



Haja Dóra Zsófia

■ Tóth Árpád Gimnázium, Debrecen

Nyomozás kémiaórán*

„A közvélemény viszonya a tudományhoz jelenleg ellentmondásos. Egyrészt természetesnek veszi az életszínvonal javulását, amelyet a tudomány és a technika újabb eredményei tesznek lehetővé, másrészt viszont bizalmatlan a tudománnyal szemben, mert nem érti azt.”

(Stephen Hawking)

A közelmúltban hunyt el Stephen Hawking angol elméleti fizikus, aki nem csupán kiemelkedő szakmai sikerei által ismert, hanem azon kevés tudós közé sorolható, akinek a laikusoknak szóló ismeretterjesztő munkássága is jelentős. Nagyon magával ragadott fenti idézete a tudomány kettősségéről, mert gyakran én is úgy érzem, hogy a tudományokkal szemben egyfajta ellenérzés van az emberekben, és ez igaz a saját korosztályomra is. Kevés diák jelöli meg kedvenc tantárgyáknak a fizikát és a kémiát. A felnőttkori tanulás kapcsán ma már közismert, hogy az eredmény elérését a közvetlen, konkrét tapasztalatszerzés nagyban elősegíti. Bár mi még nem vagyunk felnőttek, de szerintem az élményalapú tanulás az én korosztályomnál is segítené a természettudományok megszeretését.

A televízióban az elmúlt évek során megnőtt az olyan sorozatok száma, amelyek valamilyen bűnügyet próbálnak megoldani fizikai törvények, kémiai reakciók segítségével (pl. NCIS, CSI: New York-i helyszínelők, CSI: A helyszínelők, Dr. Csont). A felmérések szerint ezek a fiatalok legkedveltebb műsorai közé tartoznak. A helyszínelők munkáját bemutató sorozatok napjainkban egyre népszerűbbek, azonban sok esetben vajmi kevés közülük van a valósághoz, vannak bennük olyan dolgok, amelyek a fantázia világába vezetnek. A szereplők mindig tudják, mi a dolguk, a technika, a logikus gondolkodás és helyzetelemzés segítségével „45 perc alatt” megoldják az esetet, aminek részese lehet a néző is. A laborokban találunk spektrofotométert, UV-lámpát, elektronmikroszkópot, hazugságvizsgálót; tudnak DNS-vizsgálatot végezni, és a legújabb informatikai szoftverekkel hasonlítják össze az ujjlenyomatokat, fényképeket. Nem véletlen, hogy hosszú ideje nagy népszerűségnek örvendenek ezek a műsorok, és hétről hétre a képernyő elé csalogatják a nézőket. Talán meglepő, hogy a bűnügyek iránti érdeklődésünket az evolúciónak köszönhetjük. Már az ősember is kíváncsi volt arra, mi történik a szomszédos barlangban, és amikor a medve felfalta az ott lakókat, tanult belőle, hogy ne váljon ő is áldozattá. A krimi felnőtteknek szóló mese. Igen, valóban mese, hiszen azok a dolgok, amik ezekben a sorozatokban történnek, gyakran távol állnak a valóságtól. Számomra ezeknek a sorozatoknak az üzenete a tudomány eredményeinek hasznosítása. Az órákon motivációs lehetőségként életszerű, mindennapi példákat hozhatunk, amelyekkel esetleg a

kedvenc sorozatainkban is találkozhatnak a társaink, felkelthetjük egymás érdeklődését, és így könnyebben elsajátítjuk a tananyagot.

Laborlátogatás

Pályamunkám elkészítése során látogatást tehettem a Debreceni Egyetem Igazságügyi Toxikológiai Laboratóriumában, ahol Posta János laborvezető, igazságügyi toxikológus szakértő vezetett körbe és mutatta be a labor működését. Az intézetben vér- és vizeletmintákból a legfontosabb kábítószer-családok (ópiátok, kokain, THC, amfetamin-származékok, methadon és új pszichoaktív szerek) mellett barbiturátok, benzodiazepin-származékok, triciklikus antidepresszánsok, szerves foszfát-tartalmú és egyéb permetezőszerek, valamint alkoholok kimutatása folyik.

