

Van egy elméletem: régen nálunk is voltak tudósok, különben honnan lehetnének úrhajóink. De azóta már elfelejtettük őket. Lehet, hogy elsősre butaságnak tűnik, de gondoljanak bele: nem is tudjuk, hogyan működnek a gépeink, amiket használunk! Valaki csak kitalálta őket, a tervrajzok nem nőhettek ki a földből, igaz? Majd ha az emberek eljutnak arra a fejlettségi szintre, amin mi vagyunk, talán már ők sem gondolkodnak többet, mert fölöslegesnek érzik. De tényleg az? Fölösleges gondolkodni egy bizonyos pont után?

Központ!

A mesepályázat értékét *Szántay Csaba*, a TETT egyik ötletadója abban látja, hogy: „A TETT lehetőséget ad a diákoknak arra, hogy saját nyelvükön, saját alkotó önkifejezésükkel fogalmazzák meg a természettudományokhoz kapcsolódó gondolataikat – számunkra pedig nagy öröm látni, hogy évről évre egyre több fiatal kapcsolódik be ebbe az inspiráló közösségbe.”

Gratulálunk minden meseírónak az alkotásához, a díjazottaknak eredményükhöz. Köszönjük a fiatal alkotóknak, hogy ezt a napot számunkra is ünnepnappá tették. Találkozunk 2027-ben.

Kiss Tamás

Kovács Mihály – Murányi Zoltán

■ Eszterházy Károly Katolikus Egyetem | kovacs2.mihaly@uni-eszterhazy.hu

Hogyan tegyük élővé a kémiát? Zöld és fenntartható kémiai gyakorlatok a középiskolai oktatásban

A zöld kémia és a fenntarthatóság kémiája nem csupán divathullám, hanem jó lehetőség arra, hogy motiváljuk a diákokat a kémia tanulására. A zöld és fenntartható kémia oktatása reményeink szerint növelheti a kémiával kapcsolatos pályák vonzerejét, mivel aktuális problémákon keresztül közelíthetjük meg a tananyagot. Emellett a zöld kémia elveinek megismerése hozzájárulhat a kémiával kapcsolatos ellenérzések leküzdéséhez is, hiszen egyik fő célja épp a mérgező, környezetkárosító anyagok helyettesítése. [1] Felismerve a téma fontosságát az IUPAC koordinálásával egy 57 országra kiterjedő kutatás zajlott, amely arra kereste a választ, mi nehezíti és mi segítheti a zöld és fenntartható kémiai gyakorlatok alkalmazását a tanári munka során, valamint feltérképezte a már létező jó gyakorlatokat is. [2]

A diákok rendszeresen találkozhatnak a világ sürgető környezeti problémáival, ennek hatásai tetten érhetők a kémia tantárgy esetében is, a vegyipar gyakran jelenik meg negatív színben, az ismerethiány pedig a kemofóbia táptalaja. [3] A zöld és fenntartható kémia oktatása segíthet ennek a képnek az árnyalásában, mivel a kémiát a problémák megoldásának egyik eszközeként mutatja be.

A kutatás eredményei – a magyar és a

nemzetközi adatok összevetése alapján – egyértelműen azt mutatják, hogy a kémiatanárok világszerte hasonló támogatást várnak (pl. módszertani segédlet) és hasonló akadályokkal kell szembenézzenek (pl. időhiány, eszközhány, laborbiztonság). [4] A zöld kémiához kapcsolódó kísérletek és gyakorlatok, valamint a fenntarthatósággal kapcsolatos megfontolások részben választ jelenthetnek ezekre a problémákra is, hiszen céljaik közt szerepel a gazdaságos anyaghasználat, a vegyszerigény csökkentése és a biztonságos anyagok használata. Különösképp hasznosnak látszanak ebből a szempontból a hétköznapi anyagok segítségével megvalósítható mikrokísérletek, projektek vagy épp a környezetben található anyagok vizsgálatai. Ezek a gyakorlatok a környezeti nevelésnek is kiváló eszközei lehetnek, hiszen a zöld kémia és a fenntarthatóság szemléletmódként jelenik meg bennük, nem pusztán tananyagként. Ez a szemléletváltás szükséges a tanárok részéről a fenntarthatósági nevelés érdemi megvalósításához.

