

# **Diffúzió- és áramlásvezérelt csapadékmintázatok vizsgálata**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Tóth-Szeles Eszter**

Témavezető: Dr. Tóth Ágota

Kémia Doktori Iskola

**SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM**

Természettudományi és Informatikai Kar  
Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

2018



# 1. Bevezetés és az értekezés célkitűzései

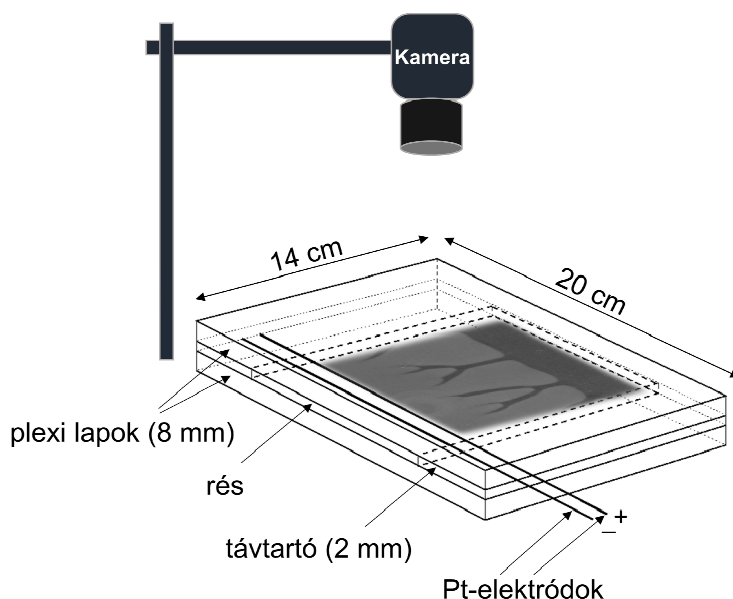
A környezetünkben számos példát találhatunk csapadékképződésen alapuló mintázatképződésre, melyek közül a legszembetűnőbb a kőzeteké és ásványoké. A heterogén kémiai rendszerek mintázatképződési példái közé tartoznak a csapadékképződéssel járó reakció és a diffúzió kölcsönhatása révén létrejövő csíkos Liesegang-szerkezetek, illetve megfigyelhetünk a közegmozgás és az ozmotikus nyomás hatására függőleges csőszerű alakzatok vagy vízszintesen terjedő csapadékok keletkezése a sűrűségviszonyok függvényében. Homogén kémiai rendszerekben is létrehozhatnák az egymással reagáló és diffundáló anyagok különleges alakzatokat, mozgó kémiai mintázatokat. A reakció-diffúzió rendszerekben kialakuló mintázatok fontossága abban rejlik, hogy számos tudományterületen magyaráznak jelenségeket és szerkezeteket a mintázatképződésre kialakított modellekkel. A biológiai rendszerekben a nem egyensúlyi állapotok és a reakció-transzport folyamatok jelentős szerepet játszanak, ezért fontos egy jól kontrollált modell rendszerben tanulmányozni az egyensúlytól távoli folyamatokat. Közös tulajdonsága ezeknek a mintázatoknak az instabil határfelület, mely elágazó formákat eredményez az egyébként szabályos, például kör alakú minták helyett. Autokatalitikus frontreakciókban a sík frontra merőlegesen létrejövő koncentrációgradiens következtében stabilitásvesztés alakulhat ki, ezáltal időben és térben változó mintázat, cellás szerkezet figyelhető meg. E stabilitásvesztést okozhatja a közegmozgás és/vagy a komponensek eltérő diffúziósebessége.

Kutatócsoportunk már korábban vizsgálta a laterális instabilitás jelenségét pH-érzékeny poliakrilamid gél, mint reakcióközeg alkalmazásával a klorition-tetrationátion frontreakcióban. Az autokatalizátor hidrogénion fluxusát befolyásolták a hidrogél kiindulási metakrilát monomer tartalmának változtatásával, mely képes immobilizálni a reakcióban az autokatalizátort a karboxilát tartalma révén. Munkám első felében a tranziens mintázatot adó klorition-tetrationátion frontreakciót vizsgáltam és célul tűztem ki egy gyors csapadékképződési reakció csatolásával időben állandó mintázat létrehozását és minőségi leírását. A kísérleti eredmények reprodukáláshoz pedig modellszámításokat végeztem, mellyel kiegészítettem a kísérleti munkámat.

Továbbá csoportunk a korábbiakban a réz(II)-oxalát rendszerben érdekes, az edény alján elterülő szálaból álló mintázatot azonosított. Céлом volt a lassú csapadékképződés háttérében álló komplexképződési folyamatok tanulmányozását követően hasonló komplexképződési folyamatokkal leírható rendszerben kialakítani az egyedi mintázatot. A választásunk az ipari jelentőséggel is bíró kobalt és/vagy rézionok nátrium-oxaláttal végbemenő oldatreakciójára esett. Munkám során célul tűztem ki a csapadékmintázat létrehozását, mennyiségi és minőségi leírását, továbbá a kialakító erők azonosítását. A közegmozgás nagy szerepet játszik a mintázatképződésben és a különböző mikroszerkezetű anyagok létrehozásában, ezért tanulmányoztam az áramlás és/vagy összetételváltozás hatását a kristálymorfológiára. Kísérleti munkám során kidolgoztam az áramlásvezérelt rendszerben szabályozott szerkezetű kristályok tervezett előállításának megvalósítását.