A toxikológiai vizsgálat első lépése, hogy a betegtől vagy áldozattól mintát vesznek. A tényleges elemzés megkezdése előtt a mintát különböző eljárásoknak kell alávetni, hogy a benne található mérget kivonják és megtisztítsák. A mérgek kivonását az anyag tulajdonságaitól függően végezhetik szerves oldószerrel – például éterrel vagy kloroformmal – vagy szilárd folyadékmegkötő (adszorbens) anyaggal, például kovasavval.

A kromatográfia a mintában jelen lévő összetevők szétválasztására használt módszer, melynek segítségével azonosíthatják a különféle mérgeket. Sokféle eljárást ismerünk, valamennyi azon az elven alapul, hogy az egyes összetevők eltérő kémiai összetételük következtében más és más sebességgel haladnak át az adszorbens közegen. Manapság a kromatográfiát a tömegspektrometriával kapcsolják össze. A tömegspektrométer olyan készülék, amely a kromatográfból kikerülő molekulákat elektronokkal bombázza. A kezeléssel ionizálják, azaz elektromos töltéssel rendelkező részecskékké alakítják az összetevőket. A tömegspektrométer tömegük alapján szétválasztja a gázállapotú ionizált molekulákat és töredékeiket (fragmenseiket).

A betegellátásban nemcsak a Debreceni Egyetem klinikái számára végeznek toxikológiai analíziseket, hanem más, külső egészségügyi intézmény (pl. Budapest, Kenézy Kórház, nyíregyházi kórház stb.) megbízásait is teljesítik. Az országban egyedülként, folyamatos, 24 órás készenléttel segítik a mind hatékonyabb és színvonalasabb ellátást. Közel 300, toxikológiai szempontból figyelmet érdemlő vegyület analízisére kerül sor rutinszerűen.

A toxikológiai vizsgálatok között fontos helyet foglalnak el a hatóságok (rendőrség, ügyészség) részére készülő analízisek élő és holt személyek, illetve bűnjelek esetében. Mindezen feladatok mellett a tudományos munkában is hatékonyan részt vesznek. A toxikológiai laboratórium nemzetközi kísérletben kutatja alkoholok, kábítószer, gyógyszerek, új pszichoaktív szerek kimutatását.

*Az MKE Hajdú-Bihar Megyei Szervezete által meghirdetett Dr. Kónya Józsefné Em-lékpályázat fődíjas dolgozatának szerkesztett, kismértékben rövidített változata (fel-készítő tanár: Hotziné Pócsi Anikó).



Nyomozás a kémia segítségével

A természettudományok közül a kémia központi szerepet játszik a különféle bűnesetek felderítésében. Az egyre elterjedtebb műszeres analitikai vizsgálatoknak köszönhetően a bűnügyi technológus gyakran csak beteszi a gépbe a mintát – ahogy azt a CSI-sorozatoknál is láthatjuk –, és a számítógép pillanatok alatt megjeleníti az eredményt, a vizsgált anyag pontos összetételét.

A 20. század során rengeteg olyan módszer fejlődött ki, amelynek segítségével korábban elképzelhetetlen eredményeket produkálnak a nyomozók munkáját segítő szakértők. A DNS-vizsgálatok révén rendkívül nagy valószínűséggel megállapítható, kié a helyszínen talált hajszál, vérfolt vagy nyálminta. A legforradalmibb eredmények közé tartozik, hogy ma már olyan módszereket használnak, amelyekkel nemcsak hogy kevés mintából is nagy pontossággal tudnak méréseket végezni, de a bizonyíték gyakorlatilag sértetlen állapotban megőrizhető.

