

mibenlétével, a testek ütközésével, a szem vakfoltjával, mérte az eső mennyiségét. Levezetett a kor vezető tudósaival, például Leibnizcel. 1670-ben Párizsba költözött [7].

Számunkra a *Discours de la nature de l'air* (Értekezés a levegő természetéről, 1676) című műve (7. ábra) érdekes, amelyben a Boyle-törvény újbóli megfogalmazását találjuk. Ő már nyomásról és térfogatról ír. A franciák azt állítják, hogy nem ismerte Boyle munkáját. Franciaországban a törvényt Mariotte-törvénynek hívják, de a Boyle–Mariotte-törvény név az elfogadott a világban.

IRODALOM

[1] <http://chemonet.hu/hun/olvaso/histchem/vegy/boyle.html>; Két új kísérlet az összegyomott és a kitágított levegő rugóerejének mérését illetően. 1682, W. F. Magie: A Source Book in Physics, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.

[2] J. B. West, J. Appl. Physiol. (2005) 98, 31–39.

[3] Ch. Webster, Archive for the History of Exact Sciences, (1965) 2, 441–502.

[4] <http://chemonet.hu/hun/olvaso/histchem/boyle.html>; A tiszteletre méltó Robert Boyle traktátusa új kísérletekről, mik a láng és a levegő összefüggését érintik. London, 1672., H. M. Leicester, H. S. Klickstein, A Source Book in Chemistry 1400–1900, McGraw Hill, New York, 1952.

[5] Ch. Webster, Richard Towneley and Boyle's Law. Nature, (1963) 197, 226–228.

[6] H. Power, Experimental Philosophy. Printed by T. Roycroft for John Martin and James Allestry, London, 1663, 126–130.

[7] Czögler A., A fizika története életrajzokban. Kir. Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 1882. <https://mek.oszk.hu/03500/03574/html/cz2.htm>

[8] R. Boyle, Memoirs for the natural history of the human blood, especially the spirit of that liquor. London, 1683–1684.

[9] E. Mariotte, Essais de Physique, ou mémoires pour servir à la science des choses naturelles. (Második esszé: De la nature de l'air.) Paris, France: E. Michallet, 1679.

Kutasi Csaba

Jelentős bővülés a kék pigmenteknél – forgalmazható az új YInMn Blue

Tizenhárom éve Mas Subramanian professzor irányításával folyt kutatás az Oregoni Állami Egyetemen, egy elektronikai anyag kifejlesztése volt a cél. A munka során a PhD-tanulmányokat folytató Andrew E. Smith hallgató véletlenül jutott el egy egyedi képességű szervesen kék pigmenthez. Az őrlött ittrium, indium és mangán közel 1200 °C-ra hevítése során, a 115 éve feltalált mangánkék után született meg az újabb színezet, az YInMn-kék. A felfedezés és szabadalmaztatás után, 2021 januárjában adta ki a forgalmazási engedélyt az Amerikai Környezetvédelmi Hivatal (EPA).

A képzőművészetben az ég és a víz kékjét nem lehetett egyszerűen megjelentetni. Az emberiség az idők folyamán számos színezőanyagot kipróbált. A kék pigment elérésére előtérbe került a bányászat szerepe és az ásványok magas hőmérsékletű hevítése, valamint az alkalmas növények felhasználása egyaránt. A kék szín kedveltsége evolúciós fejlődésünkre is visszavezethető: például a vadászathoz elengedhetetlen a derűs égbolt, de a mindennapokban nélkülözhetetlen a tiszta víz. Ugyanakkor idővel kiderült, hogy sem a víz, sem az ég kékje nem tökéletes, ami főként a művészet területén okozott problémát. Ezért fáradhatatlanul folyt az igazi kék színezetet biztosító anyagok utáni kutatás, már a dísz tárgyak és akár a textíliák elvárás szerinti színezésére is.

Az egyiptomi kéktől a Nemzetközi Klein Kékig

Az ókori egyiptomiak kezdtek el először kék festéket előállítani, ehhez azuritot vagy malachitot (mindkettő réztartalmú karbonátásvány) használtak. Az első mesterséges pigment az ún. egyiptomi kék ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$) volt. I. e. 2200 körül az említett réztartalmú karbonátásványok valamelyikét keverték mészkővel, ill. homokkal, ezt 1470 és 1650 °C közötti hőmérsékletre hevítették, így nem átlátszó kék üveg jött létre. Ennek zúzásos porításával jött létre a kék pigment (1. ábra).



