

Diffúzív és konvektív instabilitás tanulmányozása autokatalitikus reakciófrontokban

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Pópity-Tóth Éva

Témavezetők: Dr. Tóth Ágota, *egyetemi docens*
Dr. Horváth Dezső, *egyetemi docens*

Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem, Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

2012

1. Bevezetés és az értekezés célkitűzései

A minket körülvevő világban előforduló anyagok valamilyen transzportfolyamat által tudnak mozgásba kerülni, és ennek következtében a mindennapi életünkre igen nagy befolyást gyakorolni. Gondoljunk csak a különböző légköri képződményekre (pl. hurrikán, felhő), a tengeráramlatokra, a szennyeződések terjedésére. Mivel ezek a jelenségek a természet erőinek a megnyilvánulásakor igen erőteljesen hatnak ránk, ezért elengedhetetlen a kísérleti tanulmányozásuk. Az anyagtranszportok közül leggyakrabban diffúzió, konvekció, illetve külső elektromos erőter által az ionokra gyakorolt migráció révén valósul meg az egyes anyagféleségek térbeli elmozdulása. A közegmozgást három tényező befolyásolja: a sűrűségkülönbség, a viszkozitás és a felületi feszültség változása. Ezek közül az első, valamint a harmadik tényező módosulásának és a diffúzióknak a hatását tanulmányoztam részletesebben autokatalitikus modellreakciók segítségével. Az autokatalízis az egyik legegyszerűbb nemlineáris kémiai jelenség, amely során mind a koncentrációkban, mind pedig a reakciók sebességében nem egyenes arányosság szerinti változás, hanem egy hirtelen, ugrásszerű módosulás figyelhető meg.

Az autokatalitikus kémiai reakciók és az anyagtranszport kölcsönhatása egy éles határvonal kialakulását eredményezi a termékek és a reaktánsok között, amelynek a két oldalán állandó sűrűségkülönbség jön létre. Ezt a bizonyos határvonalat, amely egy autokatalitikus reakció tér- és időbeli lejtésedésekor alakul ki, kémiai frontnak nevezzük. A határfelület vándorlása során a körülményektől függően homogén közegben haladva általában megőrzi az eredeti sík alakját, vagyis stabilis marad. Bizonyos körülmények között viszont a reaktánsanyagban haladó síkfront stabilitását elveszítve, a kísérleti zajok felerősödéséből, előrehaladó és lemaradó szegmensekkel jellemezhető cellás szerkezetek jöhetnek létre. Az olyan frontinstabilitást, amikor a front haladási irányára merőlegesen alakul ki a stabilitásvesztés, laterális instabilitásnak nevezzük. Ha konvekciómentes közegben a diffúzióbeli különbségek okozzák ezt a jelenséget, akkor diffúzió instabilitásról beszélhetünk, aminek a létrejöttéhez két feltétel egyidejű teljesülése szükséges. Az első az, hogy az autokatalízis megfelelő erősségű legyen, vagyis, az adott reakcióra vonatkozó sebességi egyenletben az autokatalizátor részrendjének mindig egynél nagyobbak kell lennie. A második pedig az, hogy az autokatalizátor fluxusa kisebb legyen a reaktánsokénál, amit a D diffúziós koefficiens mellett a front menti koncentrációváltozás is befolyásol.

