Szalay Luca[1] – Borbás Réka[2] – Füzesi István[3] – Tóth Zoltán[4]

[1] ELTE Kémiai Intézet, [2] Szent István Gimnázium, Budapest, [3] ELTE Bolyai János Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, Szombathely, [4] Debreceni Egyetem Kémiai Intézet

luca.szalay@ttk.elte.hu | rborbas02@gmail.com | fuzesi.istvan@sek.elte.hu | tothzoltandr@gmail.com

Kutatásalapú kémiatanulás az általános iskolákban?

A címben föltett kérdés első látásra teljesen abszurdnak tűnhet a természettudományos kutatásokat ismerő, pláne az ezeken a területeken dolgozó kollégák számára. Hogyan is lehetne ilyesmit végeztetni 13–14 éves, ráadásul a kémia iránt nem is feltétlenül érdeklődő gyerekekkel? Valóban, a mostanra már könyvtárnyi szakirodalommal rendelkező, angolul „*inquiry-based science teaching/learning/education*” kifejezésekkel illetett módszercsoport nevében nem véletlenül nem a „*research*” kifejezés szerepel, hanem a vizsgálódást, kutakodást, érdeklődést jelentő „*inquiry*”. Magyarul azonban furcsa lenne így hívni, ezért a fordítás során a „kutatásalapú” nevet kapta.

Az MTA–ELTE Kutatásalapú Kémiatanítás Kutatócsoport céljai és korábbi eredményei

Minden, a diákokkal kísérleteket végeztető kolléga számára ismerős az a helyzet, hogy egy receptszerűen leírt kísérletet lépésről lépésre haladva végre lehet anélkül hajtani, hogy közben a kísérletező áttekintést nyerne a teljes folyamat értelméről, és arról, hogy mit miért kellett pontosan úgy csinálni. Olyankor pedig valójában csak a diákok keze jár, de az esze nem. Kicsit szakszerűbben megfogalmazva úgy szoktuk ezt mondani, hogy az ilyen típusú, receptszerű előírások alapján végzett kísérletezés közben nem feltétlenül fejlődnek a magasabb rendű gondolkodási (kognitív) műveletek, és nem biztosított, hogy a diák megérti a természettudományos megismerés folyamatát. Sőt azt sem szükségképpen látja át, hogy egyáltalán mi az értelme a kísérletezésnek, és hogyan kell ahhoz egy kísérletet szabályosan megtervezni, hogy a minket foglalkoztató kérdésre érvényes választ kapjunk. A természettudományokkal foglalkozók számára egyértelmű, hogy egy kísérletnek megismételhetőnek, az eredményeknek (adott hibahatáron belül) reprodukálhatónak kell lenniük, és hogy csak valid (érvényes, a kutatási kérdés szempontjából releváns) adatokból lehet mérvadó következtetéseket levonni. Ez a gondolkodásmód azonban nem magától értetődő, ezért ki kell alakítani a diákokban – akiknek túlnyomó többségéből soha nem is lesz természettudós. Pedig ezekre az alapokra mindenkinek szüksége van; például akkor, amikor a korunkban burjánzó áltudományok világában meg kell ítélnie, hogy egy adott állítással kapcsolatban bemutatott kísérleti bizonyíték használható-e abban a vonatkozásban.

A modern kémia szakmódszertan, és azon belül a kutatásalapú tanulás szakirodalma szerint tehát a tanulói kísérleteknek nem elég egyszerűen csak igazolnia a tanult tudományos elméleteket és törvényeket [1]. Sőt, túl kell mutatniuk a használt anyagok és eszközök esztétikai szépségén, és a kísérletezés során tapasztalt megismerés örömén is. Az ilyen tapasztalatok érdeklődést felkeltő, motiváló hatása ugyan nem vitatott, de nem feltétlenül vezetnek el egy olyan absztrakciós szintre, amikor a diák megérti, hogyan kell egy kísérletet szabályosan megtervezni: miért fontos az egyszerre csak egy tényezőt változtatunk elve, és hogyan kell a többi tényező állandóan tartásával biztosítani azt, hogy kizárólag az az egy független változó befolyásolja az általunk vizsgált, számunkra fontos függő változó értékét. E cél eléréséhez sokféle út vezethet. Ezért csatlakoztunk immár egy évtizede a kutatásalapú tanulás különféle megvalósítási módszereinek eredményességét világszerte vizsgáló szakemberek népes táborához. Közöttük sokan vannak, akik az ún. „nyílt” kutatásalapú tanulásra („*open inquiry*”) esküsznek, amelynek során egy tanári problémafelvetés nyomán még a „kutatási kérdést” is a tanulók fogalmazzák meg, és az alapján tervezik, majd hajtják végre a kísérletet, illetve vitatják meg a kapott eredmények alapján adható választ. A mi kutatócsoportunk ennek a mai magyar viszonyok (pl. a gyakran előforduló idő-, anyag- eszköz- és laboránshiány) között nem látta realitását. Ezért (a fokozatosság elvét is figyelembe véve) eleve a kutatásalapú tanulás ún. „irányított” szintjét („*guided inquiry*”) céloztuk meg, amelynek során a diákok a tanártól készen kapott „kutatási kérdésre” keresik az adott eszközök és anyagok felhasználásával általuk megtervezett és végrehajtott kísérlettel a választ.

A legelső, rövid (mindössze három, egymást követő kémiaórát, és az elő-, valamint utóteszteket felölelő) kutatásunkat a 2014/2015-ös tanévben egy, a pedagógusképzés megújítására kiírt TÁMOP projektben [2] végeztük 12 iskolából 15 kémiatanár és 660 általuk tanított kilencedik osztályos (14–15 éves) diák bevonásával. Az eredmények alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy ha a hagyományos reakciókinetikai tanulókísérleteket úgy alakítjuk át, hogy azok egy részét a diákoknak kell megterveznie a végrehajtás előtt, akkor az ilyen tanulók kísérlettervező képessége az általuk írt tesztek eredményeinek statisztikai elemzése alapján jobban fejlődik, mint a kizárólag receptszerűen leírt tanulókísérletet végrehajtó kontrollcsoporté [3]. Ennek fényében érthető, hogy a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgy-pedagógiai Kutatási Programja [4] keretében 2016-ban megalakult és öt tanéven át működő MTA–ELTE Kutatásalapú Kémiatanítás Kutatócsoportunk munkája elsősorban e módszer hosszú távú fejlesztő hatásának vizsgálatát célozta. Ebbe a kutatásba már 18 iskolában 24 kémiatanár által tanított 920 tanulót vontunk be. A diákok ennek a „Megvalósítható kutatásalapú kémiatanítás” című projektnek az elején (2016 szeptemberében) 12–13 éves hetedikesek voltak, és eredeti terveink szerint minden tanévben hat–hat tanulói kísérletes feladatlappal kívántuk befolyásolni a köte-

