



## Dr. Lagzi István

*Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kémiai Intézet  
1117 Budapest, Pázmány Péter Sétány 1/a.  
E-mail: lagzi@vuk.chem.elte.hu*

1973. február 13-án születtem Dunaujvárosban. Középiskolai tanulmányaimat Szegeden a Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium latin-orosz tagozatán végeztem. 1992-ben érettségiztem, ezután a József Attila Tudományegyetem (ma Szegedi Tudományegyetem) fizika-kémia szakán folytattam tanulmányaimat. Egyetemi éveim alatt bekapcsolódtam a Fizikai Kémiai tanszék tudományos kutatásaiba. 1997-ben az Országos Tudományos Diákköri Konferencián a Kémiai és

Vegyipari Szekció Elméleti és Fizikai Kémia alszekciójában I. helyezést értem el.

A diploma megszerzése után 1997-től 1999-ig a Pusztamérgesi Közoktatási Intézményben dolgoztam, mint általános, középiskolai tanár és kollégiumi nevelő.

Az első évben megalapítottuk a Pusztamérgesi Diákkört, bekapcsolódtunk a Csemely Péter professzor által kezdeményezett Kutató Diákok Mozgalmába. Diákjaim részt vettek több Ifjúsági Tudományos és Innovációs Versenyen, TUDOK-on és az Országos Tudományos Diákköri Konferencián.

1999-ben hallgatója lettem az Eötvös Loránd Tudományegyetem Kémiai Doktori Iskolájának. Tudományos fokozatomat 2004-ben szerezem meg, doktori munkám címe „Légkörkémiai folyamatok modellezése Magyarországra adaptív térbeli rács alkalmazásával”. 2002-től az Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizikai Kémiai Tanszékének tudományos segédmunkatársa, majd 2004-től OTKA posztdoktori ösztöndíjas vagyok.

Fő kutatási területem a mintázatképződés és önszerveződés vizsgálata kémiai rendszerekben és légkörkémiai folyamatok numerikus szimulációja.

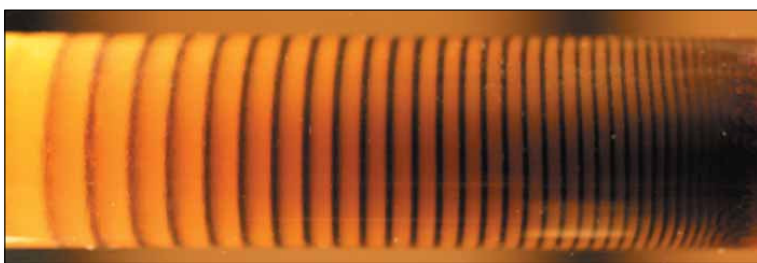
## Mintázatképződés kémiai rendszerekben

DR. LAGZI ISTVÁN

Számos példát találhatunk a természetben a mintázatképződésre, gondoljuk a különféle ásványokban és kőzetekben megfigyelhető szemet gyönyörködtető mintákra, vagy az állatok kültakaróján létrejövő alakzatokra. Nagyobb térbeli skálán is léteznek ilyen struktúrák, például a felhők periodikus szerkezete vagy, még nagyobb skálán, a galaxisok. Természetesen a kialakulásuk más és más okokkal és törvényszerűséggel magyarázhatóak. A közös bennük az, hogy a kialakult térbeli mintázat vagy stacionárius (időben állandó) vagy dinamikus (időben változó). A mintázatok kialakulása során a rendszerre jellemző fizikai mennyiség (pl. kémiai anyagmennyiség, hőmérséklet, stb.) a folyamat során térben és/vagy időben inhomogenitást mutat. Sok esetben ezt az inhomogenitást szabad szemmel is megfigyelhető vagy valamilyen módszerrel láthatóvá és detektálhatóvá tehető.