Ez a két gondolkodási irányzat közeli vonalon, hiszen mindkettő környezetvédelmi megfontolásokból ered, mégis jól megkülönböztethető. [5] A zöld kémia tudományága elsősorban a veszélyes anyagok okozta katasztrófákra adott válaszként jött létre,

amilyenek például a DDT okozta problémák vagy a bhopali katasztrófa. Fő célja tehát az egészségre és a környezetre ártalmas vegyületek használatának, előállításának csökkentése, illetve lehetőség szerinti kiváltása kevésbé ártalmas alternatívákkal. Ezt a célt foglalta rendszerbe *Anastas* és *Warner* 12 alapelv formájában. [6]

Míg a fenntarthatóság gondolata sokkal inkább abból a felismerésből indul ki, hogy bolygónk erőforrásai végesek, mégis szeretnénk jobb életfeltételeket biztosítani magunk és a következő nemzedék számára. Ennek jegyében fogalmazott meg az ENSZ 2015-ben 17 fenntarthatósági célt (SDG-k) [7]. A két terület közötti különbség ebből már könnyen megérthető: létezik például olyan anyag, aminek a használata fenntartható, de környezeti vagy egészségügyi hatásai miatt nem tekinthető zöldnek; és fordítva: lehet egy anyag biztonságos, mégis fenntarthatatlan például gazdasági okokból, így viszont nem felel meg az iparosodással kapcsolatos fenntarthatósági célnak.

A kémián belüli átfedések vizsgálatát elengedve kanyarodjunk vissza az oktatáshoz. Ebből a szempontból vizsgálva közös a két területben, hogy a zöld és fenntartható kémia oktatási gyakorlatba való beemelésével kortárs tudományos és mérnöki problémákkal találkozhatnak a tanulók.

Elég arra gondolni, hogy az elmúlt 25 év kémiai Nobel-díjai közül több is kapcsolatba hozható ezekkel a területekkel, de az is sokat mondó, hogy a Google Tudóson 2026 februárjában a „green and sustainable chemistry” kifejezésre keresve és a 2020 óta eltelt időre szűkítve több mint 60 000 találatot kaptunk. Mindez arra utal, hogy ez a témakör alkalmas lehet a kémia tantárgy tananyagának elavultságából fakadó problémák enyhítésére: ezt lehetséges okként említették a kémiával kapcsolatos pályaválasztási hajlandóság nemzetközi szinten megfigyelhető csökkenésére [4], míg *Keglevich Kristóf* e lapban azt vetette fel, hogy ez a tárgy népszerűségének csökkenésében is szerepet játszhat. [8]

Ha a zöld és fenntartható kémiával kapcsolatba kerülhetnek a diákok, megláthatnak olyan karrierutakat, amelyek addig számukra ismeretlenek voltak. Találkozhatnak azzal, hogy a kémia egy ma is élő, modern és fejlődő tudomány, amely nemcsak a problémák okozója, de a megoldások keresésének egyik legfontosabb területe. A kapcsolatteremtés egyik legfontosabb szereplője az iskolában a tanár, így az itt bemutatott kutatás keretein belül feltártuk, mi segíti és mi hátráltatja a különböző országokban dolgozó kémiatanárokat.

A magyarországi válaszadók többsége azt tartotta a legnagyobb akadálnak, hogy kevés az idő, kiváltképp a tanórákon, ezután következett az eszköz- és vegyszerhiány. [9] Sokan említették emellett a nagy létszámú osztályok és a fegyelmetlenség miatti baleseti kockázatokat. Az a talán sokakat meglepő helyzet, hogy az itt felvetett problémákkal egyáltalán nem vagyunk egyedül. [4] Ugyanígy a leggyakrabban említett akadály az összes európai válaszadót tekintve is a túl kevesnek tartott tanórai idő, amit az eszköz- és vegyszerhiány követett, és egyébként Óceániától eltekintve világszinten is ez volt a két leggyakrabban említett ok, legfeljebb más sorrendben. A kémiaképzés előtt álló kihívás tehát világszintű.

Ezekre a problémákra részben választ jelenthet, ha a zöld kémia elveit alkalmazzuk iskolai környezetre, hiszen cél a vegyszerigény csökkentése. Amennyiben kevesebb vegyszerre van szükség, úgy vegyszerhiány is nehezebben alakulhat ki. Emellett a balesetveszély is csökken, hiszen fontos cél a veszélyes anyagok biztonságosabb alternatívára való lecserélése. Válaszadóink arról számoltak be, hogy abban, hogy több zöld és fenntartható kémiai kísérletet alkalmazzanak munkájuk során, a legnagyobb segítséget a kidolgozott feladatl-

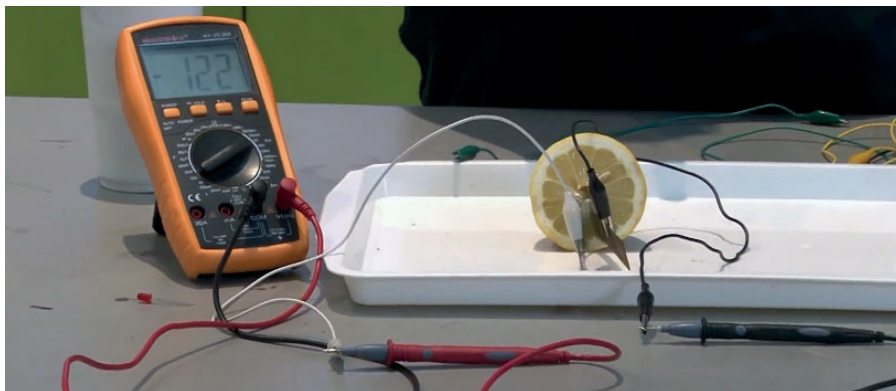


pok, egy kísérletgyűjtemény és a témában tartott workshop vagy továbbképzés jelentené. Épp ezért különösen fontos, hogy a kutatás részeként jó gyakorlatok gyűjtése is zajlott.