lező kémiatanításukat. Azonban már a hetedik osztály elején és végén írt tesztek statisztikai elemzéséből kiderült, hogy a fent leírt módszernek a fiatalabb tanulók esetében, és egy teljes tanévet felölelő hosszabb távon a tesztjeink alapján nem volt mérhető szignifikáns pozitív hatása a tanulók kísérlettervezési képességére [5]. Föltételezésünk szerint ez utóbbi mintában szereplő hetedikes tanulók nagy része még nem lépett át a Piaget-féle konkrét műveleti szakaszból a formális gondolkodási műveletek szakaszába [6]. Ráadásul már pusztán a kísérletek végrehajtása is nagy munkamemória-kapacitást igényel ebben az életkorban [7], így könnyen felléphetett kognitív túlterhelés is. Ezért, és a szükséges absztrakt gondolkodás hiányában a diákok valószínűleg nem értették meg, hogy mi a közös a tanév során elvégzett hat különböző kísérlettervezési feladatban. Így persze a hetedik osztályban a tanév végén írt teszt kísérlettervező feladatain sem mutattak fejlődést a kizárólag receptszerű kísérleteket végző kontrollcsoporthoz képest.

E keserű tapasztalat miatt a következő tanévtől a kísérleti csoportoknak mind a hat tanulói feladatlapon tanítottuk a kísérlettervezést. A diákok egyik részének a receptszerűen elvégzett kísérletek után magyaráztuk el a legfontosabb elveket. A másik kísérleti csoportot viszont a kísérlettervezés vonatkozó elvei (pl. az egyszerre csak egy tényezőt változtatunk) segítették a hat kísérlet megtervezésében, mielőtt elvégezték volna azokat. A tanév végi teszt eredményeinek elemzése alapján a nyolcadik osztályban már így tanított mindkét kísérleti csoport kísérlettervezési képessége jobban fejlődött a kontrollcsoporténál. Ezt örömmel nyugtáztuk, és így ezekkel a módszerekkel folytattuk a diákokkal a munkát a kilencedik osztály további hat tanulókísérlete során. Ekkor azonban újabb csalódás ért minket, mert várakozásunkkal ellentétben a fejlesztés előző tanévben tapasztalt pozitív hatása csökkent, sőt a tesztekkel már nem is volt kimutatható szignifikáns különbség a kísérleti csoportok és a kontrollcsoport kísérlettervezési képessége között. Az egyik lehetséges magyarázat szerint a kísérlettervezési képesség fejlődése az absztrakt gondolkodás kialakulása nyomán sok tanuló esetében spontán bekövetkezett a kontrollcsoportban is [8]. Másrészt az okok keresésekor a diákokkal dolgozó tanár kollégák közül többen is úgy nyilatkoztak, hogy kilencedik osztályra sok diák esetében eldől a továbbtanulás iránya. Ha nyilvánvalóvá válik, hogy a felsőoktatásba való bejutáshoz nem lesz szükség bizonyos tantárgyakra, akkor azoknak a tanulásába átlagosan kevesebb munkát fektetnek a diákok. Elképzelhető, hogy a kémia iránti motiváció gyakran tapasztalt csökkenésének is ez az egyik oka. A másik persze lehet a még mindig meglehetősen (és részben indokoltan) elvont kémia tananyag, amivel sok diáknak nincs kedve megküzdeni, mert nem látják az értelmét és hosszabb távú hasznát. A fejlődés mérését pedig nehezíti, hogy a tesztek feladatainak megoldására kutatásmódszertani okokból semmilyen érdemjegyet nem kaphatnak a diákok. (Ugyanis nem lenne biztosítható, hogy az így született kémiajegyek azonos súllyal essenek latba az év végi érdemjegy megállapításakor, és így azonos mértékű külső motivációt jelentsenek.) Ennek felismerése nyomán pedig valószínűsíthető, hogy sok kamaszodó diák kilencedik osztályban már nem fektetett komoly munkát a tesztek feladatainak megoldásába, és így nem nyújtotta tudása legjavát. (Ez több esetben ki is derül a papíron megoldott tesztekre a tanulók által írt vicces megjegyzésekből, illetve az ott készített rajzocskákból.) Ez a motivációs tényező pedig nyilvánvalóan befolyásolja a tesztek eredményeit, amelyet nem feltétlenül kompenzál a nagy mintaszám sem.

Ezek a diákok tizedikesek voltak, amikor 2020 márciusában elkezdődött a Covid–19 járvány, és emiatt bezártak az iskolák. Otthoni körülmények között viszont a csoportos tanulókísérletek nem voltak elvégezhetők, ezért a projektünk végrehajtását föl kellett függeszteni. Mikor pedig a diákok tizenegyedikes korukban visszatérhettek a jelenléti oktatásba, sajnos már nem voltak kötelező kémiaóráik. Így nem minden kémiatanár kolléga tudta megoldani, hogy más tanórákon vagy tanórán kívüli foglalkozásokon elvégezzék az előző tanévre tervezett maradék kísérleteket. Emiatt az értékeléshez szükséges tesztet megíró diákok száma kb. a kiindulási mintaszám felére csökkent. Ezen előzmények után nem volt meglepő, hogy az utolsó teszt eredményei sem mutattak pozitív hatást a kísérleti csoportokban a kísérlettervezés fejlődésének tekintetében.

Mindemellett a nyolcadikos teszt pontszámai alapján azt a végkövetkeztetést vontuk le abból a longitudinális vizsgálatból, hogy a kísérlettervezés tanítható, csak meg kell hozzá találni a megfelelő módszereket. Ez összhangban van Baird véleményével is, aki már 1990-ben leírta, hogy a céltudatos kutatásalapú tanulás nem spontán módon történik – azt meg kell tanulni [9]. Úgy gondoltuk tehát, hogy érdemes ennek a módszernek a fejlesztésébe további munkát fektetni, csak az ilyen korú diákoknak több támogatásra és motivációra van szükségük a jobb eredmények eléréséhez. E projektről nagyon részletes tanulmány jelent meg 2021-ben a kutatócsoport tagjainak a tollából a Magyar Kémikusok Lapjában [10]. Az MTA–ELTE Kutatásalapú Kémiatanítás Kutatócsoport „Megvalósítható kutatásalapú kémiatanítás” projektje során készült és a kipróbálás eredményei alapján javított összes oktatási segédanyag (a három változatban készült 24 tanulói feladatlap és tanári útmutató, valamint a tesztek is) pedig szerkeszthető formában letölthető a projekt weboldaláról [11].