1. ábra. Egyiptomi kék

A későbbi ultramarin (a „valódi kék”) is ásványból készült őrléssel, lazuritból (klór- és nátrium-kálium-tartalmú szilikátásvány) állították elő. Ezt az értékes feldrágakövet (lapis lazuli) először egyetlen hegységben bányászták Afganisztánban, majd később Pakisztánban is. Az egyiptomiak eleinte ékszerekhez használták, pigmentként csak a középkorban, a reneszánsz idején kezdték alkalmazni. Európa legkeresettebb színe lett, azonban a lazurit szó szerint aranyárban volt. Egyes históriák szerint Michelangelo Krisztus sírból való kiemeléséről készült festményét azért nem tudta befejezni, mert nem volt pénze az ultramarinkékre. [Jóval később hozták létre a mesterséges ultramarinkéket, a természetes kéntartalmú nátrium-alumínium-szilikát-komplexet – $(\text{Na}, \text{Ca})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4, \text{S}, \text{Cl})_2$]

Az indigót eredetileg az Indiából származó cserje zúzott rost-



jaiból nyerték, már az ókorban is kék festék alapanyaga volt. A 17–18. században igen keresett színezőanyag lett, fonalak, kelmék és fényűző falikárpitok színezéséhez használták. A hazánkban is meghonosodó kékfestőmintázás az indigószínezéken alapult. Az indigót kockatömbökbe préselve szállították, a kékfestőműhelyben őrlték, és vizes fürdőben redukálva jött létre az ún. színezőcsáva. Minél hosszabb ideig hagyták a csávában a mintázott textilanyagot, annál sötétebb lett az alapszínű adó kék (innen ered a „benn hagyja a csávában” mondás).

A porosz kék – $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ – a 18. században, Poroszország fővárosában fejlesztették ki (állítólag Picasso is ezzel alkotott a kék korszakában). A legenda szerint Johann Jacob Diesbach festékkészítő 1703-ban egy újabb vörös pigment létrehozásán dolgozott: hamuzsír (K₂CO₃) elegyített állati vérrel, és az anyagok egymással reagálva – egy nem várt – kék színt hoztak létre. Ezt poroszkék elnevezés mellett berlini, illetve párizsi kékként is említik.

A kobaltkékről (CoAl₂O₄) 1777-ben írtak először, végül 1802-ben vált ismertté. Az ultramarin olcsóbb, mesterséges változatát 1826-ban Jean Baptiste Guimet francia iparos, 1828-ban pedig Christian Gmelin német kémikus fedezte fel. A ftalocianin kéket 1927-ben kezdték alkalmazni.

Yves Klein (francia festőművész) 1960-ban egy általa feltalált kék színt szabadalmaztatott, amit festékeverékekből kísérletezett ki, az elegyben ultramarin is volt. Így jött létre a Nemzetközi Klein Kék (International Klein Blue, IKB).

Az YInMn-kék felfedezése

Ennek az új színes vegyületnek a feltalálása kísértetiesen hasonlít az első szintetikus színezék felfedezéséhez. Amikor August Wilhelm Hofmann – az Egyesült Királyságban – 1845-ben alapított Royal College of Chemistry igazgatója lett, a 18 éves William Henry Perkin is bekapcsolódott abba a kutatásba, amely a kininnek – mint fontos gyógyszernek – a szintetizálásával foglalkozott. A fiatal vegyész ennek során próbálta meg a kinint anilinnél létrehozni, azonban amikor az anilint kénsavval és káliumbikromáttal kezelte, nyomait sem látta a kívánt vegyületnek. A kísérlet során kialakult fekete csapadékból idővel bíborszínű oldat keletkezett vöröses kristályok kiválásával. Az eltűnő Perkin selyem zsebkendőjét bemártotta a létrejött színes fürdőbe, az mályvaszínű lett, és még a szappanos mosást is bírta. Így lett a mauvein az első mesterséges textilszínezék.