Az állatok bőrén (zebra, tigris, leopárd, mélytengeri halak) kialakult csíkok és pöttyök kialakulását az úgynevezett Turing-féle instabilitással magyarázzák, ehhez hasonló mintázatokat laboratóriumi körülmények között is sikerült előállítani kémiai rendszerekben. A legrégebbi, tudatosan vezérelt és tervezett kémiai mintázatképződés a Liesegang-jelenség. 110 évvel ezelőtt Ralph Eduard Liesegang közölte első cikkét a csapadékmintázatok témakörében [1]. Annak ellenére, hogy az utóbbi száz év alatt a tudomány hatalmasat fejlődött, ez a jelenség a tudományos közéletet még mindig élénken foglalkoztatja. A mintázat előállítása és reprodukálása viszonylag egyszerű. Egy kémcsőbe gél helyezünk, amely adott koncentrációjú elektrolit oldatot (belső elektrolit) tartalmaz, majd a gél megszilárdulása után a géloszlop fölé egy másik elektrolit tartalmazó oldatot (külső elektrolit) öntünk. A külső elektrolit koncentrációját úgy szokták megválasztani, hogy az egy vagy két nagyságrenddel nagyobb legyen, mint a belső elektrolité. Ez biztosítja, hogy a mintázat időbeli és térbeli fejlődését a külső elektrolit anyagtranszportja (diffúzió) vezérli. A külső elektrolit lassan a gélbe diffundál és a két elektrolit csapadékképződési reakciója miatt létrejön a vízben

oldhatatlan csapadék. Nagyon fontos, hogy az elektrolit párokat úgy válasszuk meg, hogy azok csapadékképződés révén reagáljanak egymással. A várakozással ellentétben – bizonyos körülmények között – nem egy folytonos csapadékszóna, hanem zónák sorozata alakul ki. Az így kialakult zónák sorozatát Liesegang mintázatnak (jelenségnek) nevezzük. A gélnek fontos szerepe, hogy megakadályozza az oldatok sűrűségkülönbségei által indukált hidrodinamikai instabilitásokat, illetve a csapadék ülepedését. A kialakult zónák időben egyre lassabban, egymáshoz viszonyítva egyre messzebb keletkeznek és vastagságuk egyre nagyobb. A mintázatok tipikus mérete pár centiméter, ami több nap alatt alakul ki, mivel a folyamat diffúzióvezérelt, ami köztudottan, lassú (1. ábra).



1. ábra Ezüst-dikromát ( $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) csapadékmintázat kémszőben több nap elteltevel. A két elektrolit 1,0 M koncentrációjú ezüst-nitrát ( $\text{AgNO}_3$ ) és 0,01 M koncentrációjú kálium-dikromát ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 16 %-os zselatin gélben. Az ezüst-nitrát jobb oldalról diffundált a gélbe. A kép mérete 7 cm  $\times$  2 cm.

A Liesegang-jelenség egy tipikus példája a reakció-diffúzió rendszerekben kialakuló mintázatoknak. A mintázatképződés leírására egy megfelelően kialakított reakció-diffúzió modellt használhatunk, amely matematikailag általában egy nemlineáris parciális differenciálegyenlet-rendszer. Ezek az egyenletek összetettségük miatt csak numerikusan (számítógép segítségével) oldhatóak meg.

Az ilyen kutatások fontosságát mutatja, hogy számos tudományterületen hasonló mintázatok kialakulásával magyaráznak bizonyos jelenségeket és szerkezeteket (orvostudomány – epekövek szerkezete; geológia – sávos szerkezetű kőzetek képződése). Az elmúlt két év során számos külföldi kutatócsoport publikált olyan kísérleti eljárásokat, amelyekben a reakció-diffúzió rendszerekben végbemenő folyamatokat használták fel mikro- és nanostruktúrák kialakításához [2-4].

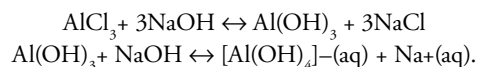
A Liesegang-jelenség elméleti érdekessége mellett azért került ismét a figyelem középpontjába, mert így olyan kisméretű mintázatokot tudunk létrehozni, amilyeneket fotolitográfiával már nem lehetséges: az eddig használt technikákkal nyert mintázatok karakterisztikus mérete akár két nagyságrenddel csökkenthető.