## 2. Kísérleti rész

Modellreakcióként választottam a kutatócsoportunk által már vizsgált tetratationation autokatalitikus oxidációját kis kloriton felesleg alkalmazásával, melyet a kizárólag szulfáttal csapadékot képező reakcióval csatoltam. A reaktánskelet összeállításához először a szilárd zselatint bemértem, majd a kiszámított mennyiségű desztillált víz hozzáadása után melegítéssel segítve feloldottam. A kísérleteket vízszintes elrendezésű Hele-Shaw edényben (lásd az 1. ábrát) hajtottam végre, ami két egymással párhuzamos plexilapból és a köztük elhelyezett távtartóból állt, melyeket csavarokkal rögzítettem össze. A  $10 \times 10 \times 0,2 \text{ cm}^3$  térfogatú reakciótérbe töltöttem

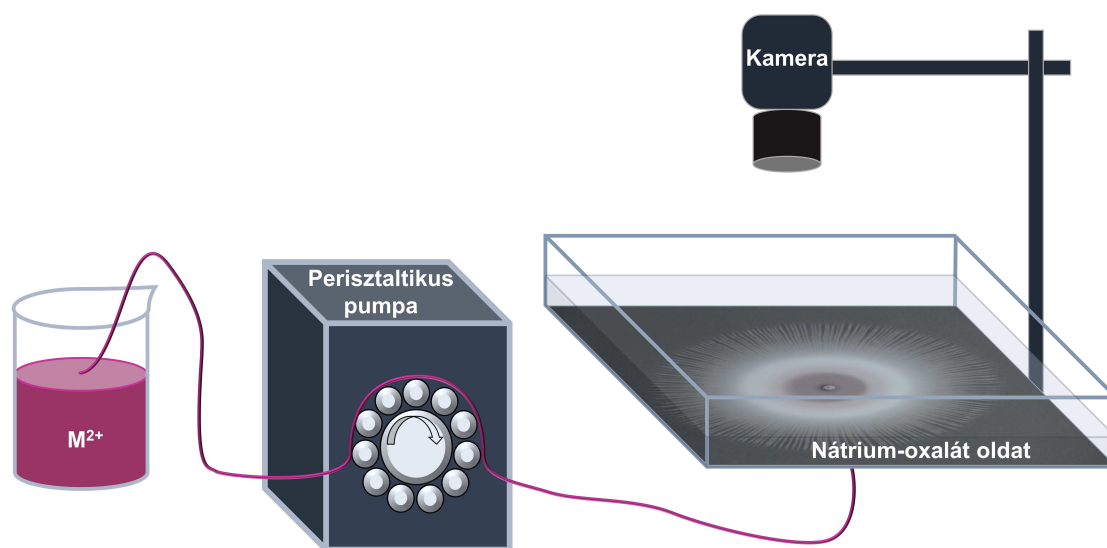


1. ábra. A kísérleti elrendezés és a Hele-Shaw reakcióedény sematikus rajza.

be a reaktánskeletet és minden egyes kísérlet előtt 20 percre az egész edényt hűtőszekrénybe ( $\sim 5^\circ\text{C}$ ) helyeztem. A kísérleteket egy fűthető-hűthető termosztát (Heto HMT 200) segítségével két különböző hőmérsékleten hajtottam végre.

Az áramlásvezérelt kísérleteket egy négyzet alakú  $22 \times 22 \text{ cm}^2$  területű és 5 cm magas üveg-edényben végeztem. Az edény alján lévő furaton keresztül egy  $\sim 0,6 \text{ mm}$  átmérőjű vérvételi tű segítségével áramoltattam be a fémsók oldatát, melyhez  $0,25 \text{ mm}$  belső átmérőjű Tygon csövet csatlakoztattam. A 2. ábra szerint egy perisztaltikus pumpa (ISMATEC Reglo) segítségével a csövön keresztül áramoltattam kobalt-nitrát-oldatot vagy réz-szulfát és kobalt-nitrát oldatainak 1:1, 1:2 vagy 2:1 arányú elegyét a  $250 \text{ cm}^3$  nátrium-oxalátot tartalmazó edénybe. Jól kevert rendszerben is előállítottam a csapadékokat a célból, hogy összehasonlítási alapul szolgáljanak az áramlásvezérelt rendszerben képződött oxalátoknak. A csapadékmintázat mennyiségi jellemzéséhez egy házi készítésű programmal a már állandó méretű csapadék adott időpillanatban készült felvételén a csapadékszóna átmérőjét, a csapadékgyűrű külső átmérőjét, a belső csapadékmentes kör átmérőjét és a csapadékszálak számát a generált szürkességi skála profilok

alapján egyértelműen azonosíthatjuk. A csapadékok mikrostruktúráját pásztázó elektronmikroszkóppal, az egyedi részecskék elemösszetételét a mikroszkóphoz csatolt RÖN-TEC energia-diszperzív röntgenanalizálóval határoztam meg, míg a fémionok térbeli elkülönülését a vegyes rendszer esetén mikrofluoreszcens spektrofotométerrel vizsgáltam. A csapadék összetételét termogravimetriás méréssel állapítottam meg. Röntgendiffrakciós méréssel pedig meghatározható volt az előállított polikristályos kobalt(II)-oxalát hidrát formája.

