Kutatásalapú Kémiatanítás Kutatócsoport publikációi, http://ttomc.elte.hu/publications/90

[6] L. Szalay, Z. Tóth, E. Kiss: Introducing students to experimental design skills, Chem. Educ. Res. Pract. (2020) 21, 331–356.
[7] L. Szalay, Z. Tóth, R. Borbás: Teaching of experimental design skills, Chem. Educ. Res. Pract. 2021 (közlésre elfogadva)
[8] Szalay L.: A kutatásalapú tanulás esete a magyar valósággal, Magyar Kémikusok Lapja (2016) 338–341.
[9] Szalay L., Tóth Z.: Hagyományos tanulókísérletek kutatásalapú átalakítása – egy pedagógiai kísérlet hatásvizsgálata, Magyar Kémikusok Lapja (2016) 366–372.
[10] Szalay Luca, Tóth Zoltán: Kutatásalapú tanulást, de hogyan? In: Károly Krisztina – Homonnay Zoltán (szerk.): A tanulás és a tanítás értékelése. Diszciplínák tanítása – a tanítás diszciplínái 4. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2017, 70–84.
[11] Szalay Luca, Tóth Zoltán, Kiss Edina: A kutatásalapú kémiatanítás tanulása, Magyar Tudomány (2020) 181/8, 1032–1037.
[12] Nemzeti alaptanterv 2020, 5/2020. (I. 31.) Korm. rendelet, Magyar Közlöny 17. sz. 2020. január. 31.
[13] A 2020-as NAT-hoz illeszkedő tartalmi szabályozók https://www.oktatas.hu/kozneveles/kerettantervek/2020_nat
[14] A Nemzeti Köznevelési Portálról letölthető tankönyvek: https://www.nkp.hu/tankonyvek
[15] Szalay Luca: „Új” osztatlan kémiatanár-képzés az ELTE Kémiai Intézetében, Magyar Kémikusok Lapja (2019) 76–80.
[16] https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/kerdoiv2021/kemia.pdf
Az internetes források utolsó látogatása 2021. április 18.

Az alábbi és a borítón lévő képek a diákok munkáját mutatják a „Megvalósítható kutatásalapú kémiatanulás” projekt során. A képeket a szerkesztőség válogatta a projekt honlapján lévő képgalériából.

18. FELADATLAP: A JANUS-ARCÚ HIDROGÉN-PEROXID

21. FELADATLAP: LA DOLCE VITA – AZ ÉDES ÉLET

3. FELADATLAP: OLDÁS ÉS KÖTÉS

3. FELADATLAP: OLDÁS ÉS KÖTÉS

21. FELADATLAP: LA DOLCE VITA – AZ ÉDES ÉLET