



Dobóné Tarai Éva¹ – Sarka Lajos² – Tóth Zoltán³

¹ Berzsényi Dániel Gimnázium, Budapest;

² Nyíregyházi Egyetem Eötvös József Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, Nyíregyháza;

³ Debreceni Egyetem TTK Kémiai Intézet, Debrecen

Új lehetőségek a tanórai kísérletezésben

A magyar kémiaoktatás mindig nagy hangsúlyt fektetett a tanórai kísérletezésre. Kémia-tankönyvek [1], kísérletgyűjtemények (pl. [2–5]) és szakmódszertani könyvek ([6–8]) foglalkoznak a tanórai kísérletezés lehetőségeivel, módszereivel. Ebben a tanulmányban az utóbbi évek új irányzatait mutatjuk be néhány példán keresztül.

A tanórai kísérletezés új irányzatait a következők jellemzik:

1. A laboratóriumi eszközök és vegyszerek helyett egyre inkább hétköznapi eszközök és vegyszerek kerülnek előtérbe. Ezzel is hozzájárulhatunk a kémia életszerűbbé tételéhez.

2. A viszonylag nagy anyag- és költségigényű demonstrációs kísérletek helyét egyre inkább átveszik a könnyen megvalósítható, költség- és környezetkímélő – többnyire tanulókérdésként (is) használható – kémiai kísérletek.

3. A jelenleg még uralkodó induktív és verifikáló kísérletek mellett egyre több problémajellegű kísérlet szerepel, melyek során a tanulók már a hipotézisalkotás és a gyakorlati kivitelezés megtervezésének fázisában is aktív szerepet játszhatnak. (Különösen kiemelt szerepe van ezeknek a problémafelvető kísérleteknek a kutatásalapú – IBSE – tanulásban.)

Műanyag fecskendő gázkísérletek

A Viktor Obendrauf által kidolgozott technikát egyre többen használják gázok előállítására (pl. [9, 10]). Az Obendrauf-féle gázfejlesztő készülék felépítése az **1. és 2. ábrán** látható.

A készülék egy normál kémcsőből, egy gumidugóból, az azon átszúrt két injekciós tűből, és az azokhoz csatlakoztatott, kisméretű (2–5 cm³-es) és nagyméretű (20–50 cm³-es) műanyagfecskendőből áll. Ebben a készülékben a gázokat két anyag – az egyik mindenképpen folyékony – reakciójával állíthatjuk elő. A szilárd (esetleg folyékony) reagens a kémcsőbe kerül, a másik – folyékony – reagenst pedig a kisméretű fecskendőből adagoljuk lassan, szinte cseppenként. A fejlődő gázt a nagyméretű fecskendőben gyűjtjük össze. Mivel kiinduláskor a kémcsőben levegő van, ezért az első adag (kb. 20 cm³-nyi) gázt vagy a levegőbe, vagy – mérgező, irritáló gáz esetén – megfelelő aktív szeszes töltetbe engedjük. Csak a második adag fejlesztett gáz tekinthető olyan tisztaságúnak, hogy biztonságosan kísérletezhessünk vele. Mérgező, irritáló gázok esetén a készüléket ún. aktív szeszes töltettel kell lezárni, illetve a nem tiszta vagy felesleges gázt aktív szeszes töltetbe kell vezetni. (Az aktív szeszes töltetet úgy készíthetjük, hogy egy 5–10 cm³-es



1. ábra. Az Obendrauf-féle gázfejlesztő készülék

műanyag fecskendőből kivesszük a dugattyút. A fecskendőt darabos aktív szénrel vagy szétaprított orvosi széntablettával töltjük meg. A fecskendő nagyobb átmérőjű végét egy injekciós tűvel átszúrt dugóval zárjuk le.) A leggyakrabban használt gázok előállítását az **1. táblázat** foglalja össze.

Előállítandó gáz	Reagens a kémcsőben	Reagens a fecskendőben
Hidrogén	Cink	Sósav
Oxigén	Mangán-dioxid (pasztilla!)	Hidrogén-peroxid-oldat
Szén-dioxid	Mészke	Sósav
Szén-monoxid	Tömény kénsav	Hangyasav
Kén-dioxid	Nátrium-szulfid	Kénsav
Klór	Kálium-permanganát	Sósav
Nitrogén gázok	Rézforgács	Tömény salétromsav
Hidrogén-klorid	Konyhasó	Tömény kénsav
Kén-hidrogén	Vas-szulfid	Sósav
Ammónia	Nátrium-hidroxid (szilárd!)	Ammóniaoldat (tömény!)
Acetilén (2. ábra)	Kalcium-karbid	Víz
Propén	Difoszfor-pentaoxid	Propán-2-ol

1. táblázat. A leggyakoribb gázok előállítása műanyagfecskendő technikával

A műanyag fecskendő technika elsősorban tanári demonstrációs kísérleteknél nyújt nagy segítséget. Kellő elővigyázatossággal, kis létszám esetén tanulókérdésként is használható. Megjegyezzük, hogy a fecskendő technikának van egy másik megvalósítási módja is, az ún. Mattson-féle technika [11], melynek során egy nagyobb (50–100 cm³-es) műanyag fecskendőben állítjuk elő a gázokat.