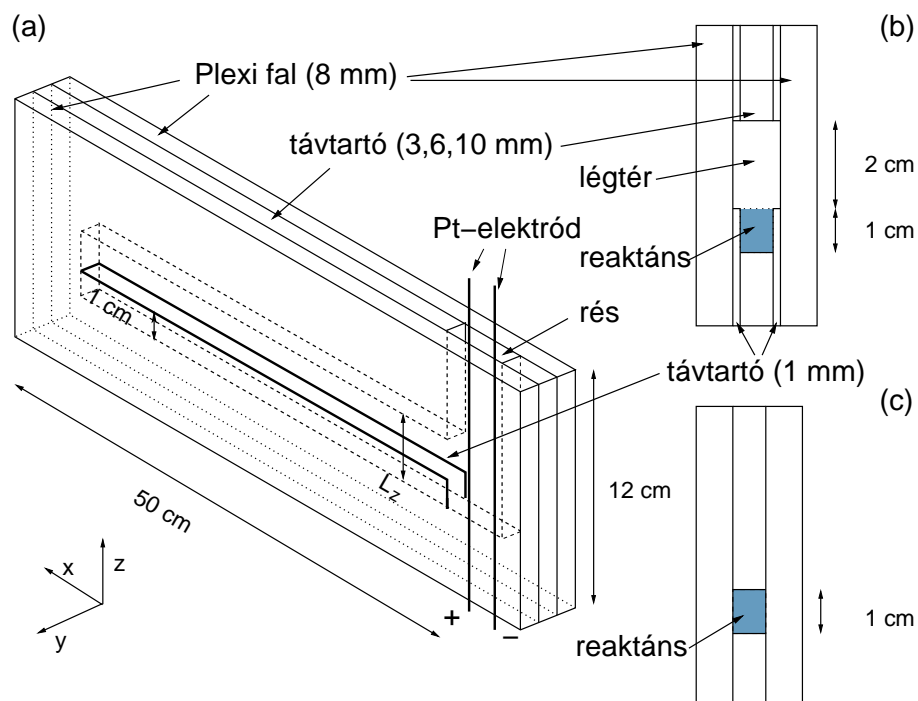
A határfelületi jelenségek vizsgálatokor felállított elméleti modellek kísérleti alátámasztása során elsősorban a jódát- arzénessav és a klorit-tetracionát rendszerben dolgoztam. Mindkét exoterm reakcióban bekövetkező kémiai összetétel változás és hőfelszabadulás miatt fellépő oldatsűrűség-változás eltérő reaktáns- és termékoldat sűrűségét eredményez. Gravitációs erőterben különböző térállású reakcióedényekben lejtésztva ezeket a reakciókat az előbb leírt tulajdonságok mintázatképződést eredményeznek, hiszen ekkor közegmozgás indukálódik a rendszerben. A konvekció megnyilvánulásának másik lehetősége a Marangoni instabilitás, ami a felületi feszültséggradiens hatására létrejövő anyagátvitel következtében lép fel a folyadék/gáz határvonalon. Hatására a nagyobb felületi feszültségű folyadék magára húzza a kisebb felületi

feszültségű folyadékot a határfelület mentén.

Frontszerűen terjedő kémiai reakciókban létrejövő mintázatképződéseket vizsgáltam a doktori munkám során. Az első céлом a diffúzív instabilitás kimutatása volt a jodát-arzénessav reakcióban a hidrogénionok megkötésével. A különböző tér- és időbeli alakzatok regisztrálása és mennyiségi jellemzése mellett, bizonyos esetekben megmértem magában a reakcióösszetételnek megfelelő közegben a kinetikai szempontból fontos komponensek diffúziós együtthatóját, amihez az *in situ* módon is alkalmazható pulzusgradiens spin echó (PFGSE) NMR módszert használtam. Az elméleti számítások azt jósolták, hogy a mintázat mennyiségi jellemzője – ami nem más, mint a keveredési hossz – a reakcióedény magasságának második hatványával arányos. A korábbi kísérletek arra engedtek következtetni, hogy ez az arányosság nem pontosan így áll fenn, ezért célul tűztem ki a skálázási törvény kísérleti meghatározását is a jodát-arzénessav reakcióban. Továbbá megvizsgáltam azt is, hogy a klorit-tetrationát szintén autokatalitikus reakcióban történő makroszkopikus önszerveződésre milyen hatással van a harmadik dimenzió kiszélesítése. A munkám befejező részében pedig a Marangoni instabilitás hatására kialakuló közegmozgást tanulmányoztam a két modellreakció esetén.