Bármilyen didaktikai célra alkalmazott kísérlet lehet zöld és fenntartható szemléletű. Használható motiválásra, új ismeretek bevezetésére stb. Egyszerre látványos és biztonságos például a gáztörvények megértését segítő pillécukor-kísérlet [10]; ebben a kísérletben a tanulók egy fecskendőbe zárt pillécukron vizsgálják a nyomás változására bekövetkező térfogatváltozást.

Szintén motiváló hatással bírhat, ha a háztartásból ismert anyagokat használunk a kémiaórán, ami mellett, hogy megfelel a zöld kémia azon követelményének, hogy használjunk biztonságosabb anyagokat, különböző kémiai koncepciók megismerését is szolgálhatja. [9], [11] Népszerűek az interneten is az ecet és a szódadikaribóna reakciójának különböző bemutatási módjai, de ide sorolható a hőbomlás bemutatása a





megszokott kálium-permanganát helyett szalalkálival. Igaz, az előbbi is valaha megtalálható volt minden háztartásban, de mára eltűnt, és az utóbbi is egyre jobban visszaszorul, a legtöbb élelmiszerboltban azonban még mindig olcsón beszerezhető. Ide sorolható a citromelme készítése is, de sok más háztartásból ismert anyag vagy hulladék is használható kísérletekhez: só, tojás-héj, szódabikarbóna, mosószóda, cukor, pezsgőtabletták, olaj, ételfesték, mosogatószer stb. Az olajjal például bemutatatható, hogy hogyan lehet eltávolítani egy olajfoltot a víz felszínéről.

A hétköznapokban is felhasználható tudást, illetve a zöld kémia hétköznapokra való alkalmazását is segíti, ha háztartási anyagokat használunk, ennek jó példája a vízkőoldás, hiszen az erős savak lecserélhető citromsavra vagy ecetre [9], [10]. Volt válaszadó, aki kiemelte, hogy a zöldebb tisztítási eljárások bemutatathatók az osztályterem takarításán keresztül is. Szintén a háztartáshoz köthető a konyhakémiai kísérletek, például a fermentálás és a házi ecetkészítés, vagy a kozmetikumok előállítás és a szappanfőzés. A főzés kapcsán volt, aki kiemelte, hogy akár az osztálykirándulás is jó alkalom lehet egy kis konyhakémizásra, ha a diákok maguk főznek.

A meglévő kísérletek jelentős része is alkalmasnak látszik a zöld és fenntartható kémia elveinek bemutatására némi szemléletváltással. A titrálás során megemlíthető a felesleg elkerülésének elve, vagy minimálisan átdolgozva a gyakorlatot, a hígabb oldatok használatával csökkenthető a vegyszerigény.

A felhasználandó reaktánsok mennyiségének csökkentésére jó eszközt jelentenek emellett a például a mikrolemezekre vagy lefóliázott papírlapon elvégezhető szupermikro-kísérletek: cseppreakciók [9], [10]. A különböző színreakciók és csapadékképződési reakciók jól bemutatathatók ilyen módon, ami a vegyszerigény mellett a szükséges időt is csökkenti mind a tanórán, mind az előkészületek és a takarítás so-

rán. A mosogatás elkerülése pedig nemcsak a pedagógus számára kellemes, hanem a vízfelhasználás csökkentésével is jár, ami a fenntarthatóságnak is fontos eleme! Szintén ebbe a kategóriába tartozik az alumínium pénzérme sósvacsepre helyezése, illetve a kristálynövesztés nagyító vagy mikroszkóp alatt. Volt olyan válaszadó, aki kiemelte, hogy a csoportmunka – az egyébként ismert pedagógiai céljain túl – szintén alkalmas a vegyszerigény csökkentésére.