## A klasszikus Liesegang mintázat vizsgálata.

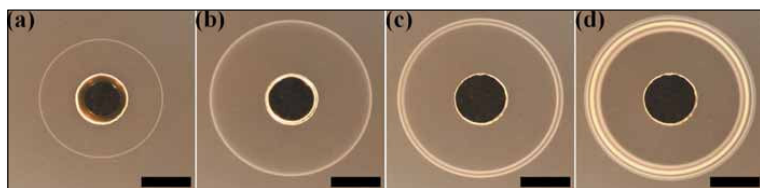
Mérjük ki egy 200 cm<sup>3</sup>-es főzőpohárba 16 g zselatint (megfelelő a kereskedelmi forgalomban kapható), majd készítsünk 100 cm<sup>3</sup> 0,01 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú kálium-dikromát oldatot. Öntsük az oldatot a zselatinra, majd hagyjuk pár percet állni, ezalatt a zselatin megduzzad. Ezután óvatosan és folyamatos keverés mellett melegítsük fel az oldatot 80 – 90 °C-ra. Az oldat akkor megfelelő, ha az összes zselatin feloldódott. Ekkor fejezzük be a melegítést és vegyük le a főzőpoharat, hagyjuk állni az oldatot egy-két percig (ne kevergessük), majd egy kémcsövet félig, háromnegyedig töltünk meg a meleg zselatin oldattal. Hagyjuk a gél pihenni, és amikor meggyőződünk, hogy a gél megszilárdult (1-2 óra), a géloszlop tetejére öntsünk 1,00 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú ezüst-nitrát ( $\text{AgNO}_3$ ) oldatot. Figyeljünk arra, hogy az oldat mennyisége körülbelül a géloszlop magasságának a fele legyen. Pár percen belül a gélfelszínhez közel megjelenik a vöröses barna színű ezüst-dikromát ( $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) csapadék. Pár nap eltelével gyönyörű, sávos szerkezetű mintázat alakul ki a gélben (1. ábra). Sajnos ez a látványos és olcsó kísérlet nem nagyon terjedt el a közoktatásban, pedig számos módon kapcsolódik igen sok természettudományos témakörhöz. Kevés olyan kísérlet létezik, amivel ennyire egyszerűen és látványosan lehet szemléltetni a diffúziós folyamatokat. Minden diák tudja kémia és fizika tanulmányaiból, hogy a diffúzió lassú folyamat, de ezzel a kísérlettel ez egyszerűen bemutatható. A kísérletek alkalmával megbeszélhetjük az ionreakciókat, a gélek kialakulását és szerkezetét. Más rendszerekkel is próbálkozhatunk (pl. ólom-nitrát, kálium-jodid, ilyenkor ólom-jodid csapadék keletkezik) és ha kitaróak vagyunk sok érdekes mintázatot figyelhetünk meg.

## Egy új jelenség csapadékrendszerekben.

Az utóbbi évtizedben egyre bonyolultabb esetekben is vizsgálták ezeket a mintázatokat [5]. Mozgó csapadékmintázatok képződhetnek, ha a csapadék a kívülről diffundáló elektrolit hatására komplexképződéssel feloldódik. Ilyen az alumínium-hidroxid csapadékrendszer:



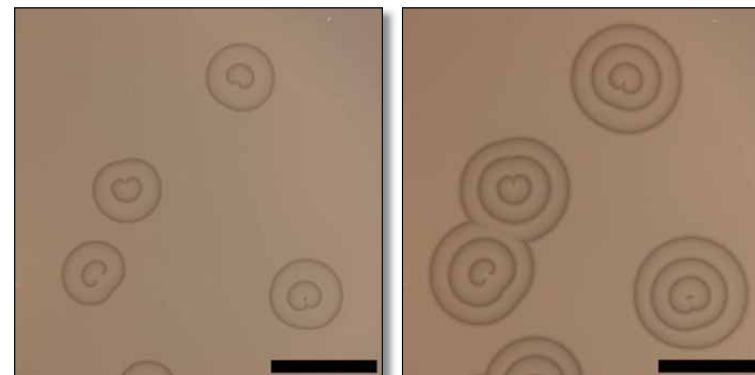
Az alumínium-kloridot a gélbe helyezzük, majd a nátrium-hidroxid, mint külső elektrolit, a gélbe diffundál. A csapadékképződés következtében megjelenik a fehér színű alumínium-hidroxid csapadék. Köztudott, hogy ez a nátrium-hidroxid feleslegében komplexképződés miatt feloldódik, így a csapadékképződés és a komplexképződés együttes hatására egy vékony, lassan mozgó csapadékhórt figyelhetünk meg (2. ábra).



2. ábra Mozgó alumínium-hidroxid csapadékhórt (a) 1 órával, (b) 1,5 órával, (c) 5 órával és (d) 6,5 órával a kísérlet indítása után. Egy Petri-csészében 3 mm vastag 1 V/m %-os agaróz gél van, ez 0,02 M koncentrációjú alumínium-kloridot tartalmaz. A gél közepén egy lyukat vágunk, ide helyeztük a 2,50 M koncentrációjú nátrium-hidroxid oldatot. Amennyiben az így kialakított tartályt nem tápláljuk friss oldattal, pár óra elteltével a csapadékhórt megáll és mögötte újabb zónák alakulnak ki. A skála 1 centimétert jelöl.

Ugyanebben a rendszerben egy nagyon érdekes és látványos önszerveződést figyelhetünk meg. Mérjük ki egy 200 cm<sup>3</sup>-es főzőpohárba 1 g agarózt. Öntsük az agarózra mérőhengerrel kimért 100 cm<sup>3</sup> desztillált vizet, majd óvatosan és folyamatos keverés mellett melegítsük fel az oldatot 90 °C-ra. Az oldat akkor jó, ha teljesen átlátszó. Közben mérjük ki megfelelő mennyiségű alumínium-kloridot, hogy a 100 cm<sup>3</sup> térfogatú agaróz oldathoz keverve 0,29 M koncentrációjú oldatot kapjunk. Keverjük a meleg oldathoz a kimért alumínium-kloridot, majd öntsük ki

Petri-csészébe, úgy hogy a gélréteg vastagsága legalább fél centiméter legyen. Lefedjük a Petri-csészét és legalább 1 órát várunk, amíg a gélstruktúra ki nem alakul. Ezután pár milliméter vastag 2,50 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú nátrium-hidroxid oldatot öntünk a gélre. Pár perc elteltével a csapadékrendszerekre egyáltalán nem jellemző mintázatképződést tapasztalhatunk (3. ábra).

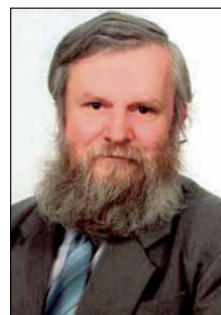
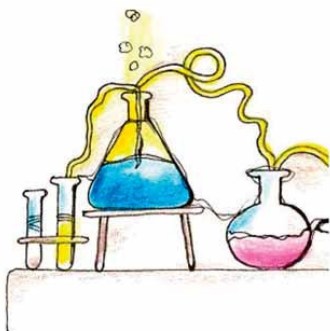


3. ábra A mozgó alumínium-hidroxid csapadékhórt belsejében spontán módon kialakuló spirálokat figyelhetünk meg, amelyek mozgása szabad szemmel is jól nyomon követhető. A két ábra között 390 másodperc lelt el. A skála 1 centimétert jelöl.