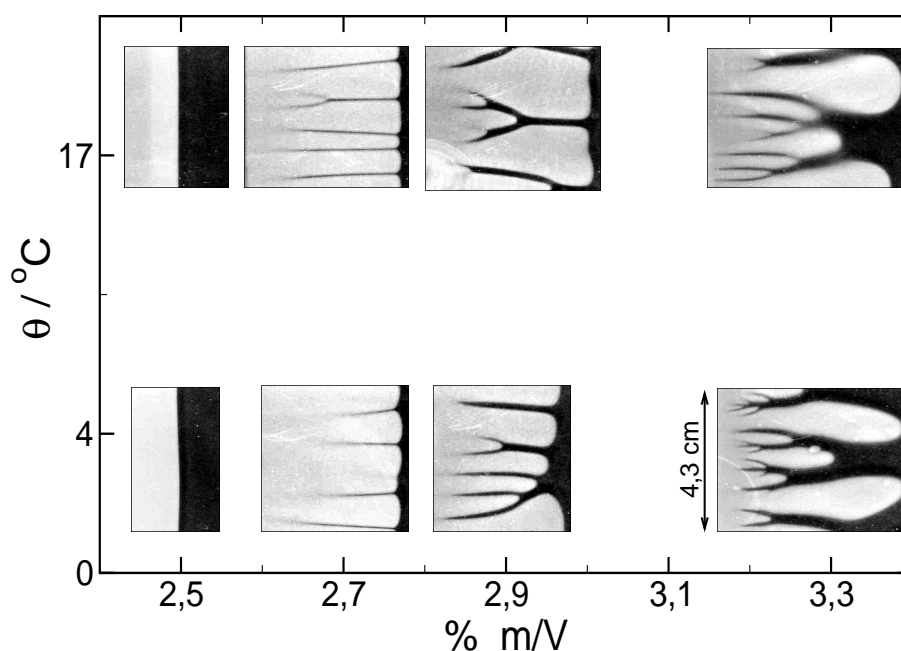


2. ábra. A kísérleti berendezés sematikus rajza.

### 3. Új tudományos eredmények

I. Megállapítottuk, hogy csapadékképződési reakcióval csatolt CT autokatalitikus frontreakció során állandósult csapadékmintázat alakul ki az autokatalizátor megkötése mellett. [3]

Az elektrolízissel indított reakciófront konstans sebességgel terjed a hidrogél reakcióközegben, miközben a front mögötti térrészben megjelenik a bárium-szulfát fehér csapadék. Megállapítottam, hogy a 2,5 m/V% összetételű zselatin alkalmazása sík frontot eredményez mindkét beállított hőmérsékleten (lásd a 3. ábrát). A zselatin koncentrációját növelve 2,7 m/V%-ra, azt tapasztaltam, hogy egészen a reakcióedény feléig elhaladva a front az egyenes alakját megtartotta, és csak ezt követően fejlődött ki a mély völgyekkel szabdaltszerű cellás szerkezet mindkét hőmérsékleten. A front mögött egy nem homogén eloszlású csapadékzóna alakult ki, melyet szűk, csapadékmentes hasadékokkal szabdaltszerű cellás szerkezet jellemez. A csapadék megjelenésével egyidőben a kialakult mintázat rögzítetté válik a haladó reakciófront mögött. Megállapítható, hogy a cellás szerkezetű reakciófront befűződése mentén a hidrogénionban szegény térrészekből alakulnak a jellemző csapadékmentes zónák, melyek egyben egy kiürülési, reaktánsionoktól mentes térrészeket jelentenek.



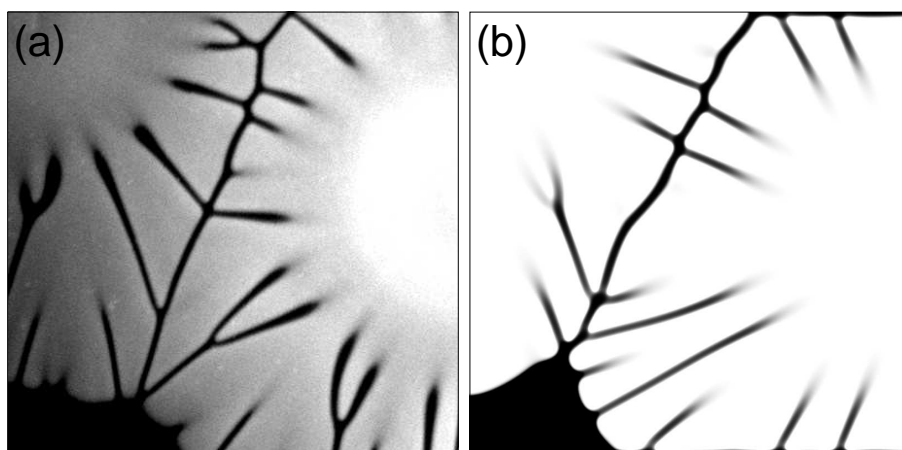
3. ábra. A bárium-szulfát csapadék leválásával csatolt reakcióban előállított időben állandó mintázatok a hőmérséklet és zselatin összetétel függvényében. A világos térrész a képződött terméket jelenti.