A műszerek azonban nem szorították ki teljesen a „rég” módszereket. Ennek oka, hogy ezekre gyakran van szükség; gyorsan, egyszerűen működnek; nem szükséges a helyszínre szállítani a drága és nehéz berendezéseket, így különösen gyakori használat esetén költségkímélőbbek (például ha meg kell mondani, hogy egy minta lehet-e vér, vagy ha nagyobb felületen kell biológiai eredetű anyagnyomokat keresnünk). A továbbiakban ezekből a módszerekből szeretnék bemutatni néhányat.

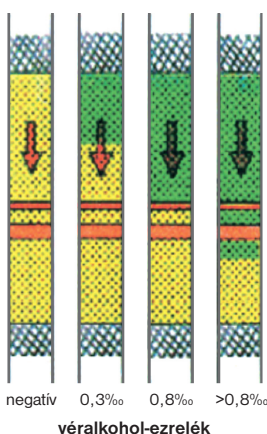
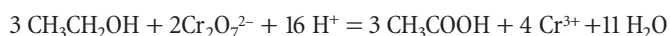
A kémiai elven alapuló alkoholszondák

Az alkohol a szerves kémiai vegyületek egy teljes osztályát jelöli, de köznyelvi értelemben etil-alkoholt vagy más néven etanolt (C_2H_5OH) jelent. Az alkohol olyan anyag, amely nagyon gyorsan (percek alatt) a véráramba kerül, de hosszú ideig tart, míg elhagyja a szervezetet. Az alkohol kétféle módon távozik a szervezetből: a legnagyobb része – több mint 90%-a – a májban az anyagcsere folyamán ecetsavvá alakul, mely ezután szén-dioxidá és vízzé oxidálódik. Nagyjából 2–5%-a a vizelettel választódik ki. Némely alkohol a tüdőn át ürül, amikor a vérrel eljut a tüdő légcsatornáiba. Emiatt az alkohol kimutatható a leheletből is, és a különböző légszészanalizátorok, „szondák” használatával így meghatározható, hogy egy személy alkoholos befolyásoltság alatt áll-e.

A kémiai elven alapuló alkoholszondát (Nagy-Zsigmond-féle alkoholszonda) a debreceni Igazságügyi Intézetben dolgozták ki, és a mérési eljárást 1953 óta alkalmazzák. Az alkoholszonda voltaképpen kis üvegcső, amelybe a vizsgált személy belefúj. A cső 50%-os kénsavban oldott, híg kálium-kromátot tartalmaz. Az üvegcsőben található anyag az alkoholgőz hatására elszíneződik: a keverékben található sárga kálium-kromát az alkoholgőz hatására zöld króm(III)ionná alakul. Minél töményebb az alkoholgőz, annál hosszabb lesz az elzöldült rész a szondában. Ez a szonda csak egyszer használható. A kémiai alkoholszondás mérés számos hibalehetőséget hordoz. Például egy cukorbetegnél tévesen pozitív eredményt adhat. Ez akkor fordul elő, ha a cukorbeteg nem kapott elég inzulint, így a szervek megkezdték lebontani a zsírt, és a felszabaduló aceton lép reakcióba. A kémiai alkoholszondát ma már csak szűrővizsgálatra használják, mivel elszíneződése nem bizonyítja hitelet érdemlően az alkoholfogyasztást. A negatív eredmény ugyanakkor kizárja az alkoholos befolyásoltság fennállását.

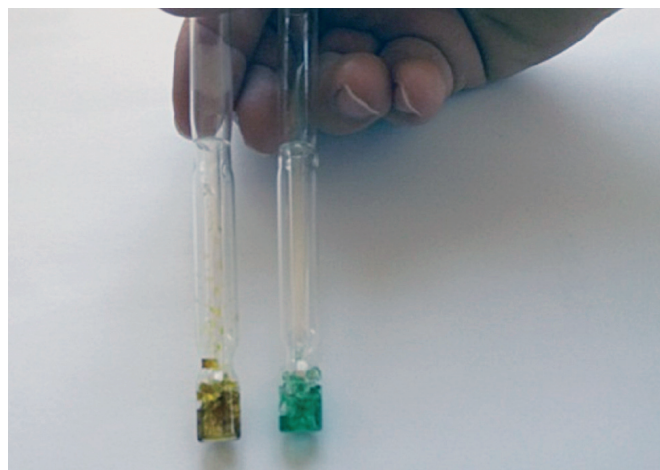
Az alkoholszonda működésének lényege az a redoxreakció, amely a narancssárga színű *bikromátionok* és az etanol között játszódik le. A bikromátionban lévő króm +6-os oxidációs álla-