Oxigéngáz előállítása és kísérletek oxigénnel

Oxigéngáz előállítása. Tegyük a kémcsőbe 2–3 MnO₂-pasztillát! (Készítése: barnakőport és cementet keverjük össze, nedvesítsük meg, majd a péppel töltünk meg egy kiürült „leveles” tablettatartót, és szárítsuk ki!) Ellenőrizzük a tűk átjárhatóságát (egy fecskendő segítségével levegőt fújunk, illetve szívunk át rajta), majd a tűket is tartalmazó gumidugóval zárjuk le a kémcsövet! A kis fecskendőbe óvatosan szívunk fel tömény H₂O₂-oldatot! Vízzel öblítsük le a fecskendő külsőjét, és papírtörlővel töröljük szárazra! Csatlakoztassuk a kis fecskendőt a dugón átszúrt hosszabb tűhöz! A dugón átszúrt másik tűhöz csatlakoztassuk a nagyobb (legalább 20 cm³-es térfogatú) műanyag fecskendőt! A



2. ábra.
Acetilén előállítását kalcium-karbid és víz reakciójával

készüléket úgy tartjuk, hogy néhány ujjunkkal a gumidugót enyhén szorítsuk a kémcsőhöz! Lassan – cseppenként! – kezdjük el a H_2O_2 adagolását! Megindul az oxigénfejlődés, mivel a MnO_2 katalizálja a hidrogén-peroxid bomlását: $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. Minden egyes csepp beadása után enyhén húzzuk meg a gázfelfogó fecskendő dugattyúját! Folytassuk a gázfejlesztést, míg a gázfelfogó fecskendő meg nem telik! Az első adag gázt engedjük a levegőbe! A második adag már kellően tiszta ahhoz, hogy biztonságosan kísérletezzünk vele.

Paraffingáz robbanása oxigéngázban. Kis kémcsőben olvassunk meg negyed kémcsőnyi paraffint! Amint az olvadék forrni kezd, az injekciós tűvel felszerelt oxigéngázt tartalmazó fecskendőből löktszerűen adjunk a kémcső gőzterébe oxigént (2. ábra)! Hangos robbanás és fényjelenség kíséri a paraffingáz és az oxigén közötti reakciót: $\text{C}_n\text{H}_{2n+2} + (3n + 1)/2 \text{O}_2 \rightarrow n \text{CO}_2 + (n + 1) \text{H}_2\text{O}$.

További kísérletek leírása olvasható a [12, 13] tanulmányokban.

Új reakcióterek

A következő technikák alkalmazásával minimalizálni lehet a vegyszerhasználatot és a keletkező hulladék mennyiségét, csökkenthető az előkészítés és a kísérletek utáni elpakolás ideje is.

Csempén megvalósítható kísérletek

A hazánkban Fodor Erika nevével fémjelzett csempés technika lényege, hogy a szokásos kémcsövek, főzőpoharak és lombikok helyett egy sík felületet (fehér csempét, fehér papírra fektetett üveglapot, újabban polipropilénből készült genothermet) használunk reakciótereknek. Ez lehetővé teszi kisebb anyagmennyiségek használatát, valamint az eszközök utólagos mosogatásának kiküszöbölését. Ez a technika különösen jól használható tanuló-kísérleti órákon [14–17].

Vizes oldatok kémhatása. Fehér csempére képezzünk egy-egy ötforintos nagyságú pacát a következő anyagok vizes oldatából: sósav, nátrium-hidroxid, ammónium-klorid, nátrium-karbonát, nátrium-klorid, alumínium-szulfát! Cseppentsünk mindegyikhez keverékindikátort! (Keverékindikátor hiányában vöröskáposztalevet is használhatunk.) Figyeljük meg az indikátor színváltozását, és értelmezzük az oldat kémhatását!

Vizes oldatok elektrolízise. Fehér csempére képezzünk húszforintos nagyságú pacákat a következő vizes oldatokból: cink(II)-jodid, réz(II)-szulfát, nátrium-klorid, kálium-nitrát, híg sósav, híg kénsav, híg nátrium-hidroxid-oldat! A pacákba „szúrjunk” bele két grafitrudat, egymástól kb. 1 cm-re! A grafitrudakat kapcsoljuk 4,5–9 V-os egyenáramú áramforráshoz! Figyeljük meg és értelmezzük a változásokat!

További kísérletek leírása olvasható a [12, 13] tanulmányokban.

Kémiai reakciók szűrőpapíron

A bemutatásra kerülő szűrőpapír-reakciók lényege, hogy a kémcsövet, főzőpoharat vagy a csempét, mely a kémiai reakciók „helyszíne” lehet, szűrőpapírral helyettesítjük. Ennek módja,

hogy az egyik reagensbe szűrőpapírt mártunk és felszívjuk, majd hagyjuk a papírt megszáradni. Az így elkészített szűrőpapír körlapra vagy négyzetre (száradás után már tetszőleges nagyságúra vágható) kell felcseppenteni – kapilláris, Pasteur-pipetta vagy „szemcseppentő” segítségével – azokat az oldatokat, melyeket meg szeretnénk vizsgálni.