II. *A kísérleti paraméterek szisztematikus változtatásával igazoltuk, hogy a mintázat képződésének hajtóereje a komponensek fluxusbeli különbsége.* [3]

A rendszer hidrodinamikai stabilitása függ a reakciófront irányultságától, így kísérletileg kimutattam, hogy nem a konvektív instabilitás hozza létre a cellás szerkezetet. A 2,5 m/V% összetételű zselatin alkalmazásával a síkfront megőrizte stabilitását mindkét irányban (függőleges helyzetben lefelé és felfelé) kivitelezve a kísérletet. A 2,7 m/V% összetételű zselatin esetén egyértelműen nagy amplitúdójú, tehát mély völgyekkel szabdalt állandó mintázat képződik a front irányultságától függetlenül, mely kísérleti bizonyítéka a diffúzív instabilitás jelenségének. Bebizonyítottam, hogy a zselatin tartalom változtatásával egy kritikus érték felett alakul ki a mintázat, melynek oka az autokatalizátor immobilis reverzibilis megkötése a karboxilátcsoportok által.

III. *A mintázatot a komponensekre felírt reakció-diffúzió egyenletek megoldásával reprodukáltuk úgy, hogy a képződött összes szulfátion bárium-szulfát csapadék formájában történő immobilizálódását vettük figyelembe.* [3]

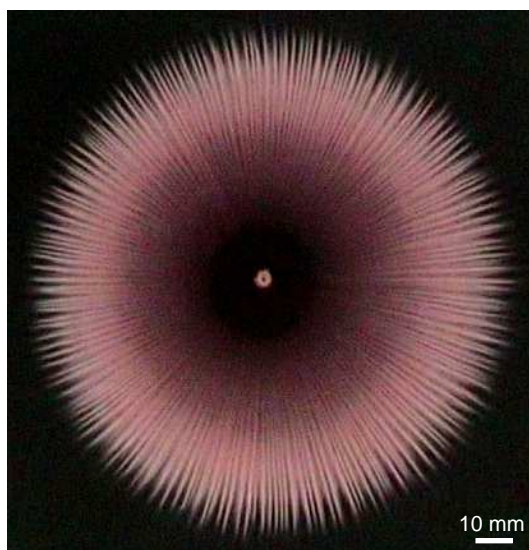
A modellszámítások során a kísérleti tapasztalatokkal összehangolva csak a diffúziót vettem figyelembe, eltekintve a közegmozgástól. Feltételeztem, hogy a reakció során képződött szulfátion teljes mennyisége csapadékként levált a rendszerben. Megállapítottam, hogy a komponensek fluxusbeli különbsége vezérli a kialakuló mintázatot, hiszen a megkötés mértékének és a bárium-szulfát csapadék figyelembevételével jó egyezést tapasztaltam a kísérleti eredményekkel (lásd a 4. ábra).



4. ábra. Kísérleti felvétel (a), a zselatin tömegkoncentrációja 2,7 m/V%, eredeti képszélesség: 8 cm. Modellszámítással kapott mintázat (b), ahol  $\mu = 4,8$  és  $\delta = 1,0$ , eredeti képszélesség: 9 cm.

IV. Bemutattuk, hogy a kobalt(II)-oxalát áramlásvezérelt szintézisekor szálcsapadékmintázat alakul ki, amelynek hajtóereje a reaktánsoldatok közti sűrűségkülönbség által indukált gravitációs áram, a lassú gócképződés és kristálynövekedés. [2]

A szintetizált kobalt(II)-oxalát csapadék különlegessége abban rejlik, hogy a nagyobb sűrűségű kobalt-nitrát-oldat beáramlásának hatására vízszintesen, az edény alján növekvő és szimmetrikus, sugárirányú tűszerű képződmények jönnek létre. A jellegzetes mintázat szerkezete függ a kémiai összetételtől, az oldat betáplálásának sebességétől és az oldatok közötti sűrűségkülönbségtől. A csapadékleválás nem pillanatszerű, így egy megadott távolságra a beáramoltatás helyétől kialakul egy rózsaszín csapadékmentes kör. Továbbá kísérleteink igazolják, hogy – a kémiai összetétel mellett – az áramlásnak van kulcsfontosságú szerepe a szálcsapadék kialakulásában. A jelenség hátterében az áll, hogy a nagyobb sűrűségű betáplált oldat az edény aljára süllyed és a kezdetben egy helyben álló oxalátoldatot felfelé irányuló áramlásra készíti eredményezve egy konvekciós gyűrűt, mely felelős a két komponens helyi keveredéséért. A csapadékleválás helyileg a gravitációs áram peremén történik és a kolloid részecskék a fordított irányú árammal kerülnek vissza. A fázisszeperáció a horizontálisan haladó gravitációs áram örvénye mögött következik be egy szűk térrészben, ahol lefelé és felfelé irányuló áramlatok váltakoznak. A keletkező csapadék a gravitációs áram haladási irányára merőlegesen a lefelé áramló zónákban rakódik le és a felfelé áramló térrészben csapadékmentes zóna alakul ki, ezzel kialakítva az elkülönült szálakból álló csapadékmintázatot (lásd az 5. ábrát). A reakciót lassú csapadékleválás jellemzi, ezáltal a gócképződés és a kristálynövekedés is lassú, mely hozzájárul a jól elkülönült szálakból álló mintázat előállításához.