potból zöld színű Cr^{3+} -ionná redukálódik, miközben az etanol ecetsavvá oxidálódik. A végbemenő reakció egyenlete:



Értékelő skála a véralkoholszint megállapításához

A toxikológiai laboratóriumban elvégezhettem a tesztet. A negatív tesztet én fújtam, a pozitív teszthez etil-alkoholt használtunk, amiből pipettával egy cseppet kicseppentettünk.

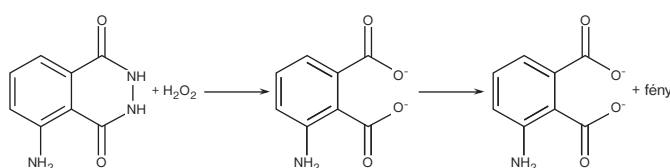


Bal oldalon a negatív, jobb oldalon a pozitív eredményt mutató szonda

Luminol-teszt

Bűntények kiderítésekor gyakran használnak a nyomozók olyan anyagot, amely reakcióba lép a szabad szemmel láthatatlan vérnyomokban a hemoglobinnal, ami így láthatóvá válik. A sorozatokban láthatjuk, ahogy a luminolt tartalmazó oldattal befújt felületen kékes fénnel kirajzolódnak a vérre gyanús szennyeződés szabad szemmel láthatatlan nyomai. A reakció során kialakuló anyag a többletenergiajából fény kisugárzásával szabadul meg. A luminolt (3-amino-ftálsav-hidrazid, $C_8H_7N_3O_2$) tartalmazó oldatot hidrogén-peroxiddal keverik össze, és ezt a keveréket szórják rá a tetthelyen azokra a területekre, ahol vérnyomokat gyanítanak. A hemoglobin vastartalma katalizátorként működik: fel-

A luminol-teszt során végbemenő reakció





gyorsítja a reakciót a hidrogén-peroxid és a luminol között, miközben a keletkező új anyag (3-aminoftalát) fényt sugároz ki. Így láthatóvá válnak azok a területek, ahol vér került a padlóra vagy a bútorokra. Luminol helyett fluoreszcein-oldat is használható. A fénykibocsátás mintegy fél percig tart, persze a szabad szemmel való észleléshez viszonylag sötét helyen kell lenni.

A módszer gyorsan, a helyszínen végrehajtható, nem szükségesek hozzá laboratóriumi eszközök. A beszáradt vagy alvadt vérben több a hematin, mint a frissben, ezért ezek kimutatása igen kicsi mennyiségben is lehetséges, így igen gyakran akár egy alaposabb tisztítást követően is kimutathatók a vérfoltok maradványai. A módszer hátránya, hogy nemcsak a hematin van katalitikus hatással a folyamatra, hanem egyes réztartalmú anyagok is. Mi több, a háztartásokban gyakori hypo (amely nátrium-hipoklorit lúgos oldata) is mutathat ilyen jelenséget. Tehát ha valaki vérfoltot hypóval akar eltávolítani, a luminol-teszben általában a teljes hypóval kezelt felület világitani kezd. Így ilyen esetben a vérnyomok már nem láthatók, mert elfedik őket a tisztítás általában sokkal kiterjedtebb nyomai. Egyes növényi peroxidázok is adják a reakciót. Vér helyett tormával is tehetünk próbát!