Réz(II)-ionok reakciója jodidionokkal. Egy 5 cm átmérőjű szűrőpapírt megnedvesítettünk $0,2 \text{ mol/dm}^3$ koncentrációjú káliumjodid-oldattal, majd megszáritottuk. A vizsgálandó kationok és elegyűk oldatait kapilláris vagy cseppentő segítségével vigyük fel a KI-dal kezelt szűrőpapírra!

a) Cseppentsünk a szűrőpapírra a réz(II)-ionokat tartalmazó oldatból! A keletkezett folt barna színű. A lejátszódó reakció egyenlete: $2 \text{Cu}^{2+} + 4 \text{I}^- = 2 \text{CuI} + \text{I}_2$. A keletkező jód barna színt elfedi a réz(I)-jodid fehér színét. Hogy valóban jód keletkezett, azt mutassuk ki keményítőoldattal!

b) A barna folt egyik szélére cseppentsünk egy csepp keményítőoldatot! A keményítőoldat hatására a folt kék színű lesz. A jód-keményítő próba igazolta a jód keletkezését.

c) A barna folt másik oldalára cseppentsünk nátrium-tiosulfát-oldatot! A barna folt „eltűnik”, a folt fehér színű lesz. A jód a tiosulfáttal reagálva ismétlen jodidionokká alakul: $\text{I}_2 + 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2 \text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$.

Oldatok kémhatásának vizsgálata. A szűrőpapír felhasználható oldatok pH-jának vizsgálatára is. A szűrőpapírt itassuk át az indikátorral, ami lehet univerzális indikátor vagy a saját magunk által készített lilakáposzta-indikátor. Az ilyen módon előkészített és megszáritott szűrőpapírra cseppentsünk különböző oldatokat (pl. sósav, NaOH-oldat, NaCl-oldat, Na_2CO_3 -oldat, AlCl_3 -oldat stb.), és állapítsuk meg azok kémhatását!

További kísérletek leírása olvasható a [12] tanulmányban.

A festőpaletta/tablettatartó mint reakcióter

A csempés kísérletek elvégzése nagy óvatosságot igényel, mert a vízszintes felületen könnyen elfolyik a folyadék, összeérnek a cseppek, elgurulhat a szilárd anyag. A rajzórán is használt festőpaletta esetén ez a veszély kisebb, mert a mélyedések egy-egy reakcióteret képviselnek, egymástól jól elkülönülnek.

Oldatok kémhatásának vizsgálata. Tegyük a paletta egy-egy mélyedésébe különböző anyagokat! Ha szilárd anyag, akkor cseppentsünk hozzá kevés vizet, ha oldat, akkor nem kell vizet adni hozzá. Figyeljük meg, oldódik-e a vízben! Adjunk mindegyikhez két csepp indikátort (univerzális indikátoroldatot vagy lilakáposztalevet). Az oldatok helyett használhatunk picire vágott univerzális indikátorpapírt vagy a saját készítésű lilakáposzta-lével átitatott szűrőpapírt is. Jegyezzük fel az indikátor színét, a pH-skála segítségével állapítsuk meg a pH-t majd magyarázzuk azt egyenletekkel!

További kísérletek leírása olvasható a [12] tanulmányokban.

A hagyományosan kémcsőben végrehajtott csapadékképződési reakciók látványosan működnek kiürült tablettatartókban is [19]. A tisztára mosott tartók mélyedéseibe szemcseppentővel vagy pipettával néhány cseppet adagolunk a vizsgálandó fémiont tartalmazó oldatból, majd a reagenst Pasteur-pipettával vagy injekciós tűvel cseppentjük az oldathoz. A tablettatartót még a kísérlet megkezdése előtt célszerű fehér papírlapra vagy fehér csempére helyezni, így a leváló csapadék színe, jellege meggyőzőbben tanulmányozható. A kísérleti módszer előnye, hogy gyorsan, egyszerűen előkészíthető, minimális a vegyszerigénye, emiatt kicsi a baleseti és környezeti kockázata, egyszerű és gyors a mosogatás. Könnyen és hatékonyan használható csoportmunká-



3. ábra. A tablettartató mint reakciótér

ban, akár nagy létszámú osztályok esetében is. Két nehézség szokott felmerülni: nem lehet napokkal előre előkészíteni a kísérletet, mert a kis anyagmennyiségek miatt előfordulhat, hogy az oldatok beszáradnak. A tanulóktól bizonyos fokú önmérsékletet és jártasságot követel meg, törekedniük kell a túltöltés elkerülésére – annak érdekében, hogy a szomszédos mélyedésekben lévő reagensek ne keveredjenek egymással. Tablettartókban mindazok a csapadékképződéssel járó, közömbösítési és gázfejlődéssel járó reakciók elvégezhetők, amelyek a mikroszkópi módszerek bemutatásáról szóló részben szerepelnek (3. ábra).