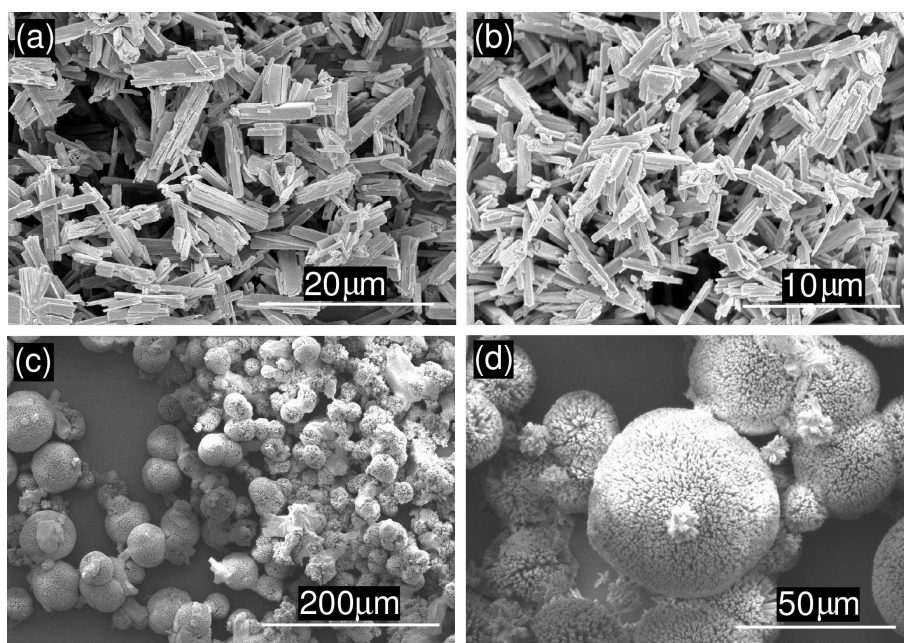


5. ábra. A kobalt(II)-oxalát csapadékmintázat  $c_{Co} = 1,0 \text{ mol/dm}^3$ ,  $c_{Ox} = 0,1 \text{ mol/dm}^3$  összetételnél és  $Q = 20 \text{ ml/h}$  áramlási sebességnél  $t = 440 \text{ s}$  időpontban.



V. Megállapítottuk, hogy az áramlásvezérelt rendszerben képződött kobalt(II)-oxalát kristályok morfológiája eltér a jól kevert rendszerben előállított kristályokétól. [2]

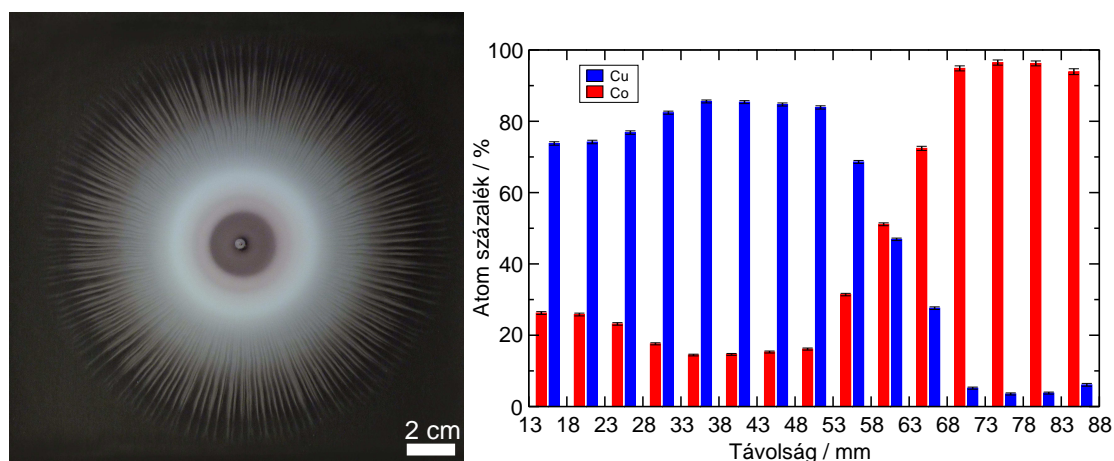
A jól kevert referencia rendszer esetén térbeli koncentrációgradiens nem lép fel és 10–20  $\mu\text{m}$ -es pálcák képződnek, ahogyan a 6. (a)-(b) felvételek mutatják. A réz(II)-oxalát és a kobalt(II)-oxalát csapadék makroszkópikus megjelenése hasonló, azonban a kialakuló mikrokristályok jelentősen eltérnek. Az apakristályok sem azonos felépítésűek, mert a réz(II)-oxaláté repedezett felületű gömb, míg a kobalt(II)-oxalátnál inkább pálcikás kristályokból sugaras szerkezetű gömb (szferolit). A kobalt(II)-oxalát áramlásvezérelt szintézise során tapasztalt szálcsapadék szerkezete nagyon érdekes, ugyanis nem fonalakból áll, mint a réz(II)-oxalát esetében, hanem eddig nem tapasztalt szferolit gömbök halmazából, mely a 6. (c)-(d) képeken megfigyelhető. Elmondható, hogy új morfológiájú oxalátok szintézisére jól alkalmazható a munkám során optimalizált áramlásvezérelt rendszer.



6. ábra. A kobalt(II)-oxalát dihidrát forma elektronmikroszkópos képei a referencia rendszerben (a–b) 400 rpm keverési sebességnél,  $t = 20$  s. Az áramlásvezérelt rendszerben azonosított kristályalakok (c–d),  $Q = 20$  ml/h áramlási sebességnél,  $t = 440$  s. Reaktánsösszetétel:  $c_{Co} = 1,0$  mol/dm<sup>3</sup>,  $c_{Ox} = 0,1$  mol/dm<sup>3</sup>.