A „Kutatásalapú kémiatanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” című projekt első két évében végzett munka

A fentebb leírt előzmények után 2021-ben újra pályáztunk, de akkor már a Magyar Tudományos Akadémia Közoktatás-fejlesztési Kutatási Programjának [12] keretében, azért, hogy folytathassuk a megkezdett munkát. Kutatócsoportunk ismét elnyerte az MTA támogatását négy tanévre, a „Kutatásalapú kémiatanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” című projektünk számára. Ennek során megőriztük a korábbi projektben is szereplő háromféle csoport szerepét, de két fontos újítást is bevezettünk:

1. A kísérlettervezési képességek fejlesztéséhez még részletesebb támogatást nyújtunk a kísérleti csoportok számára. Ehhez az ő feladatlapjaikon a Cothron és szerzőtársai által leírt kísérlettervezési diagram [13] rövidített és egyszerűsített változatát alkalmazzuk, egy olyan általános séma formájában, ami „az egyszerre csak egy tényezőt változtatunk” elvre épül. Ez a séma mindig egy adott sorrendben kéri a tanulóktól a független és a függő változók, valamint az állandók azonosítását. Az egyik kísérleti csoport ezt a sémát a kontrollcsoport által is elvégzett receptszerű kísérletek végrehajtása után tölti ki. A másik kísérleti csoport esetében viszont a séma kérdéseinek megválaszolása segíti a tanulókat a kísérlet megtervezésében, vagyis a kísérlet elvégzendő lépéseinek és azok helyes sorrendjének azonosításában.
2. A tanulók motivációjának fenntartása érdekében pedig minden feladatlap tartalmaz a kísérletek elvégzése után egy kontextusalapú feladatot a „Gondolkodjunk!” címszó alatt, amely a háromféle csoport számára készült feladatlap-típu-

sok esetében azonos. Ennek célja az érdeklődés fenntartásán túl a rendszerszemléletű gondolkodás képességének fejlesztése. Az ilyen feladatok ugyanis segíthetnek a tanulóknak megérteni, hogy hogyan teszi a kémia könnyebbé az életünket [14; 15], valamint egészségesebbé, biztonságosabbá és fenntarthatóvá a környezetünket [16; 17].

A jelen projektben is tanévenként hat feladatlap készül; mindegyik három változatban a fejlesztésben részt vevő osztályok háromféle csoportja számára. Az 1. csoportban (a kontrollcsoportban) lévő osztályok tanulói ismét kizárólag receptszerűen leírt kísérleteket végeznek. A 2. csoportba (ami az egyik kísérleti csoport) került osztályok diákjai ugyanazokat a receptszerű kísérleteket végzik el, mint az 1. csoport, de utána a fent említett séma kísérletek tervezésével kapcsolatos kérdéseire is válaszolniuk kell, amit aztán megbeszélnek a tanáraikkal. A 3. csoportba (ami a másik kísérleti csoport) beosztott osztályok tanulóinak feladatlapjai nem tartalmazzák a kísérletek receptszerű leírását. Ehelyett ezen osztályok diákjainak a séma kérdéseit sorra megválaszolva, saját maguknak kell megtervezniük a kísérleteket. A kísérletek elvégzése előtt megbeszélik az elkészült kísérleti terveket a tanáraikkal. Az osztályokon belül a kísérleteket a tanulók mindig csapatmunkában végzik, mert a diákok között folyó egyeztetések és viták is fejlesztő hatásúak lehetnek. Okulva a Covid–19 járvány okozta problémákból, ebben a projektben a háromféle csoport számára írt feladatlapoknak és tanári útmutatóknak az otthon elvégezhető kísérleteket tartalmazó változatait is elkészítjük.

A projekt kezdetekor (2021 őszén) 931 hetedik osztályos tanuló töltötte ki az úgynevezett 0. tesztet. Ennek kiértékelése után osztottuk be a 25 iskolában dolgozó 31 kémiatanár által tanított 38 osztályt, ill. tanulócsoportot a fent jellemzett háromféle csoportba úgy, hogy a csoportok 0. teszten elért eredményeinek átlagai között ne legyen statisztikai értelemben szignifikáns különbség (vagyis a csoportok az általunk mért előzetes tudás tekintetében ne különbözzenek egymástól). Az első tanév végén (2022. május–június) a hetedik osztályosok számára készített hat feladatlapunk kitöltése és az azokon szereplő tanulókísérletek előírásoknak megfelelő elvégzése után közülük 890 diák oldotta meg az 1. tesztet is. A második tanév végén (2023. április-május) pedig az akkori hat feladatlap és tanulókísérlet után az addigra a mintában maradó 756 nyolcadikos tanuló töltötte ki a 2. tesztet. A tanárok választották ki, hogy az adott tanéven belül mikor került sor azokra a kémiaórákra, amelyeken a tanulói feladatlapokat a diákok megoldották, valamint a hozzájuk tartozó tanulókísérleteket elvégezték, illetve a soron következő tesztet kitöltötték. Sajnos a mintában szereplő tanulói létszám a 2022/2023. tanévben meredeken csökkent, mert a kémiatanárok esetében korábban soha nem tapasztalt mértékű fluktuáció a mi kutatócsoportunkat se hagyta érintetlenül. Így egész osztályokat veszítettünk el azért, mert a kémiatanáruk már nem tanította őket tovább, és azok, akik átvették a kémiaórákat, már nem vállalták a projektben való részvételt.

A fő kérdés számunkra a 3. csoport fejlesztésének eredményességét vizsgálva továbbra is az, 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. Azonban mivel egyes tanulmányokból származó bizonyítékok arra utalnak, hogy a kutatásalapú tanulás során a tanár által vezetett kísérletek nagyobb hatással vannak a diákok tanulására, mint a diák által vezetett vizsgálatok, lehetségesnek tartottuk azt is, hogy a kísérlettervezés tanítására a 2. csoport esetében alkalmazott módszer mutatkozik majd hosszabb távon eredményesebbnek. A projekt első két évében tehát konkrétan a következő kutatási kérdésekre kerestük a válaszokat a tesztek eredményeinek elemzésekor:

1. Eredményez-e a fejlesztés szignifikáns változást a diákok kísérlettervezési képességeiben bármelyik kísérleti csoportban a kontrollcsoport eredményeihez viszonyítva?
2. A kísérleti csoportok tanulói a beavatkozás hatására szignifikánsan más eredményt érnek-e el a tesztek tárgyi tudást mérő feladatainak megoldásakor, mint a kontrollcsoport tanulói?
3. Van-e különbség a kísérlettervezési képességekben a két kísérleti csoport tanulói között?