Kémiai reakciók mikroszkóp alatt

A mikroszkóp alatt végzett kísérletek lehetővé teszik a változások részletgazdagabb megfigyelését és az értelmezési szintek hatékonyabb elkülönítést. Pontosan érzékelhető lesz például, hogy még egy nagyobb felbontású (néhány százszoros) fénymikroszkóppal sem láthatjuk az anyagok kémiai részecskéit (atomokat, ionokat, molekulákat), a megfigyelhető változások a halmazok szintjén értelmezhetők. A mikroszkóppal végzett kísérletek további előnye a minimális vegyszerigény és hulladéktermelés, ugyanakkor számos akadály is nehezíti a felhasználását. Nyilvánvaló, hogy a fénymikroszkópok nem szükségszerű tartozékai az iskolai kémiaszertáraknak, ha mégis beszereztünk vagy kölcsönkaptuk, kezelése, beállítása időigényesebb az egyébként is szűkre szabott lehetőségek között. Meg kell oldani a vegyszerekkel szembeni védelmét is; csak olyan kísérleteket szabad ezzel a technikával végrehajtani, ami nem károsítja a mikroszkóp műanyag, fém vagy üveg alkotórészeit. Szerves oldószerek, erős savgőzök, reaktív gázok károsíthatják az értékes berendezéseket. Hasonlóan fontosak a módszer alkalmazásának didaktikai kérdései. Mivel összetett tevékenységsorozatról van szó (nemcsak a kémiai kísérlet elvégzése, hanem a látómező, a megfelelő nagyítás, élesség stb. beállítása is időigényes és némi tapasztalatot is feltételez), hagyományos órakeretben csak tanári demonstrációs kísérletként használható. Például úgy, hogy óra előtt előkészített, beállított kísérletet mutatunk be, és a tanulók az óra különböző fázisaiban egyenként megnézhetik, ami megfelelő munkaszervezéssel, differenciálással megoldható. Előbbiek miatt sokkal mélyebb és tartalmasabb alkalmazási lehetőségeket kínál a módszer tanórán kívüli, szakköri felhasználása.

A hagyományos működési elvű, a minta átvilágításán alapuló fénymikroszkópok mellett hatékony vizsgálati eszközök lehetnek az ún. sztereo- vagy felületmikroszkópok, amelyek ugyan kisebb nagyítást tesznek lehetővé, de használatuk egyszerűbb. Újabban viszonylag olcsón megvásárolható utóbbiak kézi vagy állványra szerelhető változata is, ami USB-csatlakozóval a számítógéphez köthető és a látott kép akár a számítógép képernyőjére, akár aktív táblára kivetíthető [20].

Felületmikroszkóp alatt végrehajtott kísérletnél Petri-csészébe helyezzük az egyik reagáló partnert (ami jellemzően szilárd anyag), beállítjuk a megvilágított látómező közepére, egy részletét élesre

állítjuk, majd szemcseppentővel, Pasteur-pipettával vagy injekciós fecskendővel cseppentjük rá a reagenst. Hagyományos fénymikroszkópot alkalmazva a tárgasztalra helyezett tárgylemezen a parányi szilárd anyag vagy folyadékpaca lesz a reakciótér, és erre vagy ebbe cseppentjük injekciós tűvel a másik reagenst. Olyan kísérletek is látványosak tehetők ezzel a módszerrel, amelyek jól kristályosodó, rosszul oldódó terméket eredményeznek. A folyadékcseppekben leváló nagyobb mennyiségű csapadéknak a körvonalai látszanak, itt a megjelenő szilárd anyag mennyisége bír meggyőző erővel. Ugyanakkor elvész a csapadék színére vonatkozó információ, minden nem átvilágítható szilárd anyag vagy tárgy egyöntetűen fekete színű a látómezőben.

Ha a vizsgálandó oldatból csak mikromilliliternyi mennyiséget viszünk a tárgylemezre, és ezt kissé szétkenjük a tárgylemez felszínén, a reagenst injekciós tűvel parányi mennyiségben hozzáadva látványos csapadékképződés tanúit lehetünk. Ebben az esetben nem a leváló szilárd anyag mennyisége az izgalmas, hanem a fokozatosan kialakuló és az oldat beszáradásával, tömnyedésével együtt járó kristálynövekedés. Ennél a módszernél a csapadék színe is érzékelhető és számos többletinformációhoz jutunk a csapadék jellegére, állagára vonatkozóan. Jól megfigyelhető például a réz(II)-hidroxid kocsonyaszerű anyaga vagy az ólom(II)-jodid sárga romboédere kristályformája. A módszer nagyon finom mozdulatokat és mozgáskoordinációt igényel, bizonyos típusú gyerekek szeretik, és kihívásnak érzik magát a kísérlet végrehajtását is. Csak szakköri foglalkozáson lehet létjogosultsága.