A nátrium-hidroxid lassan a gélbe diffundál, ahol az alumínium-kloriddal csapadékképződés révén reagál. A feleslegben lévő lúg a csapadékot komplexképződéssel feloldja. Egy vékony, lefelé mozgó csapadékréteget láthatunk, aminek a belsejében spirál és duplaspirál képződést figyelhetünk meg. Írásvetítőre helyezve a Petri-csészét még látványosabbá tehetjük a mintázatképződést. Nagy előnye a kísérletnek, hogy valós időben nyomon követhető, robosztus és olcsó. Ilyen típusú spirálképződés az úgynevezett Belousov-Zhabotinsky (BZ) reakcióban is megfigyelhető. Ez a kísérlet igen látványos, de kivitelezése drága és körülményes, mivel számos olyan vegyszerre van szükség, (pl. malonsav, cérium-sók, bromát) melyek másra nem nagyon használhatóak a középiskolai kémia oktatásban. Továbbá fontos követelmény a vegyszerek tisztasága, mert sok esetben nyomnyi mennyiségű szennyezés is kedvezőtlenül befolyásolhatja a mintázatképződést.

### Felhasznált irodalom:

- [1] Liesegang R.E. (1896) *Naturwiss. Wochenschr.*, 11, 353.
- [2] Grzybowski B.A. Bishop K.J.M., Campbell C.J., Fialkowski M., Smoukov S.K. (2005) *Soft Matter*, 1, 114.
- [3] Bhattacharya M., Vlachos D.G., Tsapatsis M. (2003) *Appl. Phys. Lett.*, 82, 3357.
- [4] Lebedeva M.I., Vlachos D.G., Tsapatsis M. (2004) *Ind. Eng. Chem. Res.*, 43, 3073.
- [5] Volford A., Izsák F., Ripszám M., Lagzi I. (2006) *J. Phys. Chem. B*, 110, 4535.



### Dr. Molnár József

*Berzsenyi Dániel Evangélikus Gimnázium  
(Líceum) és Kollégium  
9400 Sopron, Széchenyi tér 11.  
E-mail: molnarj2@enternet.hu*

1951. április 4-én születtem Sopronban. Általános és középiskolai tanulmányaimat is ebben a városban végeztem. 1969-ben a Berzsenyi Dániel Gimnáziumban érettségiztem.

Sorkatonai szolgálatom után, 1970–75-ben az Eötvös Lóránd Tudományegyetem Természettudományi Karán a vegyész szakot végeztem el. 1985–1987-ben az ELTE TTK-n kiegészítő tanulmányokat folytatva kémia szakos középiskolai tanári oklevelet kaptam. 1978-ban természet-tudományi doktori címet nyertem. Értekezésem címe: „Vizsgálatok a B<sub>12</sub> vitamin analitikája és koordinációs kémiája területén”.

1975 és 1981 között a Kőbányai Gyógyszerárugyár Minőségfejlesztési Laboratóriumában dolgoztam. Itt főleg vékonyrétegkromatográfias és elektroanalitikai módszerekkel foglalkoztam. 1981-től 1983-ig a HUMAN Oltóanyagtermelő és Kutató Intézet Biokémia Osztályán dolgoztam. Munkaterületem a speciális immunoglobulinok előállítása volt.

1983. augusztus 16-tól a soproni Berzsenyi Dániel Gimnázium jelenleg **Berzsenyi Dániel Evangélikus Gimnázium (Líceum) és Kollégium** oktatója vagyok. 1988 és 1996 között a gimnázium levelező tagozatának vezetője voltam. A gimnáziumban a pályaválasztási felelős, valamint a diákok tudományos munkáját koordináló tanár tiszttét töltöttem be. 1984 óta vezetem a **Poszvék Gusztáv diák önképzőkört**.

1995-től az Egészségügyi Szakképző és Továbbképző Intézet soproni kihelyezett intézetében – mint óraadó – gyógyszerészeti kémiát oktatok. 1994–1996-ban részt vettem a környezetegészségügyi asszisztens szak szakmai és vizsgázási követelményeinek kidolgozásában, valamint a tantervnek kialakításában.