VI. Bemutattuk, hogy a réz(II)–kobalt(II)-ionok egy-egy arányú homogén oldatelegységének nátrium-oxalát oldatba történő beáramoltatásával szálas csapadékmintázat hozható létre, melyet eltérő fémion arányú zónák alkotnak. [1]

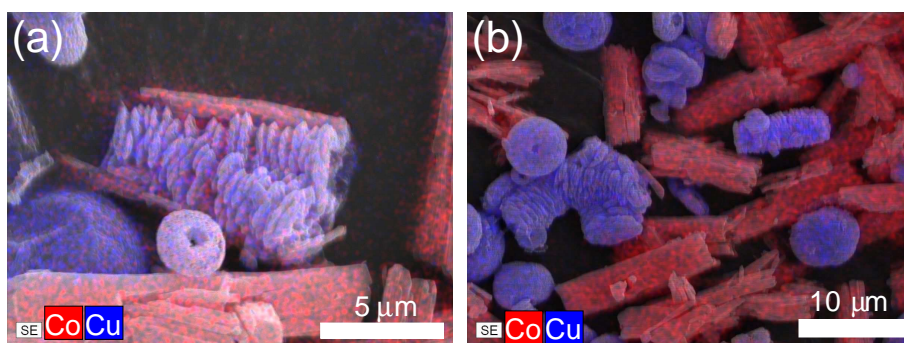
A réz(II)–kobalt(II)-ionok egy-egy arányú homogén oldatelegységének nátrium-oxalát oldatba történő beáramoltatásával az egyes csapadékok térbeli elkülönülését figyeltem meg (lásd a 7. ábrát), melyet a csapadékok színe és az elektronmikroszkópos felvételek is bizonyítottak. A fém-oxalátok térbeli elkülönülését és az egyes térrészek Cu/Co elemarányát mikrofluoreszcens spektrofotométerrel vizsgáltam. Az XRF analízis eredménye alapján, amely a 7. ábrán látható, a csapadékmentes kört körülölelő kék zóna 85% réz atomot tartalmaz. Az átmeneti zónában 58 mm-re a középponttól a réz és kobalt elemarány eléri az egyet. Ezt követően a kobalt kerül feleslegbe, melyet jól tükröz a mikroszerkezet változása is. A szálak hegyénél 96% kobalttartalom mérhető, melynek oka a rézionok kiürülése az edény alján a csapadékmintázat növekedésével. A rézfeldúsulás a beáramoltatás közelében azzal magyarázható, hogy a réz(II)-oxalát csapadék kisebb oldhatósági szorzattal rendelkezik, így a rendszerből hamarabb kiválik. Ennek következtében a szabad rézionok mennyisége egyre kisebb lesz sugárirányban kifelé haladva, ezzel teret engedve a kobalt(II)-oxalát csapadék képződésének. A vegyes fémiontartalmú rendszerben a szilárd csapadék kémiai összetételét röntgendiffraktometriával határoztam meg. Ebben a rendszerben a kobalt(II)-oxalát szintén a négy kristályvíztartalmú formában képződik.



7. ábra. A réz-kobalt(II)-oxalát csapadékmintázat ( $c_{Ox} = 0,1 \text{ mol/dm}^3$ ,  $c_{M^{2+}} = 0,8 \text{ mol/dm}^3$ ) és a réz és kobalt sugármenti elemeloszlása, ahol a reaktánsösszetétel  $c_{Ox} = 0,05 \text{ mol/dm}^3$ ,  $c_{M^{2+}} = 0,8 \text{ mol/dm}^3$ , az áramlási sebesség  $Q = 20 \text{ ml/h}$ .

VII. Megállapítottuk, hogy az oxalátkoncentráció csökkentésével összetételében heterogén polimorf réz(II)–kobalt(II)-oxalát kristályok képződnek. [1]

Megállapítottuk, hogy kisebb oxalátsó koncentráció ( $c_{Ox} = 0,05 \text{ mol/dm}^3$ ) mellett új, összetételében heterogén polimorf kristályok képződnek az áramlásvezérelt rendszerben, melynek háttérében az egyensúlytól távoli mikrokörnyezetet biztosító közegmozgás áll. A különleges kristályok a 8. ábrán láthatóak, melyeket a beáramoltatás pontjától a 33–78 cm közötti zónában azonosítottam.



8. ábra. Az elektronmikroszkópos felvételek és EDS elem térképek együttes ábrázolása a kristályokról, mely az  $r = 58\text{--}68 \text{ mm}$  közti zónában készült. A reaktánsösszetétel  $c_{Ox} = 0,05 \text{ mol/dm}^3$ ,  $c_{M^{2+}} = 0,8 \text{ mol/dm}^3$ , az áramlási sebesség  $Q = 20 \text{ ml/h}$ . A képek szélessége  $24,5 \mu\text{m}$ .

## 4. Az értekezés témakörében megjelent közlemények

1. E. Tóth-Szeles, B. Bohner, Á. Tóth, D. Horváth  
*Spatial separation of copper and cobalt oxalate by flow-driven precipitation*  
Cryst. Growth Des., **17** (9), pp. 5000-5005 (2017).

IF = 4,055

2. E. Tóth-Szeles, G. Schusztter, Á. Tóth, Z. Kónya, D. Horváth  
*Flow-driven morphology control in the cobalt–oxalate system*  
CrystEngComm, **18**, pp. 2057-2064 (2016).