Egyszer a miami helyszínelők egy buzgó munkatársa sok luminolt fújt a bizonyítékul szolgáló ruhadarabra. Így a nyomozók munkáját tanulmányozó fotóriporter gyönyörű, éles, fényes fényképeket készíthetett, az eset mégsem vált dicséretére barátunknak, mert kiderült, hogy a rengeteg luminol tönkretette a bizonyítékot: a rajta lévő DNS-t felszabdalta, alkalmatlanná téve ezáltal a genetikai vizsgálatra. Való igaz, hogy ha genetikai vizsgálatnak szeretnénk alávetni a nyomot, először kell mintát venni, és csak ezután kezelni luminollal a felületet, és fényképezni, hogy pontosan meghatározhassák a vérfoltok helyét. A luminol ugyanis reakcióba lép a vér fehérjéivel, és roncsolja a DNS-t is.

A vérről való szennyeződést követően egyértelműen látszik a pozitív reakció, de ha egy kicsit jobban megnézzük a tesztet illusztráló ábrát, a lefolyó bal oldalán már a kísérlet előtt is látszik egy halvány kékes elszíneződés. Ezt a reakciót a laborban korábban vizsgált minták adták. Bár a laborban dolgozók a csapot természetesen alaposan kitakarítják, a halvány pozitív reakció mégis megerősíti bennünk a korábbi szennyeződés gyanúját.

Titkosírás

A diákok sok filmben találkozhatnak olyan üzenetekkel, amelyek egy idő után megsemmisítik magukat (pl. James Bond, Harry Potter és a Titkok Kamrája). Számos

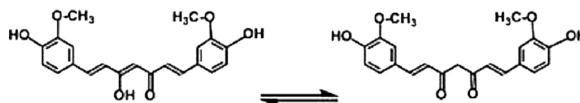
Luminol-teszt – vérről való szennyeződés előtt és után

kémiai kísérletet lehet bemutatni, ha titkosírást szeretnénk láthatóvá tenni. A titkos üzenetek alapja, hogy a tinta színe eltűnik, vagy épp láthatóvá válik, ha egy másik anyaggal bevonjuk a papír felületét.

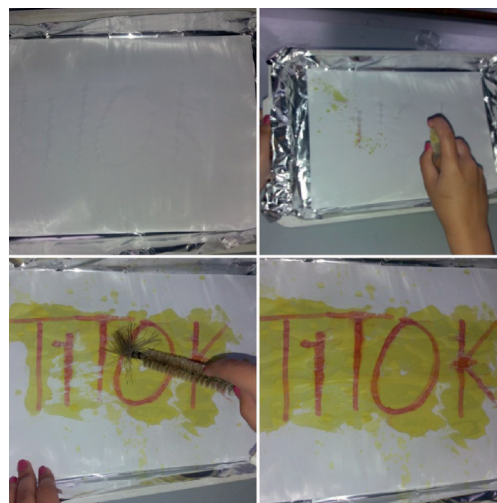
Számos kémiai kísérlet alkalmas a titkosírás megjelenítésére.

Kurkuma és szódabikarbóna

A kurkuma az indiai konyhában jártasoknak ismerős lehet, a híres curry alkotórésze. A kurkuma festékanyaga a kurkumin, a kurkuminoidok polifenolgyűjtemények, melyeknek a sárga színt kö-



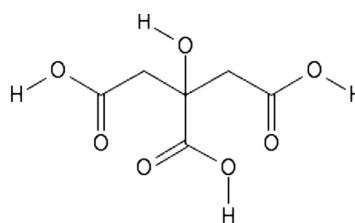
A kurkumin reakciója lúgos közegben



Titkosírás feloldása kurkumainddal

szönheti. Kísérletem során a kurkumin kiváló pH-indikátorként működik, ezáltal képes a „titkosírás feloldására”. A szódabikarbóna (nátrium-hidrogénkarbonát, NaHCO_3) enyhén lúgos, jól oldódó só. Szódabikarbóna-oldattal, egy ecset segítségével írtam tetszőleges szöveget egy papírlapra. A szódabikarbóna-oldat átlátszó színű, így azt tapasztaltuk, hogy a korábban láthatatlan írás láthatóvá vált. Ennek oka a már említett kurkumin, amely lúgos közegben megbarnul, vörössé válik.