Az MTA–ELTE Kutatásalapú Kémiatanítás Kutatócsoport „Kutatásalapú kémiatanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” projekt első két tanéve során készült, és a kipróbálás eredményei alapján javított összes oktatási segédanyag (a három változatban készült 12 tanulói feladatlap és tanári útmutató jelenléti, illetve otthoni munkára szánt változatai, valamint a tesztek is) szerkeszthető formában letölthetők a projekt weboldaláról [18]. Ezért e helyen csak (tájékoztatásul, és mintegy kedvcsinálóként) az egyes feladatlapok sorszámait, témáit, továbbá a 3. csoport kísérlettervező feladatának lényegét, valamint a minden csoport feladatlapján („Gondolkodjunk!” címszó alatt) szereplő rendszerszemléletű feladat témáját mutatjuk be **(1. táblázat)**. A feladatlapok készítése során a következő elveket vettük figyelembe:

1. Amennyire lehet, építettünk a korábbi projektben (2016–2020 között) általunk írt feladatlapok tapasztalataira.
2. Csak olyan témákra készítettünk feladatlapokat, amelyek beilleszthetők a jelenleg érvényes Nemzeti alaptanterv [19] és a kémia kerettantervek [20] által előírt kémia tananyagba.
3. A feladatlapoknak akkor is használhatóknak kell lenniük, ha az adott iskolában a 7. osztályban már mindössze csak heti egy kémiaóra van.
4. A cím és a bevezető legyen motiváló (ami kedvet csinál a feladatlaphoz).
5. A kísérlettervező feladatok legyenek nagyon egyszerűek, és a mintául vett séma kitöltését gyakoroltassák.
6. A rendszerszemléletű gondolkodást gyakoroltató feladatok is egyszerűen felismerhető ok-okozati összefüggésekre építsenek, és az ilyen korú diákok számára is jelentőséggel bíró folyamatok befolyásolási, szabályozási lehetőségeire mutassanak rá.
7. A feladatlapok kísérletei legyenek otthon is végrehajthatók.

A „Kutatásalapú kémiatanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” projekt 7. feladatlapjának kipróbálása

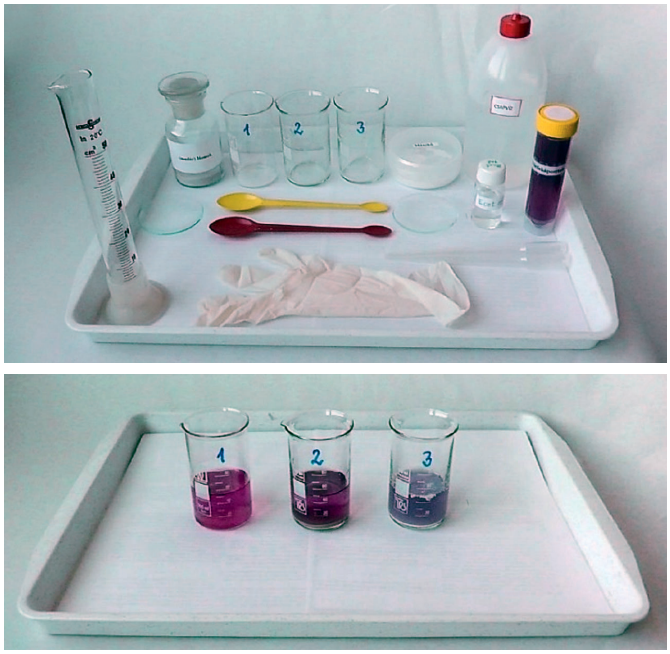
1. táblázat. A 12 feladatlap címe, témája, valamint a kísérlettervező és a rendszerszemléletű feladatok lényege

Sor-szám	Cím	Téma	Kísérlettervező feladat	Rendszerszemléletű feladat
1.	„Ami igazán lényeges, az a szemnek láthatatlan.”	Az anyag részecsketermészete, a részecskék mozgásának hőmérsékletfüggése, és ennek befolyása a folyamatok lejátszódásának sebességére	Hogyan függ a vízbe tett színes cukorkák mázából kioldódó részecskék mozgásának gyorsasága a hőmérséklettől?	Milyen hőmérsékletű helyen érdemes tárolni a partikon vagy katasztrófák idején használható világító rudakat közvetlenül a felhasználás előtt ahhoz, hogy sokáig világítsanak?
2.	„Süssünk, süssünk valamit…”	Az anyagok fizikai és kémiai tulajdonságai, fizikai és kémiai változások	A sütőpor három összetevője közül melyik nem szükséges az új minőségű anyag, a szén-dioxid-gáz fejlődéséhez?	Ésszerű-e követni azt az interneten olvasható tanácsot, hogy a sütőport érdemes használat előtt egy evőkanál citromlével kipezsgetni?
3.	„A fuldokló kacsa”	Az anyagok oldékonysága	Kacsa alakúra kivágott papírdarabokkal kell modellezni a vízimadarak tollán lévő zsírréteg szerepét, és a mosogatószerrel szennyezett víz hatását a vízimadarak életére.	Ha a szappan kettős oldékonyságú részecskéi szét tudják zilálni a Covid–19 vírus burkát, és erre az etil-alkoholos fertőtlenítő is képes, akkor milyen oldékonyságúak az etil-alkohol részecskéi?
4.	„Induljon a pezsgés!”	Az oldatok összetétele, adott tömegszázalékos oldat elkészítése	A Hyperol tablettából készített különböző töménységű oldatok bontásakor keletkező oxigéngáz által felfújt mosószerhabok magasságának összehasonlítása.	Áltudományos honlapok mindenféle betegség gyógyítására javasolják a hidrogén-peroxid-oldat megivását, de célszerű-e ezt belsőleg (szájon át lenyelve) használni?
5.	„Úgy szeretlek, mint az emberek a… sót.”	Keverékek szétválasztása	Hogyan lehet eldönteni három, azonos tömegű só-homok keverékről, hogy melyikben van a legtöbb só?	A konyhasó, illetve a túl tömény vagy túl híg infúzió élettani hatásai.
6.	„Megrakják a tüzet, mégis elaluszik...”	Az égés, a gyors égés és az égés feltételei	Hogyan lehet bizonyítani, hogy az égéshez tényleg mind-három feltétel szükséges?	Milyen összefüggés van az erdőtüzek gyakorisága és a globális felmelegedés között?
7.	Az alkimisták nyomában	A fémek redukálóképessége	Milyen reakciók segítségével határozható meg a vas helye a reakcióképességi sorban?	Elméletben készülhetne-e a horganyzott bádog és a fehérbádog úgy, hogy a vaslemezt cinkionokat, illetve ón(II)ionokat tartalmazó oldatba merítik?
8.	Kemény vizek lágyítása	Vízkeménység, vízlágyítás trisóval (Na_3PO_4) és mosószódával (Na_2CO_3)	Megadott ionokból származtatható sók oldhatósági adatai alapján mely vegyületek alkalmasak vízlágyításra?	Igaz-e az az interneten olvasható információ, hogy a szódabikarbóna jó vízlágyítószer? A vízkő, a cseppkő és a mészkő keletkezését, illetve reagálását leíró kémiai folyamatok összefüggései.
9.	Égés-e a mészégetés?	Mészégetés, mészoltás építőanyagok	Mészkő ($CaCO_3$) és más (SiO_2) anyagú kőzet megkülönböztetése a mészégetés és a mészoltás folyamatának modellezésével	A mészégetés – mészoltás az oltott mész megkötése körfolyamat kémiai reakciói közötti összefüggések és szabályozásuk azonosítása
10.	Bántja-e a savas eső a kagylókat és a korall-zátonyokat?	A savas eső (sav) reakciója mészkővel (kalcium-karbonáttal)	Befolyásolja-e a tómeder anyaga [homok (SiO_2) vagy mészkő ($CaCO_3$)] azt, hogy a savas eső milyen mértékben változtatja meg a tó vizének a pH-ját?	Hogyan hat a savas eső a természetes vizekben élő meszes vázú állatok (pl. kagylók, csigák, korallok) életkörülményeire és hogyan befolyásolhatjuk ezt a folyamatot?
11.	Készíthető-e a dobostorta teteje nyírfacukorból?	Cukrok és édesítőszerek	Igaz-e az az interneten talált receptben olvasható állítás, hogy a tetején karamellt tartalmazó dobostorta elkészítéséhez nyírfa-cukrot használtak?	Az élő szervezetnek a vércukorszint tekintetében is érzékeny és gyorsan reagáló egyensúlyt kell fönntartania. Hogyan befolyásolja ezt az inzulin, illetve a stressz?
12.	Szuperhősből szupergonosz? – Hulladék-hegyek keletkezése hasznos műanyagokból	Műanyagok	Desztillált vízből vagy vizeletből/vérből képesek-e a pelenkákban, illetve intim betétekben található szupernedvszívó műanyagok nagyobb mennyiséget megkötni?	Az előállításukkor, illetve használatukkor felhasznált víz mennyiségének becslése alapján tényleg környezet kímélőbb-e a mosható „mosipelus” használata a papírpelenkáénál?