Az Oregoni Állami Egyetemen 2009-ben Mas Subramanian professzor irányításával a PhD-tanulmányokat folytató Andrew E. Smith hallgató véletlenül fedezte fel az egyedi képességű szer-

vetlen kék pigmentet [YInMn Blue (Y → ittrium; In → indium; Mn → mangán) elemek vegyjeleiből képezve]. A mangánkék (mesterséges bárium-manganát-szulfát – BaSO₄ · BaMnO₄) 1907 évi feltalálása (és 1935-ben szabadalmaztatása) után több mint száz évet kellett várni a szinte tökéletesen kék, élénk szerves pigmentre (2. ábra). Ennek különlegessége az, hogy a rá eső, láthatatlan közeli-infravörös sugárzást a látható tartományban veri vissza. A vegyület egyedi szerkezetéből arra lehet következtetni, hogy a zöld, lila és narancssárga pigmentek hasonló strukturális módosításával ezek a színezetek is tisztábbá tehetők, élénkíthetők.

A véletlen felfedezés előzménye, hogy 2008-ban Subramanian a Nemzeti Tudományos Alaptól az elektronikai alkalmazások új anyagainak feltárására irányuló támogatásban részesült. A projekt keretében különösen a mangán-oxidokon alapuló multiferromágneses anyag szintetizálása került a kutatás középpontjába. Andrew E. Smith hallgató kapta a feladatot, hogy próbálkozzon az előállítással. Az YInO-t (ferroelektromos anyag) és YMnO-t (antiferromágneses anyag) tartalmazó elegyet kb. 1100 °C fölé hevítette. Az általa szintetizált vegyület váratlanul élénkkék színezetű lett. Subramanian a DuPont-nál szerzett tapasztalatára alapozva felismerte, hogy ez a vegyület kék pigmentként felhasználható (együtt benyújtották a szabadalmi leírást). Felfedezésük publikációja alapján a Shepherd Color Company felvette a kapcsolatot Subramaniannal a sikeres kereskedelem érdekében. Ezt követően 2010-ben Smith sikeresen megvédte doktori disszertációját, a Shepherd Color Company pedig megbízta a továbbfejlesztéssel és a YInMn Blue kereskedelmi forgalomba hozatalának engedélyeztetésével (3. ábra).



Mas Subramanian

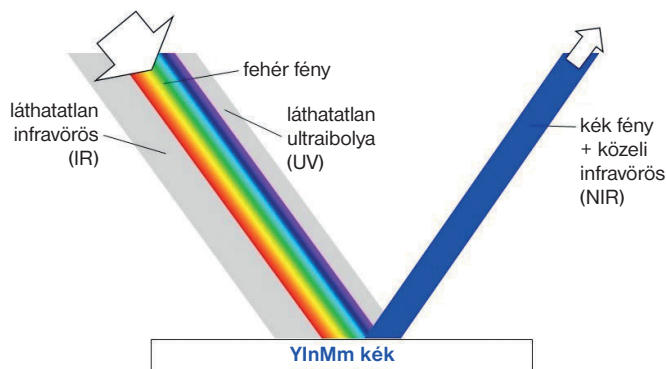
Andrew E. Smith

3. ábra. Nevükhöz fűződik az YInMn Blue felfedezése

Az YInMn Blue kémiaiilag stabil színezőanyag. Az alternatív kék pigmenteknél – élénk színét – megtartva biztonságosabb, mint például a kobaltkék (amely valószínűsíthetően rákkeltő és toxikus). A láthatatlan tartományban levő infravörös sugárzásból a közeli tartományt (NIR) fokozottan visszatükrözi, így a pigment energiatakarékos, illetve „hűvös” épületbevonatok készítésére is alkalmas lett. 2016-ban az ausztrál Derivan cég ugyanakkor eredményes kísérleteket folytatott az YInMn felhasználásával készülő művészeti festékek (Matisse acrylics) létrehozására. A kaliforniai központú félvezetőgyártó vállalat – az Advanced Micro Devices, Inc. – 2016-tól alkalmazta az új kék pigmentet az energiahatékonyság érdekében (közeli infravörös reflexió), a vezérlőkártyák központi egységében „grafikai processzorként” kezdte alkalmazni (4. ábra).