IF = 3,474

3. E. Tóth-Szeles, Á. Tóth, D. Horváth  
*Diffusive fingering in a precipitation reaction driven by autocatalysis*  
Chem. Commun., **50** (42), pp. 5580-5582 (2014).

IF = 6,834

$\Sigma_{IF} = 14,363$

## 5. Az értekezés témaköréhez nem kapcsolódó közlemények

1. N. Adányi, Á. Gy. Nagy, B. Takács, I. Szendrő, G. Szakacs, R. Szűcs, E. Tóth-Szeles, I. Lagzi, D. Weiser, V. Bódai, P. Sátorhelyi, B. Erdélyi  
*Sensitivity enhancement for mycotoxin determination by optical waveguide lightmode spectroscopy using gold nanoparticles of different size and origin*  
Food Chem., **267**, pp. 10–14 (2018).

IF = 4,529

2. Á. György Nagy, N. Adányi, I. Szendrő, G. Szakacs, V. Bódai, I. Lagzi, E. Tóth-Szeles  
*Development of a Quartz Crystal Microbalance with Impedance Measurement with Bio-Gold Nanoparticles for Enhanced Sensitivity*  
Int. J. Food Eng., **4** (2), pp. 122–126 (2018)

IF = –

3. Zs. Molnár, V. Bódai, G. Szakacs, B. Erdélyi, Zs. Fogarassy, Gy. Sáfrán, T. Varga, Z. Kónya, E. Tóth-Szeles, R. Szűcs, I. Lagzi  
*Green synthesis of gold nanoparticles by thermophilic filamentous fungi*  
Sci Rep., **8**, Article number: 3943 (2018).

IF = 4,259

4. E. Tóth-Szeles, Zs. Medveczky, G. Holló, J. Horváth, R. Szűcs, H. Nakanishi, I. Lagzi  
*pH mediated kinetics of assembly and disassembly of molecular and nanoscopic building blocks*  
React. Kinet. Mech. Catal, **123** (2), pp. 323–333 (2018).  
IF = 1,267
5. E. Tóth-Szeles, J. Horváth, G. Holló, R. Szűcs, H. Nakanishi, I. Lagzi  
*Chemically coded time-programmed self-assembly*  
Mol. Syst. Des. Eng., **2**, pp. 274–282 (2017).  
IF = folyamatosan
6. P. Pusztai, E. Tóth-Szeles, D. Horváth, Á. Tóth, Á. Kukovecz, Z. Kónya  
*A simple method to control the formation mechanisms of cerium phosphate architectures*  
CrystEngComm, **17**, pp. 8477–8485 (2015).  
IF = 4,034

$$\Sigma_{IF} = 14,089$$

## 6. Angol nyelvű előadások az értekezés témakörében

1. D. Horváth, **E. Tóth-Szeles**, G. Schuszter, Á. Tóth  
*Self-organization in the flow-driven copper–cobaltous-oxalate system*  
CS-DC'15 World e-conference, 2015. szeptember 30–október 01.
2. **E. Tóth-Szeles**, G. Schuszter, Á. Tóth, D. Horváth  
*Self-organization of flow-driven cobalt oxalate precipitation reaction*  
Japanese-Hungarian Conference on Applied Mathematics and Nonlinear Dynamics, Budapest (HU), 2015. július 28.
3. **E. Tóth-Szeles**, B. Böhner, G. Schuszter, D. Horváth, Á. Tóth  
*Flow induced precipitate patterns in metal-oxalate systems*  
Debrecen Colloquium on Inorganic Reaction Mechanisms, Debrecen (HU), 2013. június 11–15.
4. **E. Tóth-Szeles**, Á. Tóth, D. Horváth  
*Diffusive fingering in a precipitation reaction driven by autocatalysis*  
Japanese-Hungarian Conference on Applied Mathematics and Nonlinear Dynamics, Budapest (HU), 2013. december 12.



5. **E. Tóth-Szeles**, Á. Tóth, D. Horváth  
*Diffusive fingering in a precipitation reaction driven by autocatalysis*  
Engineering of Chemical Complexity, Rostock-Warnemünde (DE), 2013. június 10–13.
6. D. Horváth, Á. Tóth, **E. Tóth-Szeles**, B. Böhner  
*Flow-Induced Precipitate Patterns in Metal–Oxalate Systems*  
Chemical Gardens, Leiden (NL), 2012. május 7–11.

## 7. Magyar nyelvű előadások az értekezés témakörében

1. **Tóth-Szeles E.**, Á. Tóth, D. Horváth  
*Diffúzió- és áramlásvezérelt csapadékmintázatok vizsgálata*  
PhD-értekezés előzetes bemutatása, MTA Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottsági Ülés, Balatonvilágos (HU), 2016. május 26–27.
2. **Tóth-Szeles E.**, Á. Tóth, D. Horváth  
*Diffúzió- és áramlásvezérelt csapadékmintázatok vizsgálata*  
PhD-értekezés előzetes bemutatása, Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék Szeminárium, Szeged (HU), 2016. május 10.
3. **Tóth-Szeles E.**, Schusztér G., Horváth D., Tóth Á.  
*Kobalt-oxalát áramlásvezérelt szintézise*  
MTA Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottsági Ülés, Debrecen (HU), 2015. március 26–27.
4. **Tóth-Szeles E.**, Tóth Á., Horváth D.  
*Autokatalitikus reakcióval vezérelt csapadékképződés*  
Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék Szeminárium, Szeged (HU), 2014. április 14.
5. **Tóth-Szeles E.**, Tóth Á., Horváth D.  
*Autokatalitikus reakcióval vezérelt csapadékképződés*  
XXXVI. Kémiai Előadói Napok, Szeged (HU), 2013. október 28–30.
6. **Tóth-Szeles E.**, Tóth Á., Horváth D.  
*Autokatalitikus reakcióval vezérelt csapadékképződés*  
MTA Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottsági Ülés, Mátraháza (HU), 2013. szeptember 26–27.