Citromlé melegítése, ahol a citromlé szerves anyagai elszéneseznek



A citromsav szerkezeti képlete



Kísérlet a citromlé melegítésével



Réz-szulfát-oldat és ammóniagáz

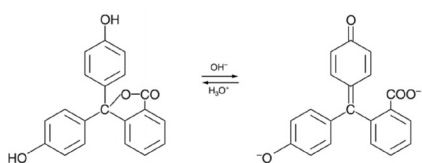
A réz(II)-szulfát vizes oldatának kék színe nagyon jellegzetes. A vízmentes réz(II)-sók fehérek, de vizes oldatokban $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ -ionok (hexaakva-réz(II)-ionok) vannak, melyek színesek. Az ammóniaoldatot melegítve gáz halmazállapotú ammónia keletkezik, ami reakcióba lép a réz(II)-ionokkal és sötétkék színű $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ -ionokká (réz(II)-tetraamin-ionok) alakulnak.

Keményítő és Lugol-oldat (kálium-jodidos jódoldat)

A keményítő poliszacharid, általános képlete: $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$, ahol n 100-as nagyságrendű. A keményítő vizes oldatában α -hélix szerkezetű molekulákból álló amilóz található. A hélix belsejében megkötődő – eredetileg a Lugol-oldatban barna színű – jódmolekula elektronfelhője torzul (polarizálódik), így megváltozik a gerjeszthetősége, és kék színt látunk.

Nátrium-hidroxid-oldat és fenolftalein

A fenolftalein $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ összegképletű szerves vegyület. Gyakran alkalmazzák sav-bázis indikátorként sav-bázis titrálásoknál. A fenolftalein sav jelenlétében színtelenre, bázis jelenlétében lilára/rózsaszínre változik. Így nátrium-hidroxid-oldatban is lila lett.



A fenolftalein
(3,3-bisz(4-hidroxifenil)-
1(3H)-izobenzofuranon)
sav és bázis jelen-
létében



Fenolftalein
bázis
jelenlétében

A kémia népszerűsítésének lehetőségei a diákok körében

Számos olyan kezdeményezés van, ami segíthet a kémia népszerűsítésében, ilyen a Kutatók Éjszakája programsorozat (Látványos kémiai kísérletek, Helyszínelők).

A „Látványos kémiai kísérletek” bemutató során a többéves tapasztalat alapján a közönség által leginkább kedvelt „szagos, hangos és színes” reakciókat mutatják be.

A „Helyszínelők” program pedig nyomozásra invitálja az érdeklődőket, ahol a Helyszínelők sorozatból ismert technikákkal valódi labor körülmények között mutatják be, hogyan használható a tudomány az életben is.

Szintén hasznos a Laborkaland online kémiaverseny, ami 2014-ben indult. Az elmúlt években már eddig is számtalan érdekes feladattal igyekeztek felhívni a figyelmet a kémia mindennapi hasznára: kiderült, mi történik a görögdinnyével, ha tengervízben hűtjük, miként válhatnak a konyhai zöldségek indikátorokká, hogyan

főzzük a legjobb tésztát, miért lyukas a sajt, milyen módon tudunk fagyaltot készíteni mélyhűtő nélkül, a legkitartóbbak pedig még az aranycsinálás titkát is megismerték. Az idén nyomozásra várták a középiskolás diákokat, akiknek a kémia segítségével kellett utánajárniuk rejtélyes eseteknek: járványoknak, szennyezéseknek, különös megbetegedéseknek, bűnügyeknek.