2. ábra. Az YInMn-kék por alakban





4. ábra. Az YInMn-ből létrejövő szín, vázlatosan

Az YInMn-kékhez szükséges anyagok, tulajdonságok

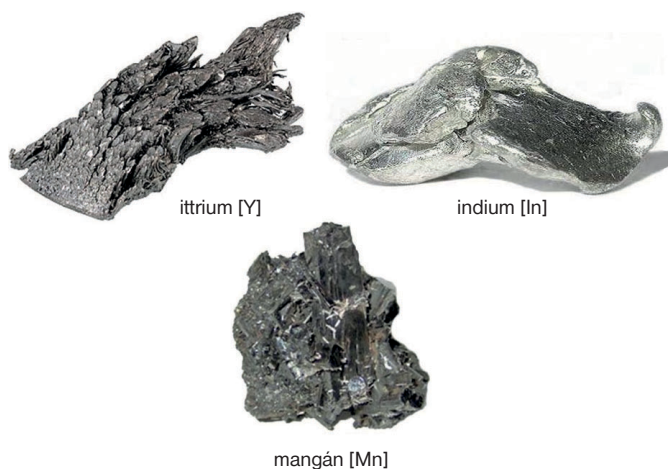
Az ittrium fémesszürke átmenetifém, az ún. ritkaföldfémek közé tartozik (általában mindig más ritkaföldfémekkel együtt fordul elő ásványokban). Ezt az elemet 1787-ben fedezte fel Carl Axel Arrhenius a svédországi Ytterby faluban (ezért nevezték el ittriumnak, Y lett a vegyjele).

Az indium szürke színű lágy fém, késsel vágható, hajlításkor hallható az ún. ónzörej (ezt a fémkristályok elmozdulása, egymáshoz való súrlódása okozza). 1863-ban fedezte fel Ferdinand Reich színképelemzéssel, kék lángfestését észelve az indigóról nevezték el.

A mangán az átmenetifémek közé tartozik, a természetben főként a barnakőben [poroluzit, mangán-dioxid (MnO_2)] fordul elő, a termelt mangán 90%-át az acélgégyártásnál alkalmazzák.

Az elemet először 1770-ben Ignatius Gottfried Kaim nyerte ki, de ez az módszer nem vált ismertté. Pár év múlva, 1774-ben, Carl Wilhelm Scheele felvetésére Svédországban Johan Gottlieb Gahn

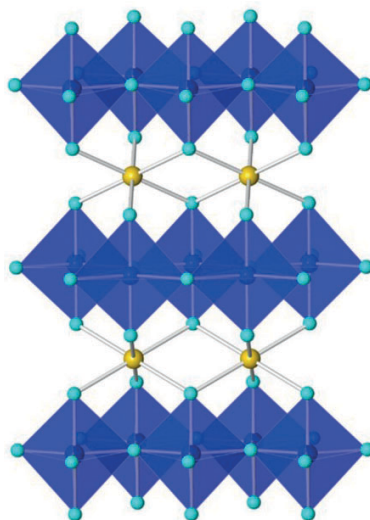
5. ábra. Az YInMn-kék előállításához szükséges elemek



The image shows a periodic table of elements. Red circles are drawn around the elements Manganese (Mn), Yttrium (Y), and Indium (In). The table is color-coded by groups: purple for noble gases, blue for halogens, green for chalcogens, orange for transition metals, yellow for alkali metals, and light blue for hydrogen. The elements are arranged in rows and columns, with atomic numbers and symbols provided for each element.

újra előállította a mangánt: a piroluzitot aktív szénnel hevítve redukálva (5. ábra).

Az YInMn-kék tehát a nagyon drága ittriumból (Y), a rendkívül ritka félfémes indiumból (In) és a mangánból (Mn) képzett vegyes oxid (**6. ábra**). A nagyon magas hőmérsékleten végrehajtott reakciók jól meghatározott ciklusában nyerhető az élénk kék pigment. A közeli infravörös tartományban bekövetkező fényvisszaverése következtében az YInMn-kék pigmenttel – amely kiváló, fénnel szembeni színtartósságot garantál, hőálló és átlátszatlan – kevert színezetek új színtartományokat képviselnek.