A feladatlapok tanárok számára írt módszertani részében a kísérletek megvalósítását a tanulók számára előkészített tálcák fényképei segítették, és a feladatlapok otthoni változataiban is szerepeltek a szükséges eszközökről és anyagokról készült fényképek **(1. ábra)**. Továbbá beillesztettünk a tanári módszertani részbe a kísérletek eredményeit mutató fényképeket is **(2. ábra)**. A kísérletező diákokról készült fényképek pedig az ELTE TTK Természettudományos Oktatásmódszertani Centrum honlapjának galériáiban láthatók [21] **(3. ábra, és a többi illusztrációul szolgáló kép)**. Ezek közzétételére még a projekt legelején kértünk szülői engedélyeket, a diákok projektben való részvételének engedélyezésével együtt.

1. ábra. A tanulócsoportok számára a 11. feladatlaphoz előkészített kísérleti eszközök és anyagok tálcája (felső képen) és a 3. feladatlap kísérletének otthoni elvégzéséhez szükséges eszközök és anyagok (alsó képen)

A fejlődés mérésére használt tesztek szerkezete, és két osztállyal való kipróbálásuk folyamata azonos volt a korábbi projektben alkalmazott tesztekével. Mindegyik más-más feladatokat tartalmazott, amelyek az éppen előtte tanultakra épültek. Ennek oka egyrészt az volt, hogy elkerüljük a feladatok ismétlődéséből adódó validitási problémát, hiszen például egyes diákok megbeszélhették volna a két teszt megoldása közötti időben a helyes válaszokat, más diákok pedig bizonyára nem foglalkoztak volna ezzel. Másrészt a kutatás célja olyan kísérlettervezési képességek fejlesztése, amelyek az adott feladatok kontextusától nagyon eltérő körülményekre vonatkozóan is alkalmazhatók. Ezért azt szerettük volna megvizsgálni, hogy sikeresen megtörtént-e ez az ún. távoli tudástranszfer. A keretes szöveg a következő oldal tetején a nyolcadik osztály végén megírt 2. teszt kísérlettervező képességet mérő feladatát mutatja be.



2. ábra. A 10. feladatlap kísérletéhez előkésztett tálca (felső képen) és annak elvégzése után látható tapasztalatok (alsó képen)

3. ábra. 7. osztályos tanulók végzik a 4. feladatlap kísérleteit (felső képen) és e kísérletek eredményeit figyelik egy másik osztály diákjai (alsó képen)

Mindegyik teszten összesen 18 pontot lehetett szerezni. A tárgyi tudást mérő feladatok továbbra is kizárólag a feladatlapjaink kapcsán megszerezhető ismeretekre épültek. Ezekre kilenc pontot kaphattak a tanulók, ami a Bloom-taxonómia [22] szerint így oszlott meg: maximum három pontot adtunk az ismeretek helyes visszaidézésére, három pontot az összefüggések értésére és három pontot a tanult törvények és szabályok megfelelő módon való

Képzeld el, hogy egy kis faluban élő rokonoknál nyaralsz, és feltöltöttetek vízzel egy fürdőmedencét az udvaron. **A vizet olyan tablettával kell fertőtleníteni, ami a pH = 7–8 tartományban tudja kifejteni a hatását, de a helyi víz pH-ja nagyobb 8-nál.** Van vegyszeretek, amiből olyan mennyiséget kell adagolni a medencébe, hogy a fürdővíz elérje a kívánt pH-tartományt. A víz pH-jának ellenőrzésére szolgáló tesztcsík azonban elfogyott, és csak egy távoli városban kapható. Eszedbe jut, hogy a vöröskáposztalé sav-bázis indikátorként működhet, és azt tudtok készíteni az otthon lévő káposztából. Az interneten olvasható, hogy a vöröskáposztalé pH ≥ 12 esetén sárga színű, és a pH = 9–11 körüli tartományban zöld és zöldeskék, pH = 7–8 között kék, pH = 4–7 között lila, végül a pH ≤ 3 tartományban vörös. **Így be tudjátok állítani a medence vizének pH-ját olyanra, hogy hasson a fertőtlenítő tabletta.** A káposztalevet nem önthetitek a medencébe, de poharakkal ki tudtok meríteni a medencéből vízmintát, akár többször is. Van egy lapát is, amellyel össze tudjátok keverni a medence vizét. **Az alábbi válaszaiddal segíts megtervezni a megfelelő pH-tartomány eléréséhez vezető kísérleteket!**

a) Mi az, amit ti változtathattok a medence **teljes tartalmával** kapcsolatban a kísérletek során? (Vagyis mit kell adagolni a medence teljes tartalmához minden egyes kísérletben?)

b) A medencevíz mely tulajdonsága függ az általatok okozott változástól?

c) Mivel tudjátok vizsgálni a medencevíznek ezt, a fönti b) pontban megnevezett tulajdonságát?

d) Milyen tapasztalatból következtethettek arra, hogy még további anyag hozzáadására van szükség?

e) Miért fontos minden esetben gondosan összekeverni a medence vizét?

f) Miből következtethettek arra, hogy már bele lehet tenni a fertőtlenítő tablettát a medencevízbe?

g) Írj + jelet az alábbi listában lévő **állítás elé, ha azt igaznak tartod**, és – jelet, **ha nem tartod igaznak!** (Egyértelmű áthúzás után másik jelet is írhatsz, ha meggondoltad magad.)

