

Az új YInMn Blue pigment

Kutasi Csaba

Tizenkét 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 szervesetlen kék pigmenthez. Az örölt ittrium, indium és mangán közel 1200 °C-ra történt hevítése során, a 114 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, mint pl. a vadászathoz elengedhetetlen derűs égbolt, de a mindennapokban nélkülözhetetlen a tiszta víz is. Ugyanakkor idővel kiderült, hogy sem a víz, sem az ég kékje nem tökéletes, ami főként a művészet területén okozott problémát a művészeknek. Ezért fáradhatatlanul folyt az „igazi kék” színezetet biztosító színezőanyagok 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 réz tartalmú karbonátásvány) használtak. Az első mesterséges pigment az ún. egyiptomi kék ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$) volt. Az i.e. 2200 körül az említett réztartalmú karbonátásványok valamelyikét keverték mészkővel ill. homokkal, majd ezt 1470–1650 °C közötti hőmérsékletre hevítették, így egy nem átlátszó kék üveg jött létre (1. ábra). Ennek zúzásos porításával jött létre a kék pigment.



Az egyiptomi kék

1. ábra

A későbbi ultramarin (a „valódi kék”) is ásványból őrléssel készült, lazuritból (klór- és nátrium-kálium tartalmú szilikátásvány) állították elő. Ezt az értékes félgyémánt (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 szó szerint arany árban volt kapható. Egyes históriák szerint Michelangelo Krisztus sírból való kiemeléséről készült festményét azért nem tudta befejezni, mert nem volt pénze az ultramarin kékre. Csak jóval később hozták

létre a mesterséges ultramarin kéket, a természetes kén tartalmú 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 rostjaiból 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 kékfestő-mintázás az indigószínezéken alapult. Az indigót kockatömbökbe préselve szállították, a kékfestőműhelyben örölték és vizes fürdőben redukálva jött létre az ún. színezőcsáva. Minél hosszabb ideig hagyták a csávéban a mintázott textilanyagot, annál sötétebb lett az alapszint adó kék (innen ered a „benn hagyja a csávéban” mondas).

A porosz kéket – $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ – 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, hamuszírt (K_2CO_3) elegyített állati vérrel, az anyagok egymással reagálva egy nem várt kék színt hoztak létre. Ezt poroszkék elnevezés mellett, berlini- ill. párizsi kékként is említik.

A kobaltkékről (CoAl_2O_4) 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 ftalocianinkéket 1927-ben kezdték alkalmazni.

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

Az YInMn-kék felfedezése

Ennek az új színes vegyületnek 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 eltűnődő Perkin selyemzsebkendőjét bemártotta a létrejött színes fürdőbe, az mályvaszínű lett, amely meghozza a szappanos mosást is bírta. Így lett a mauvein az első mesterséges textilszínezék.

Az Oregoni Állami Egyetemen 2009-ben a *Mas Subramanian* professzor irányításával a PhD tanulmányokat folytató *Andrew E. Smith* hallgató véletlenül fedezte fel az egyedi képességű szervesetlen kék pigmentet, az YInMn Blue-t. Az elnevezés az Y → ittrium; In → indium; Mn → mangán elemek vegyjeleiből származik. A mangánkék (mesterséges bárium-manganát-szulfát – $\text{BaSO}_4 \cdot \text{BaMnO}_4$) 1907 évi feltalálása (és 1935-ben történt szabadalmaztatása) után több mint száz évet kellett várni a szinte tökéletesen kék,



Az YInMn-kék poralakban

2. ábra

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



Mas Subramanian professzor



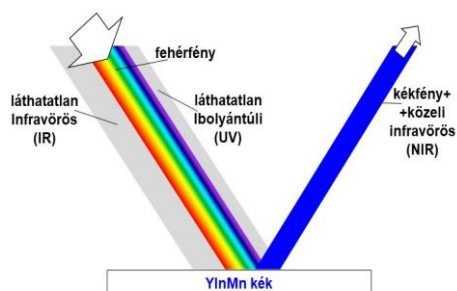
Andrew E. Smith hallgató

Oregoni Állami Egyetem

Nevükhöz fűződik az YInMn Blue felfedezés -

3. ábra

Az YInMn Blue kémiaiailag stabil színezőanyag. Az alternatív kék pigmenteknél, élénk színét megtartva biztonságosabb, mint pl. a