6. ábra. Az YInMn-kék hexagonális kristályszerkezete

cellaméretek $a = 6,24 \text{ \AA}$; $c = 12,05 \text{ \AA}$

Számos színes pigmenttel ellentétben, toxicitása szinte elhanyagolható. A pigment elnevezését a nehezen kiejthető vegyjeles formula helyett a kék és a szép angol kifejezésekből „bluetiful”-ra módosították.

Ebből a pigmentből elsősorban különböző felhasználási célú festékeket lehet gyártani, az építőipari felhasználástól – a műanyagszínezésen át – a képzőművészeti igényekig.

Az YInMn-kék textilipari alkalmazása?

A különböző színezékekkel (amelyek az adott szálasanyagot tartósan színezik) laza szálhalmazt, fonalat és készterméket egyaránt lehet színezni. Így tarkánszőtt szöveteket, színes fonalakkal mintázott kötöttanyagokat, illetve egyszínűre színezett készterméket lehet előállítani.

Az egységes szerkezetű kelmék tarkázása, sokszínű mintázat kialakítása a színnyomással (ma már digitális textilnyomtatással is) érhető el, ami helyi színezésként (vagy színes alapok helyenkénti színezék-elroncsolásaként) szintén jól ismert kémiai mintázóeljárás (a színezés mint kémiai művelet és a mintázás folyamata egybeesik) (7. **ábra**).

Az alkalmas textilszínezékek közös jellemzője a részleges szín-
elnyelésre alkalmas vegyület rész (amely a rá eső fehér összetevői
közül visszavert színes sugárral/sugarakkal biztosítja a színérze-
tet), továbbá adott esetben a vízzoldhatóságot biztosító csoport je-
lenléte, valamint a színezék-szál kapcsolat (kémiai kötással vagy
másodrendű kötőerőkkel) kialakításhoz szükséges szerkezet rész
előfordulása. A textilszínezékek közös elve, hogy külön rögzítőa-
nyagra nincs szükség a színezék szálban való tartós előfordulása
érdekében.

A pigmentek (amelyeket alapvetően a textilnyomásnál használnak) nem ilyen jellegű színezékek, csak külön átlátszó mű-



a színezés – mint kémiai művelet – és a mintázás egymástól független



mechanikai mintázás színes fonalakkal
előre színezett sokszínű, mintás textilfelület előállítás

a színezés – mint kémiai művelet – egybeesik a mintázással



kémiai mintázás – helyi színezés
egységes szerkezetű kelmén, kelmefelületen helyenkénti színezés

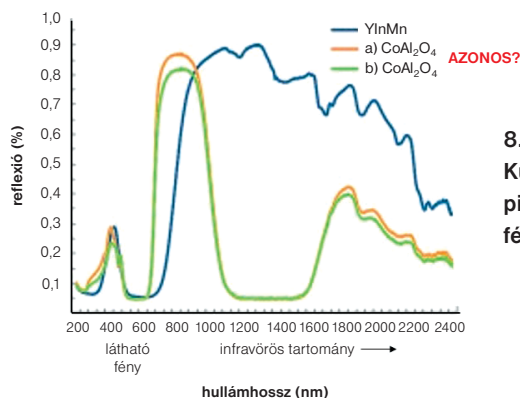
7. ábra. Példák különböző textilmintázási eljárásokra

anyagfilmmel fixálhatók a textilián (ezért nyomófestékeknek is nevezik őket).

Az YInMn-kék textilszínezékként való esetleges megjelenése még külön vizsgálatok, kutatások tárgya. A nyomóipari felhasználás egyszerűbb lehetőséget kínál, azonban az egyedi kék pigment magas ára az elterjedést még korlátozza.

Egyes szencióhajász dizájnipari publikálók – tévesen – már előrevetítik a YInMn-kékkel színezett/nyomott anyagokból készült ruházatok hűsítőkéességét. Ez az elképzelés azért hibás, mert az emberi test hőleadása (pl. közel 23 °C-os külső hőmérséklet esetén) 60%-ban infravörös sugárzással (kb. 60 W/m²-es mértékben) valósul meg. Így a speciális kék pigment gátolja a hőleadást – így annak ellenére, hogy a kívülről érkező melegítő sugarak részben visszaverődnek –, nem fog hűsíteni, talán inkább melegít. Persze téli testközeli ruházatoknál előnyös lehet (8. ábra).