Mindig a medence azonos pontjáról kell kimeríteni a vizet a pohárral.

Mindig azonos térfogatú vizet kell kimeríteni a medencéből a pohárral.

Mindig azonos pohárral kell kimeríteni a medencéből a vizet.

alkalmazására. További maximum kilenc pont volt szerezhető a tesztek kísérlettervező feladatainak helyes megoldásával. A kísérletek elvégzéséből eredő tárgyi tudásra, valamint a tesztek végén a kémiával és a kísérletekkel kapcsolatos attitűdökre vonatkozó kérdéseket itt nem ismertetjük, de aki kíváncsi rájuk, elolvashatja őket a projekt weboldaláról letölthető fájlokban [18].

A „Kutatásalapú kémiatanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” című projekt első két évének eredményei és a további tervek

A tesztek eredményeinek összegyűjtése és felülvizsgálata is a korábbi projektben alkalmazott folyamattal azonos módon történt. Első lépésben a tanárok a tőlünk kapott javítási útmutató alapján kódolva értékelték a tanulók válaszait, majd elküldték a kutatócsoport vezetőjének a részletes statisztikai feldolgozásra. Az összes kitöltött teszt átnézése után elkészült a kiegészített, illetve módosított megoldókulcs, ami alapján az összes teszt egységes szempontok szerinti felülvizsgálata történt. A mintaszám minden teszt esetében egyre kisebb lett, mert ha egy tanuló nem írt meg egy tesztet, akkor tovább már nem számítottak bele az eredményei a mintába. A statisztikai elemzés során mindig számításba vettük a mintaszám csökkenését is. Az erre alkalmazott módszerek és az eredmények részletes ismertetését a hetedikes tesztek esetében már publikáltuk [23]. A nyolcadik osztályos tesztek eredményeiről szóló kéziratunkat pedig már elfogadták közlésre [24]. Két magyar nyelvű, közlésre már elfogadott publikációnk pedig e tárgyban két különböző tanulmánykötetben fog hamarosan megjelenni. Emiatt itt csak az eredmények rövid összefoglalására szorítkozunk, a fentebb megfogalmazott kutatási kérdésekre az alábbiakban adott válaszokkal.

A tesztek statisztikai elemzése alapján a beavatkozás szignifikáns pozitív változást eredményezett a 3. csoport tanulóinak kísérlettervezési képességeiben a kontrollcsoport (1. csoport) tanulóiéihoz képest, mind az első tanév (7. osztály) adatai alapján, mind az első és a második tanév (7-8. osztály) kumulált adatait tekintve. Feltételezhető, hogy ez annak volt köszönhető, hogy a 3. csoport tanulóinak feladatlapjai egy kísérlettervezést támogató kérdésekből álló sémát tartalmaztak. Bár a 2. csoport tanulóinak a kísérlettervező feladatokon elért teljesítményében a második tanév végére bekövetkezett változás szintén pozitív volt a kontrollcsoportéhoz képest, az a javulás nem bizonyult statisztikai értelemben szignifikánsnak.

A jelen projekt első tanévében a 2. csoport a tárgyi tudás szempontjából a másik két csoporthoz képest gyengébben teljesített. Azonban a második tanév végére olyan sokat javultak az eredményeik, hogy akkorra a három csoport között nem volt mérhető szignifikáns különbség a tárgyi tudás változásában. Ezek az eredmények összhangban vannak Bredderman (1983) adataival, aki arról számolt be, hogy a kutatásalapú módszerek alkalmazása nagyobb hatással volt a természettudományos kutatási folyamatra, mint a természettudományos tartalomról szerzett tudásra.

A projekt első két tanéve alatt a két kísérleti csoport átlagpontszámainak változásai alapján nem találtunk statisztikailag szignifikáns különbséget a kísérlettervezési képességeik fejlődésében. Meg kell azonban jegyezni, hogy az első évben a 3. csoport tanulóinak teljesítményében bekövetkezett változás a kísérlettervező feladatok tekintetében szignifikánsan jobb volt, mint a 2. csoport tanulóinak teljesítményében bekövetkezett változás. A második évben azonban ez a tendencia megfordult, és a 2. csoport jobban javult, mint a 3. csoport. Ezt a különbséget a két kísérleti csoport eltérő fejlesztése is okozhatta. A 2. csoport diákjainak nem kellett kísérleteket tervezniük, csak a séma kitöltésekor meg kellett beszélniük a tanárukkal, hogy a kísérleteket miért úgy kellett elvégezni, ahogy a recept leírta. Ez egy „elméleti” módszernek tekinthető a kísérlettervezés elsajátításához, amely esetében hosszabb időbe telhet, amíg a tanulók rájönnek, hogyan kell alkalmazni a szerzett tudást a gyakorlatban, ami a második év végére megtörténhetett. A 3. csoport diákjainak vi-

A „Kutatásalapú kémiatanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” projekt 11. feladatlapjának kipróbálása

szont csapatmunkában kísérleteket kellett tervezniük, miközben a kísérlettervezés elsajátítását segítő séma kérdéseire válaszoltak. Ez a kísérlettervezési képességek fejlesztése közvetlen, „gyakorlati” módszerének tekinthető. Ez lehet az oka annak, hogy a 3. csoport esetében a beavatkozás már az első tanévben hatott, és a kétéves időszak végén is úgy tűnik, hogy szignifikáns pozitív hatása volt a kísérlettervezési képesség fejlődésére. Lehetséges az is, hogy a 2. csoport az első tanévben a kísérletek elvégzése után már kevésbé találta érdekes feladatnak a kísérlettervező séma kitöltését, mint a 3. csoport, akik számára a séma kitöltése tényleges segítséget nyújthatott, de a második tanévben a 2. csoportot is sikerült meggyőzni a séma kitöltésének hasznáról.