## 8. Poszterek az értekezés témakörében

1. **E. Tóth-Szeles**, B. Müller, Á. Tóth, D. Horváth  
*Flow-driven Morphology Control in Transition Metal-oxalate Systems*  
XXXVII Dynamics Days Europe, Szeged (HU), 2017. június 5–9.
2. B. Bohner, E. Rauscher, **E. Tóth-Szeles**, D. Horváth, Á. Tóth  
*Flow-Driven Precipitation Systems*  
GRC Complex Active & Adaptive Material Systems, Ventura (CA), USA, 2017. január 29–február 3.
3. **E. Tóth-Szeles**, G. Schuszter, Á. Tóth, D. Horváth  
*Flow-driven morphology control in transition metal-oxalate systems*  
GRC on Oscillations and Dynamic Instabilities in Chemical Systems - Chemical Self-Organization Far from Equilibrium, Stowe (VT), USA, 2016. július 17–22.
4. **E. Tóth-Szeles**, Á. Tóth, D. Horváth  
*Diffusive fingering in a precipitation reaction driven by autocatalysis*
  - XXXIV. Dynamics Days Europe, Bayreuth, (DE), 2014. szeptember 8–12.
  - European Colloquium on Inorganic Reaction Mechanisms 2014, Debrecen (HU), 2014. június 17–20.
5. **E. Tóth-Szeles**, T. Bujdosó, B. Bohner, G. Schuszter, D. Horváth, Á. Tóth  
*Horizontally growing precipitation patterns in flow-driven systems*
  - Gordon Research Conferences on Oscillations and Dynamic Instabilities in Chemical Systems, Waterville (ME), 2012. július 15–20.
  - Chemical Gardens Workshop, Leiden (NL), 2012. május 7–11.

## 9. Az értekezés témaköréhez nem kapcsolódó magyar és angol nyelvű előadások

1. **Tóth-Szeles E.**, Holló G., Szűcs R., Lagzi I.  
*Idővezérelt önszerveződés kémiai rendszerekben*  
MTA Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottsági Ülés, Mátraháza (HU), 2016. november 3–4.
2. Szűcs R., **Tóth-Szeles E.**, Lagzi I., Szakács Gy., Sátorhelyi P., Erdélyi B., Kohári Sz., Adányiné Dr. Kisbocskói N.  
*Arany nanorészecskék előállítása környezetbarát módszerekkel*

MTA Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottsági Ülés, Mátraháza (HU), 2016. november 3–4.

3. P. Bába, **E. Tóth-Szeles**, M. Hauser, Á. Tóth, D. Horváth  
*Preliminary results on CDIC-3 experiment*  
ESA Topical Team Meeting, Brussels (BE), 2016. március 21–23.
4. **E. Tóth-Szeles**, Á. Tóth, D. Horváth  
*Bread-board test for Maser 13*  
ESA Topical Team Meeting on Chemo-Hydrodynamic Instabilities, Alghero (IT), 2015. május 31–június 02.

## 10. Az értekezés témaköréhez nem kapcsolódó posztetek

1. G. Holló, **E. Tóth-Szeles**, J. Horváth, R. Szűcs, H. Nakanishi, I. Lagzi  
*Chemically coded time-programmed self-assembly*  
MaCKiE (International Conference on Mathematics in (bio)Chemical Kinetics and Engineering), Budapest (HU), 2017. május 25–27.
2. P. Bába, **E. Tóth-Szeles**, M. Hauser, Á. Tóth, D. Horváth  
*Marangoni instability in a propagating autocatalytic reaction front under microgravity*
  - 7th ISPS & 25th ELGRA Biennial Symposium and General Assembly, Juan-les-Pins, (FR), 2017. október 2–6.
  - XXXVII Dynamics Days Europe, Szeged (HU), 2017. június 5–9.
  - GRC on Oscillations and Dynamic Instabilities in Chemical Systems - Chemical Self-Organization Far from Equilibrium, Stowe (VT), USA, 2016. július 17–22.
  - IMA8 - 8th Conference of the International Marangoni Association Interfacial Fluid Dynamics and Processes, Bad Honnef (DE), 2016. június 12–16.
3. P. Bába, P. Adamo, C. Amalfitano, **E. Tóth-Szeles**  
*Preliminary studies on growing media alternative to peat*  
19th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged (HU), 2013. szeptember 23.
4. D. Villecco, P. Adamo, C. Amalfitano, P. Bába, C. Pane, R. Scotti, **E. Tóth-Szeles**, M. Zaccardelli  
*Preliminary studies on growing media alternative to peat in horticulture nursery*  
XXXI. Convegno Nazionale della Società Italiana di Chimica Agraria, Napoli (IT), 2013. szeptember 16–17.

MTMT azonosító: 10054236