Alkalmazása valószínűbb a tereptarka („camouflage”, mimikri) álcázóruházat (katonaság, rendvédelmi szervek stb.) alapanyagoknál. Ezeknél általános elvárás a látható tartományban (380–750 nm) optimális tereptarka hatás, az éjszakai álcázáshoz pedig az emberi test hőleadásából származó közeli infravörös [(NIR) (750–1200 nm)] sugárzás megfelelő elnyelése. Általában országokként változóak az álcázó színezetek és mintázatok. A számos álcázó ruházati változatnál (erdei és sivatagi, ill. városi stb.) több színvariáció terjedt el [zöld (levél), barna (fakéreg), drapp (talaj), fekete (egyéb, pl. madár stb.), szürke (városi kör-

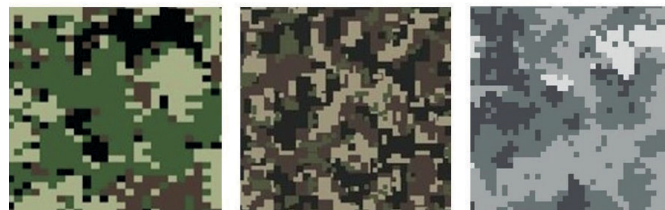


8. ábra.
Különböző kék pigmentek
fényvisszaverése

nyezet)] színezetek jellemzők. Így közvetlenül a YInMn-kék keverékben való alkalmazása minimális lehetőséget ad, azonban az új pigment egyedi szerkezetéből arra lehet következtetni, hogy



hagyományos textilnyomással kialakított mintázatok



digitális képfeldolgozáson alapuló mintázatok

9. ábra. Példák infra-remissziós álcázóruházati alapanyagokra

például a zöld, narancssárga pigmentek hasonló strukturális módosításával is elérhető a megnövekedett infra-remisszió (9. ábra).



IRODALOM

- [1] https://szubkult.blog.hu/2018/02/18/a_ek_festek_6000_eves_tortenete
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/YInMn_Blue
- [3] <https://chemistry.oregonstate.edu/content/story-yinmn-blue>
- [4] <https://news.artnet.com/art-world/yinmn-blue-comes-market-1921665>
- [5] Kutasi Csaba: Optimális infraremissziót biztosító tereptarka álcázó ruházat alapanyaga. Magyar Textiltechnika, (2015) 1.

Tanárhiány

Több mint 2100 álláshirdetést dobott ki a közsféra állásportálja, a kozigallas.gov.hu a „tanár” keresőszóra a 2021/2022-es tanév utolsó előtti napján. Úgy tűnik, tanítóból is komoly hiány van az iskolákban, országszerte majdnem ezer – egészen pontosan 967 – betöltetlen állást hirdetnek az oldalon, de 853 hirdetés található az „óvodapedagógus” és 420 a „gyógypedagógus” szóra rákeresve is.

A hirdetések egy részében természettudományos tárgyak oktatásához keresnek tanárt az iskolák, például biológia és kémia szakosokat, de informatika- és matematikatanárt is sok helyre vennének fel. Olyan iskolák is vannak, ahol már most intézményvezetőt vagy vezetőhelyetteset keresnek, de az oldalon gyógype-

dagógusi, gyógytestnevelői, zenetanári, angoltanári állásokat is szép számmal lehet találni.

A szakemberhiány hátterében többek között a bérek állnak. Mennyit keresnek a tanárok? Kezdő bérük az alapképzés elvégzése és a minősítés után sem közelíti meg bármilyen más friss diplomását. Egy pályakezdő, „gyakornok” pedagógus bére bruttó 312 000 forint pótlékkal együtt (ez nettó 207 ezer forint körüli fizetést jelent), tehát egy albértre is csak szűkösen elég.

Szintén komoly probléma a területen a túlterheltség – a szakszervezetek erről is fogalmaztak meg követeléseket –, a magyar tanárok uniós összehasonlításban is sokat dolgoznak. (edu-line.hu)