Olyan elemzéseket is végeztünk, amelyek nem csak az előzetes tudás, hanem bizonyos háttérváltozók hatását is vizsgálták a tanulók tárgyi tudásának és kísérlettervező képességének alakulására. Ezen paraméterek közül a legfontosabbnak ebben a projektben is a tanulók iskolájának erőssége számított (a legjobbiskola.hu honlapon közölt rangsor alapján képzett kategóriaváltozó szerint), mivel az mindkét tanévben jelentős hatással volt a kísérlettervezési képességet mérő pontszámokra, és ez a hatás a második tanévben nagyobb volt a mi fejlesztési módszereink hatásánál. Ez is visszaigazolja a PISA mérések által is újra és újra megerősített tényt, miszerint a magyar iskolarendszer rendkívül szelektív [25]. A tanulók szocioökonómiai helyzetét az anya iskolai végzettségével jellemeztük, de az csak gyengén befolyásolta az eredményeket. Ennek magyarázata az lehet, hogy a mintában szereplő diákok olyan hat-, nyolc- vagy tizenkét évfolyamos gimnáziumokba járnak, ahová eleve csak egy erősen szelektáló felvételi eljárás alapján lehet bekerülni. Ezekben az iskolákban pedig az édesanyák vagy a gondviselők túlnyomó többsége felsőfokú végzettséggel rendelkezik, ami sajnos igazolja a társadalmi mobilitás közismerten alacsony szintjét. Nyilvánvalóan más eredményt kaptunk volna, ha a mintánk az egész ország összes iskoláját tekintve reprezentatív, de akkor nem tudtuk volna biztosítani, hogy a diákok túlnyomó többsége a projekt teljes négy tanéve alatt ugyanabban az oktatási intézményben tanulja a kémiát. Érdekes, hogy a diákok neme sem befolyásolta különösebben az eredményeket.

A kémia tantárggyal és a kísérletekkel kapcsolatos attitűdkérdésekre kapott válaszok elemzése azt mutatta, hogy ezeket ennek a projektnek az első két tanévében sem sikerült jelentősen befolyásolni. Ennek fő okát abban látjuk, hogy a kémia tantárgyhoz való viszonyt mindenekelőtt a nehéz, és a gyakorló tanárok véleménye szerint a rendelkezésre álló időhöz képest még mindig sok kötelező tananyag határozza meg, amelyek elsajátítására a diákok érdemjegyet is kapnak.

A projekt második tanévében a kutatásban részt vevő tanárok és a feladatlapokkal megismerkedő kémiatanár szakos hallgatók egy-egy online kérdőívet töltöttek ki az első tanév feladatlapjairól [26, 27]. A válaszok alapján mind a hallgatók, mind a tanárok pozitívan értékelték a kísérletek könnyű elvégezhetőségét. A hallgatók hangsúlyozták, hogy a feladatlapok a mindennapi élet problémáit dolgozzák fel, és a kísérletek hétköznapi eszközökkel és anyagokkal is végrehajthatók. A tanárok kiemelték, hogy a feladatlapok illeszkednek az életkori sajátosságokhoz és megfelelnek a tantervi követelményeknek. A válaszok elemzésének legszembetűnőbb eredménye az volt, hogy választási lehetőség esetén hallgatók többsége ragaszkodna a 2. csoport számára készült (így receptszerű kísérletleírásokat is tartalmazó) feladatlapok alkalmazásához, míg a gyakorló tanárok közül többen bátran használnák a 3. csoport feladatlapjait, amelyek valódi kísérlettervezést is elvárnak a tanulóktól.

A jelenleg rendelkezésünkre álló eredmények tehát azt mutatják, hogy a kutatásalapú kémiatanítás általunk használt formája már az általános iskolában is eredményesen megvalósítható. Ezen azt értjük, hogy valószínűleg hasznos a diákok által végzett olyan kémiai kísérletek megterveztetése a tanulókkal, amelyhez elegendő előzetes tudással rendelkeznek. Ennek során pedig érdemes a kísérletek tervezését egy olyan sémára alapozni, amely segíti őket ebben a folyamatban. Ugyanis az előző longitudinális vizsgálat első évében, amikor azokat a hetedikeseket is kísérletek tervezésre kértük, de nem alkalmaztunk semmilyen támogatást, a kísérlettervezési képességek fejlődése a tesztek alapján nem volt kimutatható [5]. Ezért a munkát a továbbiakban is a jelen projekt első két évében alkalmazott módszerekkel folytatjuk. Tehát a harmadik tanévben is kipróbálták a kutatócsoportban mintát képző diákokkal dolgozó tanárok az általunk készített hat feladatlapot a hetedik osztály elején háromféle csoportba osztott osztályokkal, és utána megíratták velük a tanév végi tesztet. Az idei nyár folyamán ezek eredményeit a szokásos módon értékeljük, majd publikáljuk; továbbá elkészítjük a negyedik (e projektben utolsó) tanév hat feladatlapját is. Érthető módon nagy várakozással tekintünk a 2025 nyarára várható végső eredmények megismerése elé.

A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Közoktatásfejlesztési Kutatási Programja támogatta. Hálásak vagyunk az MTA vezetésének és a Közoktatási elnöki Bizottságnak, hogy megteremtették a lehetőséget a kutatás elvégzésére. Köszönjük a kutatócsoportban dolgozó kémiatanárok és diákjaik, valamint az egyetemi oktató kollégáink munkáját.

IRODALOM

[1] H. Xu, V. Talanquer, Effect of the level of inquiry of lab experiments on general chemistry students' written reflections. J. Chem. Educ. (2013) 90(1), 21–28.
[2] TÁMOP 4.1.2.B.2-13/1-2013-0007 „Országos koordinációval a pedagógusképzés megújításáért” projekt
[3] L. Szalay, Z. Tóth: An inquiry-based approach of traditional 'step-by-step' experiments. Chem. Educ. Res. Pract. (2016) 17, 923–961.
[4] Magyar Tudományos Akadémia, Tantárgy-pedagógiai Kutatási Program, https://mta.hu/tantargy-pedagogiai-kutatasi-program
[5] L. Szalay, Z. Tóth, E. Kiss: Introducing students to experimental design skills. Chem. Educ. Res. Pract. (2020) 21, 331–356.
[6] Cole, M. és Cole S. R., Fejlődéslélektan. Osiris Kiadó, Budapest, 2006, 481–505; 642–656. [A Cole M. & Cole S. R., The Development of Children, 4th edition, New York, Worth Publishers, 2001 magyar fordítása.]
[7] N. Reid, A. Amanat Ali, Making Sense of Learning. Springer Nature Switzerland, AG, 2020