Gázfejlődéssel járó reakciók mikroszkóp alatt. Olyan gázok fejlesztésére válasszuk ezt a módszert, amelyek nem reakcióképesek, nem károsítják a mikroszkópot. Hidrogén, oxigén, szén-dioxid fejlesztésénél a határfelületen lejátszódó gázfejlődés szemléletesen bemutatatható, ugyanakkor a gázok égéssel kapcsolatos viselkedésének bizonyítására természetesen ezzel a módszerrel nincs lehetőségünk. Más élményt nyújt a kísérlet, ha a reakciótér nem zárjuk le fedőlemezrel és mást, ha mikroszkópi fedőlemezt teszünk rá. Utóbbi esetben könnyebb az élesre állítás, egyszerűbben megfigyelhetők a szilárd és folyadék fázis határára keletkező buborékok. Ha szabadon hagyjuk a folyadékcseppent, a vizes oldatok nagy felületi feszültsége miatt nem vész el a térbeliség és sokkal izgalmasabb látványban lesz részünk. A mikroszkóp finombeállító csavarjának mozgatásával a halmaz különböző szinten elhelyezkedő rétegeit tanulmányozhatjuk.

Csapadékképződéssel járó reakciók mikroszkóp alatt. A kísérletek technikai kivitelezése a gázfejlődéssel járó reakcióknál leírt módon történik. A vizsgálatokat végezhetjük felületmikroszkóp alatt, fénymikroszkóp alatt cseppreakcióban vagy a fénymikroszkóp alatt kapilláris módszerrel. Bármilyen csapadékképződéssel járó reakció alkalmas lehet a mikroszkópi vizsgálatra, de leglátványosabbak az élénk színű szilárd anyag keletkezésével járó reakciók. Az átmeneti fémionok csapadékképződéssel járó reakcióinál gyakori jelenség, hogy a reagens feleslegében (ammónia, kloridion, jodidion, cianidion) oldódik a csapadék. A módszerből adódóan nem feltétlenül lesz annyi helyünk a tárgylemezen, hogy a megfelelő mennyiségű felesleget biztosítani tudjuk. Legyünk körültekintőek, ne fusson túl a reagens, mert a mikroszkóp károsodását okozhatja. Célszerű szűrőpapírral vagy papírzsebkendővel leszívni a csapadék egy részét a felesleg alkalmazása közben.

Néhány, mikroszkópi megfigyelésre alkalmas csapadékleválási reakciót találunk a 2. táblázatban.



Fémion	Reagens	Tapasztalat	Magyarázat
réz(II)-ion	2 M nátrium-hidroxid-oldat + kémszer felesleg	kék csapadék	$\text{Cu}[(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+} + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_{2(\text{sz})} + 2\text{Na}^+_{(\text{aq})}$ nem oldódik
réz(II)-ion	2 M ammónia-oldat + kémszer-felesleg	kék csapadék mélykék színnel oldódik	$\text{Cu}[(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+} + 2 \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_{2(\text{sz})} + 2 \text{NH}_4^+_{(\text{aq})}$ $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4 \text{NH}_3 \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]_2 + 2 \text{OH}^-_{(\text{aq})}$
réz(II)-ion	0,5 M kálium-jodid-oldata a) + keményítő-oldat b) + nátrium-tioszulfát-oldat	fehér réz(I)-jodid csapadék, de a jód barna színe elfedi a) lila színreakció b) eltűnik a barna szín, fehér csapadék látszik	$\text{Cu}[(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+} + 2 \text{KI} \rightarrow \text{CuI}_{(\text{sz})} + \frac{1}{2} \text{I}_2$ a) jód – keményítő komplex lila színe jelenik b) $\text{I}_2 + 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ a keletkező ionok színtelenek
ezüst(I)-ion	2 M sósav	fehér csapadék	$\text{AgNO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{AgCl} + \text{HNO}_3$
higany(I)-ion	0,5 M kálium-jodid-oldat + kémszer-felesleg	sárgászöld csapadék megfeketedik	$\text{Hg}_2^{2+} + 2 \text{KI} \rightarrow \text{Hg}_2\text{I}_2 + 2 \text{K}^+_{(\text{aq})}$ $\text{Hg}_2\text{I}_2 + 2 \text{KI} \rightarrow [\text{HgI}_4]^- + \text{Hg}$
higany(II)-ion	0,5 M kálium-jodid-oldat + kémszer-felesleg	téglavörös csapadék feloldódik, halványsárga oldat	$\text{Hg}^{2+} + 2 \text{KI} \rightarrow \text{HgI}_2 + 2 \text{K}^+_{(\text{aq})}$ $\text{HgI}_2 + 2 \text{KI} \rightarrow [\text{HgI}_4]^- + 2 \text{K}^+_{(\text{aq})}$
ólom(II)-ion	0,5 M kálium-jodid-oldat + kémszer-felesleg + szilárd kálium-jodid	élénksárga csapadék nem oldódik oldódik, színtelen oldat	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{KI} \rightarrow \text{PbI}_2 + 2 \text{K}^+_{(\text{aq})}$ – $\text{PbI}_2 + 2 \text{KI} \rightarrow [\text{PbI}_4]^- + 2 \text{K}^+_{(\text{aq})}$
bizmut(III)-ion	0,5 M kálium-jodid-oldat + kémszer-felesleg	fekete csapadék feloldódik, narancssárga oldat	$\text{Bi}^{3+} + 3 \text{KI} \rightarrow \text{BiI}_3 + 3 \text{K}^+_{(\text{aq})}$ $\text{BiI}_3 + \text{KI} \rightarrow [\text{PbI}_4]^- + \text{K}^+_{(\text{aq})}$