Debrecenben az AGORA tudományos élményközpont ad otthont 2016 szeptemberétől a BASF ismeretterjesztő programjának. A BASF *Chemgeneration* interaktív tudományos programját arra tervezték, hogy népszerűsítse a 14–18 éves, középiskolás diákok körében a kémiát, és segítse őket annak megértésében, hogy a természettudományok miként járulhatnak hozzá a fenntartható fejlődéshez. A *Chemgeneration* program kísérleteiben a diákok újrahasznosítják a papírt, olyan rendszereket hoznak létre, melyek szűrők a szennyezett vizet, fém-elektrolízist végeznek, valamint bezonyítják, hogy vannak olyan műanyag típusok, amelyek mindössze néhány héten belül lebonthatóak.

Ezenkívül az élményközpont nyári táborokat is szerveznek, ahol egy hét alatt bepillantást nyerhetnek a fizika, kémia, biológia, környezettudomány és csillagászat rejtelmibe.

A siófoki Perczel Mór Gimnázium tanulói segédlete (Biológia munkafüzet – tanulói kísérletgyűjtemény) szintén egy bűnügyi novellán vezeti végig a diákokat, 12 kísérlet segítségével.

Összefoglalás

Pályamunkámmal szeretném felhívni a figyelmet arra, hogy hogyan használható a tudomány az életben is, hiszen a kémia nem csak táblára felírt képletek, vízben elkevert jód és móltömeg-számítás. Fontos, hogy amit az iskolában megtanulunk, a gyakorlati életben is kamatoztatható legyen.

A bűnügyi esetek felvezetésével fel tudjuk hívni a figyelmet az egyes vegyi anyagok ártalmaira és körültekintő alkalmazására, vagy éppen leránthatjuk a leplet az irreálisan körülrettegett élelmiszer-adalékokról (E-számokról), hogy ezek gyakran nagyon is közönséges anyagok, és többnyire nem veszélyesebbek, mint a háztartásban megtalálható egyéb vegyszerek. Szerintem a diákok sokkal nagyobb lelkesedéssel vágnak bele a tanulásba, ha látják a célját. Például ha egy bűntettet kell kinyomoznom, be kell bizonyítanom a bűnösséget, vagy ki kell zárnom valakit a gyanúsítottak közül. Mindeközben fejlődik a logikai gondolkodás, az információ feldolgozásának képessége is, a kísérletezés során javul a kez ügyesség, megfigyelőképesség és kommunikációs képesség.

Bevezetőmet Stephen Hawking szavaival kezdtem, szeretném egy másik nagyon inspiráló gondolatával befejezni a pályamunkámat: „A tudás legnagyobb ellensége nem a tudatlanság, hanem a tudás illúziója.”

Köszönetnyilvánítás. Szeretném megköszönni Posta Jánosnak a toxikológia világába való rendkívül izgalmas bevezetést, illetve, hogy lehetővé tette számomra a laboratórium meglátogatását, a kísérletek elvégzését. Hálás vagyok Hotzíné Pócsi Anikó tanárnőnek, hogy pályamunkám készítésében támogatott, ötleteivel színesebbé tette a munkámat, illetve köszönöm osztálytársaim, Kiss Kamilla, Szabó Lili, Vámosi Anna és Gólya István segítségét az iskolai kísérletek elvégzésében.

IRODALOM

- [1] Koppányné Mátrai-Vozár Hajnalka: Nyomozások fizika és kémia órán, Szegedi Tudományegyetem, Szakdolgozat, 2009.
- [2] <http://forensic.unideb.hu/hu/igazsagugyi-toxikologia-laboratorium>
- [3] Biológia munkafüzet, Tanulói kísérletgyűjtemény-munkafüzet az általános iskola 8. osztálya számára, A Siófoki Perczel Mór Gimnázium tanulói segédlete
- [4] Erzincinlioglu, Dr. Zakaria. Helyszínelők: A törvénytörők vizsgálókat képes útmutatója. Pécs: Alexandra, 2006.
- [5] <https://www.laborkaland.hu/>
- [6] <http://www.agoradebrecen.hu/>