[8] L. Szalay, Z. Tóth, R. Borbás: Teaching of experimental design skills, Chem. Educ. Res. Pract., 2021, 22, 1054–1073.
[9] J. R. Baird, Metacognition, purposeful inquiry and conceptual change, in: Hegarty-Hazel E. (ed.), The student laboratory and the science curriculum. London: Routledge, 1990, 183–200.
[10] Riedel M., Füzesi I., Rózsahegyi M., Wajand J.: Tanítható-e a kísérlettervezés az iskolákban? Magyar Kémikusok Lapja, (2021) 198–205.
[11] Az MTA–ELTE Kutatásalapú Kémiatanítás Kutatócsoport „Megvalósítható kutatásalapú kémiatanítás” projektje során készült oktatási segédanyagok, http://ttomc.elte.hu/publications/90
[12] Az MTA Közoktatás-fejlesztési Kutatási Programja: https://mta.hu/kozoktatas-fejlesztesi-kutatasi-program/kuldetes-111385
[13] J. H. Cothron, R. N. Giese, R. J. Rezba, Students and Research: Practical Strategies for Science Classrooms and Competitions. 3rd edition, Kendall/Hunt Publishing Company. Dubuque, IA, 2000.
[14] L. Chen, S. Xiao, Perceptions, challenges and coping strategies of science teachers in teaching socioscientific issues: A systematic review. Educational Research Review (2021) 100377.
[15] M. del Mar López-Fernández, F. González-García, A. J. Franco-Mariscal, How Can Socio-scientific Issues Help Develop Critical Thinking in Chemistry Education? A Reflection on the Problem of Plastics. J. Chem. Educ. (2022) 99 (10), 3435–3442.
[16] J. J. Klemeš, Y. V. Fan, P. Jiang, Peng, Plastics: friends or foes? The circularity and plastic waste footprint. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects (2021) 1549–1565.
[17] R. P. MacDonald, A. N: Pattison, S. E. Cornell, A. K. Elgersma, S. N. Greidanus, S. N. Visser, M. Hoffman, P. G. Mahaffy, An Interactive Planetary Boundaries Systems Thinking Learning Tool to Integrate Sustainability into the Chemistry Curriculum. J. Chem. Educ. (2022) 99 (10), 3530–3539.
[18] Az MTA–ELTE Kutatásalapú Kémiatanítás Kutatócsoport „Kutatásalapú kémiatanítás és rendszerszemléletű gondolkodás” projektje során készült oktatási segédanyagok, https://ttomc.elte.hu/publications/92
[29] Nemzeti alaptanterv 2020, 5/2020. (I. 31.) Korm. rendelet, Magyar Közlöny 17. sz. 2020. január. 31.
[20] A 2020-as NAT-hoz illeszkedő tartalmi szabályozók
https://www.oktatas.hu/kozneveles/kerettantervek/2020_nat
[21] Az ELTE TTK Természettudományos Oktatásmódszertani Centrum honlapjának galériái: Természettudományos Oktatásmódszertani Centrum (elte.hu)
[22] B. S. Bloom, M. D. Engelhart, E. J. Furst, W. H. Hill, D. R. Krathwohl, (1956), Taxonomy of Educational Objectives: Part I, Cognitive Domain; McKay: New York, 1956.
[23] L. Szalay, Z. Tóth, R. Borbás, I. Füzesi: Scaffolding of experimental design skills, Chem. Educ. Res. Pract., (2023), 24, 599–623.
[24] L. Szalay, Z. Tóth, R. Borbás, I. Füzesi: Progress In Developing Experimental Design Skills, Journal of Turkish Science Education, (2024) (in press)
[25] OECD, PISA 2015 Technical Report. 2017, Chapter 18, Computer-based tests, 369–374.
[26] Tanári kérdőív: https://forms.gle/bpDPxEujb7SfXUwbA
[27] Hallgatói kérdőív: https://forms.gle/LDVD8AQcBNUBdUgC9
(Az internetes források utolsó látogatása: 2024. július 9.)

Hancsók Jenő – Hőke Ferenc
Pannon Egyetem, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató-Fejlesztő Központ, MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék
hancsok.jeno@mk.uni-pannon.hu

Nagy kihívás a légi szállítás dekarbonizációja

Első rész. A cseppfolyós sugárhajtómű-üzemanyagok jellemzői

A fenntarthatóság területén egyre szélesebb nyilvánosság értesül az utóbbi 5–10 évben tudományos igényességgel is megfogalmazott bizonytalanság többirányú megközelítéséről, ami egyre nagyobb érdeklődést váltott, illetve vált ki. Ennek alapvető okai közé tartozik az energia- és nyersanyagkészletek végessége, a világ népességének növekedése, a lakosság túlfogyasztása, az egyértelmű környezetszennyezés, valamint a jól érzékelhető éghajlat- és időjárás-változás. Ugyanakkor minden szempontból kielégítő megoldások még nem állnak rendelkezésre. Ennek ellenére vannak olyan törekvések, kezdeményezések és intézkedések, amelyek célja például környezetünk természetes adottságainak megóvása. Ezeknek a mértéke azonban jelentősen eltér a világ különböző térségeiben. Az egyik fontos környezetvédelmi lépés a légkör károsanyag-koncentrációjának, elsősorban az üvegházhatású gázok (ÜHG), különösen például a szén-dioxid mennyiségének jelentős csökkentése. Régóta közismert a CO_2 káros környezeti hatása. Ennek ellenére az utóbbi kb. egy évszázadban a CO_2-kibocsátás nagysága kb. 8-szorosára növekedett, és a gáz koncentrációja a levegőben már elérte a 415 ppm (v/v) értéket. Természetesen az említett CO_2-csökkentést csak rendszerszemléletben és kompromisszumokkal (várhatóan olykor esetleg önmegtartóztatással) stb., valamint világméretű összefogással lehet megvalósítani. A világgazdaság meghatározó területei között vannak olyanok, ahol a CO_2-kibocsátás jelentős mértékű csökkentése nem, vagy csak részben valósítható meg rövid és középtávon. Ilyen például az acélipar, az üvegipar, a cementgyártás, a légi közlekedés/szállítás, a vízi szállítás, a közúti áruszállítás.

A légi közlekedés/szállítás szükségessége, jelentősége

A fenntarthatóság egyik alappillére a kis energiafelhasználású, környezetbarát, gazdaságosan és világméretekben megvalósítható mobilitás (élőlények, élettelen tárgyak mozgása, mozgatása szárazföldön, vízen, légtérben különböző tárgyi eszközök – pl. járművek – segítségével). Ezek közül a légi közlekedés/szállítás kiemelkedő előnyei a következők:

– szabad légtér rendelkezésre állása
– a repülőgépek működtetéséhez szükséges üzemanyagok *szervezett rendelkezésre állása* térben és időben a világ valamennyi térségében (pl. kőolajipari vállalatok, légitársaságok)
– nagy távolságok megtétele rövid idő alatt
– viszonylag nagy tömegű anyagok mozgatása
– az emberiség létét és jóllétét (pl. kényelem, időtakarékosság/szabadidő-biztosítás) szolgáló mobilitás „elegáns” megvalósítása