2. táblázat. Csapadékképződéssel járó reakciók mikroszkóp alatt

A sav-bázis reakciók mikroszkóp alatt akkor hozhatnak igazán többletet a csempé- és szűrőpapír-technikákhoz képest, ha kémhatásváltozásra érzékeny növényi színanyagok (pl. antociánok) látványos színváltozását vizsgáljuk mikroszkóp alatt. Különösen azok a kísérletek izgalmasak, amelyek nem egyszerűen az antociánok indikátor voltát igazolják, hanem hogy mindez nem „steril”, kémiában megszokott közegben derül ki (kémcsőkéísérletben, antociánkivonatot alkalmazva), hanem akár sejt-, szövet-szinten is bemutatható.

Lilakáposzta színanyagának vizsgálata. Készítsünk borotvapengével vagy szikével lehető legvékonyabb (mm vagy tized mm) metszetet lilakáposzta leveléből! Helyezzük tárgylemezre, cseppentsük le desztillált vízzel és fedjük le mikroszkópi fedőlemez-zel! Állítsuk élesre a képet, és keressünk egy részletgazdag területet a látómezőn! Figyeljük meg a sejtnedvben oldott antocián kezdeti színét! Cseppentsünk injekciós tűvel vagy Pasteur-pipettával egy-két csepp 2 M koncentrációjú sósavoldatot a fedőlemez egyik széléhez úgy, hogy a csepp a desztillált vízzel kapcsolatban legyen! A fedőlemez másik oldalához érintsünk egy kis darabka szűrőpapírt vagy papír zsebkendőt, és szívassuk át a savoldatot a vizsgálati anyagon keresztül! Figyeljük meg, hogy ahogyan a savoldat eléri az antociánt, a kezdeti lilás szín egyre élénkebb pirosra változik!

Egy másik, hasonlóan előkészített minta mellé cseppentsünk lúgoldatot (meszes víz, nátrium-hidroxid-oldat, szappanoldat, felhígított konyhai mosogatószer stb.), és figyeljük meg a bekövetkező kék-zöld színváltozást!

A kísérlet felületmikroszkóppal is elvégezhető. Ebben az esetben a preparátum előkészítése egyszerűbb, csak egy kis darabka növényi részt (pl. lila színű szíromlevelet) kell a Petri-csészére helyezni és közvetlenül a mintára cseppenteni a sav vagy lúg-

oldatot. A színváltozás néhány másodperc múlva már érzékelhető.

Vizsgálati anyagként lila és kék színű virágok és növényi részek alkalmasak (ibolya, orgona, mezei zsálya, árvácska stb.). Meggyorsíthatjuk a kísérletet, ha első lépésként acetonnal vagy egyéb szerves oldószerezrel áttöröljük a növényi rész felszínét. Ha a kísérlet megkezdése előtt maceráljuk a vizsgálati anyagot, például úgy, hogy dörzsmozsrban kissé átdörzsöljük, a sejtek roncsolódása miatt a sejtnedv gyorsabban érintkezik a sav- és lúgoldattal, így a színváltozás hamarabb bekövetkezik. Természetesen ebben az esetben az esztétikai élmény kisebb, mintha van időnk kivárni az ép sejtekben bekövetkező színváltozást.

Hidrogélek mint reakcióterek

A szuperabszorbens polimerek újszerű kísérletezési technikák kipróbálására nyújtanak lehetőséget [21, 22]. A kísérletek során használt hidrogélgolyók virágüzletekben is beszerezhetőek, vízkultúrás növényneveléshez kínálják, vagy egyszerűen dekorgyöngyként, díszítőelemként is szokták használni. Erre a feladatra azonban a már használt, kimerült fürdőszobai illatosító gyöngyök is alkalmasak. Ezek a hidrogélnak nevezett golyók nagy vízfelvevő képességű poliakril típusú műanyagok, amelyek hétköznapi felhasználása a nagy vízfelvevő és víztartó képességükön alapul. Az eldobható babapelenkák és tisztasági betétek nedvszívó magja és a kísérletekben használt hidrogélek is leggyakrabban nátrium-poliakrilát típusú polimerek. Rendkívüli vízfelvevő képességük (akár 20–40 cm³ víz/1 g polimer), kémiai összetételük és szerkezeti kialakításuk együttes eredményeképpen jön létre. A polimer száraz állapotban apró, kemény granulátum. A kiszáradt, illatukat veszített golyókat alaposan átmoszuk, né-



hány órára desztillált vízbe áztatjuk. Duzzadás után körülbelül 1 cm átmérőjű golyókat kapunk.