Tipikusan a fenntarthatósághoz kapcsolható a hulladékok kezelése, újrahasználata. Ennek kapcsán említették a válaszadók a PLA komposztálásának bemutatását vagy újrahasznosított papír készítését. A műanyagok égetésekor keletkező anyagok kimutatása kapcsán pedig ki lehet térni az újrahasználat fontosságára. Bemutathatók olyan kísérletek, melyekben a termékeket használjuk további kísérletekre. Szintén csak szemléletváltás szükséges olyan klaszikus kísérletek kapcsán, mint a klór fejlesztése, majd a gázfelesleggel brómos víz előállítása, vagy a magnéziumszalag égése, amikor az oxidot sav-bázis indikátort tartalmazó vízbe szórjuk. Ilyenkor azt az anyagot használjuk újabb kísérlethez, ami egyébként hulladék lenne. Az indikátorok pedig lecserélhető a gyümölcsökből, lila-káposztából ismert antociánokra vagy a kurkumából alkohollal kioldható kurkuminra. [9], [10]

Ezzel szemben a szűken vett zöld kémiához tartozik egy gyakorlat, amit Portugáliában kell elvégezniük a 11. évfolyamos diákoknak; ennek során acetilszalicilsavat állítanak elő. Az eredményeiket a zöld kémia 12. elve alapján kell kiértékelniük, különös tekintettel az atomhatékonyságra. [11]

A biztonságosabban elvégezhető kísérletek lehetővé teszik azt is, hogy bátrabban nyúlhassanak a tanárok olyan módszerekhez, mint a kutatásalapú tanulás, a kísérlettervezés. A kevésbé veszélyes anyagok használata ugyanis csökkenti az esetleg rosszul sikerült kísérletek kockázatát. [9]

Találkozhattunk tehát több olyan gyakorlattal is, amelyek könnyebben, olcsóbban beszerezhető vagy biztonságosabb anyagokat használnak, és azt is láthattuk, hogy sok tanár a meglévő kísérletekben felfedezte a lehetőséget arra, hogy a zöld és a fenntartható kémia megfontolásait bevezesse a tanórán. Nem is cél mindent lecserélni, megtaníthatók továbbra is ugyanazok a fogalmak, mint régen, gyakran ugyanazokkal a reakciókkal, csak más irányból közelítve, új szemüvegen át nézve. A zöld és fenntartható kémia nem teher, hanem új lehetőség a kémiaképzésben, hogy a tanár változásokat indítson el. A diákoknak mutatott jövőképe ugyanis kulcsfontosságú mind a tanórai motiváció, mind a pályaválasztás szempontjából. Egyik válaszadónk idézve: „A környezettel kapcsolatos tananyag nagyon jó lehetőség arra, hogy érdekessé tegyük az órát és bevonjuk a tanulókat „úgy, hogy közben folyamatosan tanulják, hogyan lehetnek a bolygónk megmentői”.

Albert Schweitzer szavaival élve: „A példa nem a legfontosabb dolog, amivel másokat befolyásolhatunk. Hanem az egyetlen.” Tehát a környezeti és fenntarthatósági nevelés megvalósítása nem más, mint tanári (tanterületi), családi és társadalmi példamutatás!

Zárásként köszönjük ezúton is mindazon tanárok segítségét, akik válaszukkal hozzájárultak ennek a kutatásnak az eredményeihez!

IRODALOM

- [1] Barta K., Csékei M., Csihony Sz., Hasan, M., Horváth. I. T., Pusztai Z., Vlád G., Magyar Kémikusok Lapja (2000) 55(5), 173–181.
- [2] Delaney, S., Chiavaroli, L., Dissanayake, T., Pham, L., Schultz, M., Chem. Teach. Int. (2024) 6(3), 295–309, doi: 10.1515/cti-2024-0050
- [3] Rollini, R., Falcicola, L., Tortorella, S., Chemophobia: A systematic review, Tetrahedron, (2022) 113, 132758, doi: 10.1016/j.tet.2022.132758
- [4] Delaney, S., Devetak, J., Stojanovska, M., Rodic, D., Schultz, M., Snapshot of IUPAC Teacher survey on green and sustainable chemistry practical activities – European and global perspectives, 16th European Conference on Research in Chemical Education (ECRICE), 2024. 09. 06.
- [5] Horváth I. T., Chemical Reviews (2018) 118(2), 369–371.
- [6] Anastas, P. T., Warner, J. C., Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press, Oxford, 2000.
- [7] United Nations, Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September, United Nations, New York, A/RES/70/1, 2015. <https://sdgs.un.org/2030agenda> (letöltve: 2026.02.19.)
- [8] Keglevich K., Magyar Kémikusok Lapja (2019) 74(2), 44–48.
- [9] Murányi Z., Kovács M., Chem. Teach. Int. (2025) 7(4) 647–656. doi: 10.1515/cti-2025-0056
- [10] Akaygun, S., Budak, U. S., Nalcakan, N., Sözbilir, M., Delaney, S., Chem. Teach. (2025) 7(4), 695–716. doi: 10.1515/cti-2025-0037
- [11] Ribau, I., Chem. Teach. Int. (2025) 7(4), 657–680. doi: 10.1515/cti-2025-0034