Az YInMn színészlet létrejötté jelképesen

4. ábra

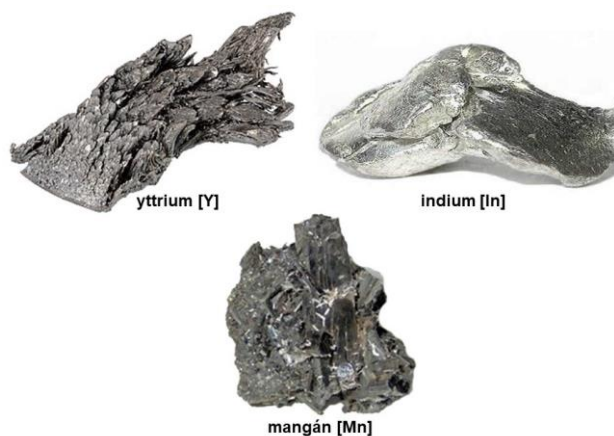
kobaltkék (amely valószínűsíthetően rákkeltő és toxikus). A láthatatlan tartományban levő infravörös sugárzásból a közeli tartományt (NIR) fokozottan visszatükrözi fényként, így a pigment energia-takarékos, ill. „hűvös” bevonatok képzésére is alkalmas lett. 2016-ban az ausztrál Derivan cég ugyanakkor 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 (közel-infravörös reflexió) a vezérlőkártyák központi egységében grafikai processzorként kezdte alkalmazni (4. ábra).

Az YInMn-kékhez szükséges anyagok, tulajdonságok

Az ittrium fémesszürke átmeneti fém, 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 ytterbitnek és Y lett a vegyjele.

Az indium szürke színű lágy fém, késsel vágható, hajlításakor hallható az ún. önzörej (ezt a fémkristályok elmozdulása, egymáshoz való súrlódása okozza). 1863-ban fedezte fel *Ferdinand Reich* szinképelemzéssel, kék lángfestését észlve az indigóról nevezték el.

A mangán (5., 6. ábra) az átmenetifémek közé sorolt, a természetben főként a barnakőben – porulizit,

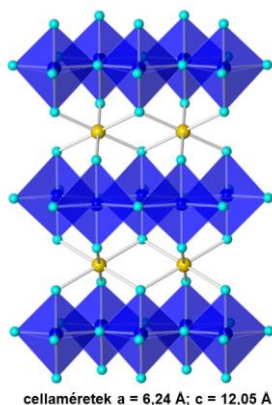


Az YInMn-kék előállításához szükséges elemek

5. ábra

Az itrium (Y), az indium (In) és a mangán (Mn) elemek a periódusos rendszerben

6. ábra



Az YInMn-blue hexagonális kristályszerkezete

7. ábra

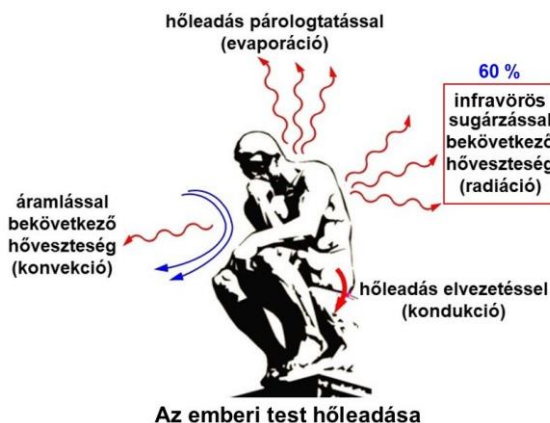
mangán-dioxid (MnO_2) – fordul elő, a termelt mangán 90%-át az acélgégyártásnál használják fel. Az elemet először 1770-ben *Ignatius Gottfried Kaim* nyerte ki, de ez az módszer nem vált ismertté. Pár év múlva, *Carl Wilhelm Scheele* felvetésére, 1774-ben Svédországban *Johan Gottlieb Gahn* újra előállította a mangánt, a piroluzitot aktív szénnel hevítve redukálva.

Az YInMn-kék tehát a nagyon drága ittriumból (Y), a rendkívül ritka félfémes indiumból (In) és a mangánból (Mn) képzett vegyesoxid összetételű keverék. A nagyon magas hőmérsékleten végrehajtott reakciók jól meghatározott ciklusaiban nyerhető az élénk kék pigment. A közeli-infravörös tartományban bekövetkező tükröződése következtében az YInMn-kék pigmenttel – amely kiváló fénnel szembeni színtartósságot garantál, hőálló és átlátszatlan – kevert színezetek új színtartományokat képviselnek. Számos színes pigmenttel ellentétben toxicitása szinte elhanyagolható. A pigment elnevezését a nehezen kiejthető vegyjeles formula helyett a kék (blue) és a szép (beautiful) angol kifejezésekből „bluetiful”-ra módosították.

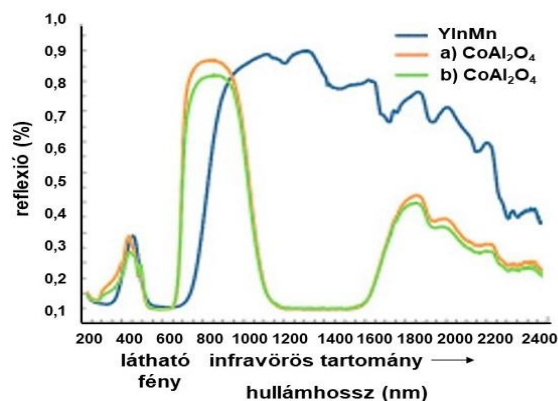
Ebből a pigmentből elsősorban különböző felhasználási célú festékeket lehet gyártani, az építőipari felhasználástól a műanyagyszínezésen át a képzőművészeti igényekig. A műszaki alkalmazásoknál a jelentős szerepét az infravörös sugárzás visszaverése adja, pl. az ezzel bevont épületek kevésbé melegsznek (7. ábra).