Csapadékképződéssel járó reakciók hidrogélekben. A mikroszkópi módszereknél részletesen felsorolt, majd a tablettatartós kísérleteknél hivatkozott csapadékképződési reakciók hidrogélekben is végrehajthatók. A vizsgálandó fémiont tartalmazó oldatot injekciós fecskendővel juttatjuk a hidrogélgolyó belsejébe, majd egy másik injekciós tűvel és fecskendővel a csapadékleválaszt előidéző reagenst injektáljuk a golyó belsejébe. A megduzzadt hidrogélgolyók spontán nagyítóként működnek, és még inkább kiemelik a látványt. A módszer érdekes és újszerű, éppen ezért erősen motiváló hatású. Mivel végrehajtása bizonyos kezűgyeséget és érettebb viselkedést igényel, inkább a középiskolás korosztály számára ajánlott. Tanórai környezetben inkább demonstrációs kísérletként használható, de szakköri foglalkozásokon kiváló lehetőségeket biztosít új ötletek kipróbálására és a módszer begyakorlására. Előnye, hogy minimális a vegyszerigénye, a fecskendőkből előkészítve akár hetekig tárolhatók az előkészített vegyszerek és egymás utáni órákon a fecskendők újra és újra elővehetők. A desztillált vízbe beáztatott hidrogélgolyók lezárt befőttes üvegben akár hónapokig megőrzik „működőképességüket”. A csapadékok leválasztásához a reagenseket a tankönyvekben és kézikönyvekben megadott koncentrációkban használjuk. A valóságú eredmény elérése érdekében szintelen poliakril golyókat használunk (4–5. ábra).

majd egymástól kb. 2 cm távolságra elhelyezünk két, desztillált vízben előzőleg megduzzasztott akrilgyöngyöt. Egy-egy grafit Rotring-hegyet szúrunk a golyókba, majd krokodilcsipesz segítségével a vezetékekhez és az áramforráshoz (zsebtelep, tápegység) kapcsoljuk. 4,5–9 V feszültségű árammal végezve az elektrolízist, már néhány másodperc múlva jól látható változásokat észlelhetünk az elektródokon (6–7. ábra).

Az említettekben kívül érdekes lehetőség még a *szappanbuborékokban* [23], a *CD/DVD felületén* [24] végrehajtható kísérletek, valamint az *érintőképernyős okostelefonok és táblagépek* alkalmazása a kémiai kísérletezésben. Ezekről részletesebben a [12, 13] tanulmányokban olvashatunk.



IRODALOM

[1] Tóth Z., Bodnár M. (2004): Kísérletek a kémia tankönyvekben. *Iskolakultúra*, 14 (1), 106–112.

[2] Pais I. (1977): *Kémiai előadási kísérletek*. Tankönyvkiadó, Budapest.

[3] Rózsahegy M., Wajand J. (1991): *575 kísérlet a kémia tanításához*. Tankönyvkiadó, Budapest.

[4] Rózsahegy M., Wajand J. (1999): *Látványos kémiai kísérletek*. Mozaik Kiadó, Szeged.

[5] Szalay L. (szerk.), Riedel M., Rózsahegy M., Wajand J. (2016): *Kémiai kísérletek az általános iskolákban*. ELTE, Budapest. http://ttomc.elte.hu/sites/default/files/kiadvany/kemiai_kiserletek_általanos_iskolakban_0.pdf (2016. 08. 16.)

[6] Mojzes J. (1984): *Módszerek és eljárások a kémia tanításában*. Tankönyvkiadó, Budapest.

[7] Szalay L. (szerk.), Balázs K., Csenki J., Főző A. L., Labancz I., Riedel M., Rózsahegy M., Schróth Á., Tóth Z., Wajand J. (2015): *A kémiatanítás módszertana*. ELTE, Budapest. http://ttomc.elte.hu/sites/default/files/kiadvany/kemiatanitas_modszertana_jegyzet.pdf (2016. 08. 16.)

[8] Bohdanczyk L-né, Sarka L., Tóth Z. (2015): *Kémiatanárok szakmódszertani továbbképzése*. (Szaktárnet-könyvek 13.) Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. [http://tanarkepzes.unideb.hu/szaktar.net/kiadvanyok/kemiatanarok_szakm_tovabbk.pdf](http://tanarkepzes.unideb.hu/szaktarнет/kiadvanyok/kemiatanarok_szakm_tovabbk.pdf) (2016. 08. 16.)

[9] Obendrauf, V. (2008): More small scale hands on experiments for easier teaching and learning. *Chemical Education International*, 8 (1), <http://old.iupac.org/publications/cei/vol8/0801xObendrauf.pdf> (2016. 08. 16.)

[10] Kovács M. (2002): Variációk két elemre. *A Kémia Tanítása*, 10 (5), 3–12.

[11] Mattson, B. (é.n.): *Microscale gas chemistry*. http://mattson.creighton.edu/Microscale_Gas_Chemistry.html (2016. 08. 16.)

[12] Tóth Zoltán és Sarka Lajos (2015): Új lehetőségek a tanórai kísérletezésben. In: Bohdanczyk L-né, Sarka L. és Tóth Z. (2015): *Kémiatanárok szakmódszertani továbbképzése*. (Szaktárnet-könyvek 13.) Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. 95–124. http://tanarkepzes.unideb.hu/szaktar.net/kiadvanyok/kemiatanarok_szakm_tovabbk.pdf (2016. 08. 16.)

[13] Riedel M., Rózsahegy M., Wajand J., Tóth Z. (2015): Kémiai kísérletek és egyéb szemléltetési módok. In: Szalay L. (szerk.) (2015): *A kémiatanítás módszertana*. ELTE, Budapest. 69–120. http://ttomc.elte.hu/sites/default/files/kiadvany/kemiatanitas_modszertana_jegyzet.pdf (2016. 08. 16.)

[14] Bárány Zs. B. (2009): Csempe- és félmikro-kísérletek laboratóriumi gyakorlatokon, I. rész. *A Kémia Tanítása*, 17 (2), 23–26.

[15] Bárány Zs. B. (2009): Csempe- és félmikro-kísérletek laboratóriumi gyakorlatokon, II. rész. *A Kémia Tanítása*, 17 (3), 17–20.

[16] Bárány Zs. B. (2009): Csempe- és félmikro-kísérletek laboratóriumi gyakorlatokon, III. rész. *A Kémia Tanítása*, 17 (4), 7–9.

[17] Bárány Zs. B. (2009): Csempe- és félmikro-kísérletek laboratóriumi gyakorlatokon, IV. rész. *A Kémia Tanítása*, 17 (5), 13–15.

[18] Bárány Zs. B. (2010): Csempe- és félmikro-kísérletek laboratóriumi gyakorlatokon, V. rész. *A Kémia Tanítása*, 18 (1), 28–31.

[19] Kalogirou, E., Nicas, E. (2010): Microscale chemistry: experiments for schools. *Science In School*, 5 (16), 27–32. <http://www.scienceinschool.org/2010/issue16/microscale> (2016. 07. 19.)

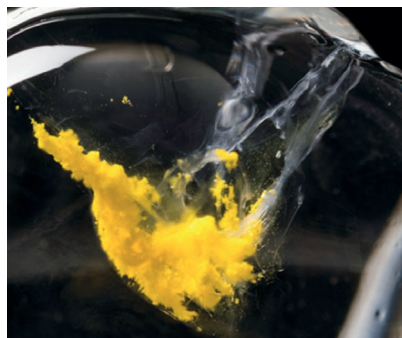
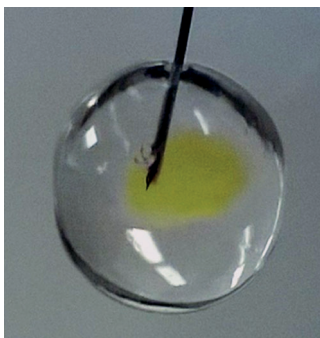
[20] Lopes, F. S., Baccaro A. L., M. Santos S. F., Gutz I. G. R. (2016): Oxygen bleach under the microscope: microchemical investigation and gas-volumetric analysis of a powdered household product. *Journal of Chemical Education*, 93 (1), 158–161.

[21] Nuffield Foundation, Royal Society of Chemistry (2015): *Experiments with hydrogels – hair gels and disposable nappies*. <http://www.rsc.org/learn-chemistry/resource/res00000689/experiments-with-hydrogels-hair-gel-and-disposable-nappies>. Röviden: <http://rsc.li/IT37oEK> (utolsó megtekintés: 2016. 07. 19.)

[22] Dobóné Tarai É., Fontos M., Márfaí F., Nyariki N., Sebők E., Serflek Á., Soproni B., Ujházy A. (2016): Egy új kémiaórai kísérletező módszer és kipróbálásának tapasztalatai. *Középiskolai Kémiai Lapok*, 43 (2) 178–189.

[23] Albert W. M., Lee, A., Wong, H. W., Lee, H. Y., Ning-Huai Z. (2002): Chemistry in Soap Bubbles. *Journal of Science Education*, 3 (1) 37–38.

[24] Lühken, A. (2010): Chemistry in the mirror of a CD – experiments with the compact disc. *Research in didactics of the sciences: monograph*, Pedagogical University of Kraków. <http://pbc.up.krakow.pl/dlibra/plain-content?id=1710> (2014. 03. 05.)



4–5. ábra. Ólom(II)-jodid csapadék akrilgyöngyben (Soproni László fotói)

Elektrokémiai reakciók hidrogélekben. Gyorsan és egyszerűen elektrolizálhatunk akrilgyöngyök segítségével. Az elektrolizálni kívánt oldatunkba belemerítünk egy kb. 5 cm hosszúságú és 3 cm széles szűrőpapírcsíkot, tiszta üveglapra vagy csempére simítjuk,

6. ábra. Ezüstkiválás akrilgyöngyben (ezüst-nitrát-oldat elektrolízise)

7. ábra. Oxigénfejlődés akrilgyöngyben (ezüst-nitrát-oldat elektrolízise)