Az YInMn-kék textilipari alkalmazása?

A különböző színezékekkel (amelyek az adott színelanyagot tartósan színezik) laza szálhalmazt, fonalat és készkelméket egyaránt lehet színezni. Így tarkánszótt



8. ábra



Különböző kék pigmentek reflexiója

9. ábra

szöveteket, színes fonalakkal mintázott kötött kelméket, ill. egyszínűre színezett kelméket lehet előállítani.

Az egyszínű szerkezetű kelmék tarkázása, sokszínű mintázat kialakítása a színnyomással (ma már digitális textilnyomatással is) érhető el, ami helyi színezésként (vagy színes alapok helyenkénti színezék-elroncsolása-ként) szintén jól ismert kémiai mintázó eljárás (a színezés mint kémiai művelet és a mintázás folyamata egybeesik).

Az alkalmas textilszínezékek közös jellemzője a részleges színnyelésre alkalmas vegyületszám (amely a ráeső fehér összetevői közül visszavert színes sugárral/sugarakkal biztosítják a színérzetet), továbbá adott esetben a vízdoldhatóságot biztosító csoport jelenléte, valamint a színezék-szál kapcsolat (kémiai kötással, vagy másodrendű kötőerőkkel) kialakításhoz szükséges szerkezet-rész előfordulása. A textilszínezékek közös elve, hogy külön rögzítőanyagra nincs szükség a színezék szálban való tartós jelenléte érdekében.

A pigmentek (amelyeket alapvetően a textilnyomáshoz használnak) nem ilyen jellegű színezékek, csak külön átlátszó műanyagfilmmel fixálhatók a textilián (ezért nyomófestékeknek is nevezik).

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 szenzációhajhász dizájnipari publikálók – tévesen – már előre vetítik a YInMn-kékkel színezett/nyomott anyagokból készült ruházatok hűsítő képességét. 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/m^2 -es mértékben)



10. ábra

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., 9. ábra).

Valószínűbb a tereptarka („camouflage”, mimikri) álcázóruházat (katonaság, rendvédelmi szervek stb.) alapanyagoknál történő alkalmazás (10. ábra). 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 országonként változóak az álcázó színezetek és mintázatok. A többféle álcázó ruházati változatnál (az ún. erdei és sivatagi, ill. városi stb.) több színvariáció terjedt el: zöld (levél), barna (fakéreg), drapp (talaj), fekete (egyéb, pl. madár stb.), szürke (városi környezet) színezetek jellemzők. Így közvetlenül YInMn-kék keverékben való alkalmazása minimális lehetőséget ad, azonban az új pigment egyedi szerkezetéből arra lehet következtetni, hogy pl. a zöld és a narancssárga pigmentek hasonló strukturális módosításával is elérhető a megnövekedett infraremisszió.

Ugyanakkor közismert, hogy főleg egyes válogatott csávaszínezékek (előszínezés és nyomás) ill. egyes

pigmentek (nyomás) alkalmasak erre, amelyek megfelelő infraremisszióval rendelkeznek, így készülnek a jelenlegi álcázóruha alapanyagok. Az így színnyomott/színezett textilanyagokat látható fényben és infravörös tartományban vizsgálják (11. ábra): 600–1100 nm-es tartományban (20 nm-es hullámhossz léptetéssel) spektrofotométerrel mérik, kalibráló sor, ill. görbe alapján határozzák meg az alkalmasságot. A hazai követelmény 1100 nm-es határig ír elő vizsgálatot (pl. az amerikai előírás csak 800 nm-es hullámhosszig terjed). Az alkalmazott színezékeknél/színezéseknél a kedvező infraremissziós tulajdonság mellett fontos a kiváló használati színtartósság (fénnyel-, izzadássággal-, vízzel-, mosással-, dörzsöléssel-, vegytisztítással szemben) és az optimális esztétikai kopásállóság.

Felhasznált irodalom

- https://szubkult.blog.hu/2018/02/18/a_kek_fes-tek_6000_eves_tortenete
https://en.wikipedia.org/wiki/YInMn_Blue
<https://chemistry.oregonstate.edu/content/story-yinmn-blue>
<https://news.artnet.com/art-world/yinmn-blue-comes-market-1921665>
 Kutasi Csaba: Optimális infraremissziót biztosító tereptarka álcázó ruházat alapanyaga. Magyar Textiltechnika, 2015/1.