2. Kísérleti rész

A diffúzív frontinstabilitást a jodát-arzénessav rendszerben egy olyan reaktor segítségével vizsgáltam meg, amely két plexi lap közé tett $6\text{ cm} \times 7,5\text{ cm}$ nagyságú poliakrilamid-gélt tartalmazott. A reakciót egy kénsavba áztatott szűrőpapírral iniciáltam. A közegmozgás mintázatképződésre gyakorolt hatását a jodát-arzénessav (IAA) és a klorit-tetracionát (CT) reakciók esetében is tanulmányoztam. A legtöbb kísérlethez Hele-Shaw edényt alkalmaztam, ami két egymáshoz közeli párhuzamos plexi lapból állt, és közéjük különböző vastagságú távtartót helyeztem el a vizsgálat céljától függően. Függőleges reakcióedényben vízszintesen haladó frontok hosszútávú viselkedésének mennyiségi leírásához a Hele-Shaw cellát úgy módosítottam, hogy a hosszát kétszeresére növeltem, szélességét pedig 3 és 10 mm között változtattam, ahogyan azt az 1. ábra szemlélteti. A Marangoni instabilitás tanulmányozásához további 1 cm magas és 1 mm széles falakat építettem be a távtartó két oldalára, hogy azok megkönnyítsék a cella feltölthetőségét (lásd oldalnézetből az 1. (b) ábrán). A háromdimenziós szerkezetek vizsgálatára alkalmas cella egy üvegküvetta volt, ami megkönnyítette az oldalnézeti és a felülnézeti kép egyszerűre történő rögzítését tükrök alkalmazása mellett. Az edényekhez rögzített két, egymással párhuzamos, sík platinaelektród segítségével hidrogéniont termelő elektrolízissel indítottam el a savkatalizált reakciókat. A különböző cella elrendezéseknél a front tér- és időbeli változásának a követésére egy fekete-fehér (Panasonic WV-BP330/B), illetve egy színes kamerát (Sony DFW-x710) használtam, ami egy képfeldolgozó rendszerrel volt összekötve.



1. ábra. A frontok hosszútávú viselkedésének tanulmányozásához használt Hele-Shaw edény sematikus rajza előlnézetből (a), légréteg esetén oldalnézetből (b), valamint szabad felszín nélküli oldalnézetből (c).

Az NMR méréseket egy Bruker Avance DRX 500-as spektrométerrel végeztem el. A front mentén fellépő hőmérséklet-változást egy zománczott J-típusú Fe-CuNi termoelem alkalmazásával követtem nyomon, amit a front haladásának irányával szemben merítettem a cellába. A reaktáns- és a termékelegyek sűrűségét 10^{-5} , valamint $10^{-4} \text{ g cm}^{-3}$ pontossággal Anton Paar DMA 58, illetve 500 típusú digitális sűrűségmérők segítségével mértem meg. A felületi feszültségek meghatározásához Wilhelmy-lemezzel végrehajtott kiszakításos módszert alkalmazó Kruss easyDyne mérőműszert használtam.

3. Alkalmazott kiértékelési módszerek

A mintázatképződés hosszútávú változásának tanulmányozásához először a frontprofil és a frontsebesség meghatározására volt szükség. A kiértékelés során megadott időközönként számítógép által rögzített képek különböző fényintenzitásaihoz szűrkeségi skálát rendelt az alkalmazott képfeldolgozó program. A kapott felvételek 256 árnyalatból álltak, és minden egyes oszlopban a front terjedésével párhuzamosan az adott pontokhoz tartozó szűrkeségi értékek hely szerinti deriváltjának megfelelő szélsőértéke megadta az adott időpillanathoz tartozó front helyzetét. A front haladási irányára merőlegesen minden oszlopban meghatározva a létrejövő front helyzetét megkaptuk az adott időhöz tartozó frontprofil. A front sebessége pedig a front helyzetének időbeli változására illesztett egyenes meredekségéből és az egyes felvételek között eltelt időből egyszerűen kiszámítható volt.

Ezután a mintázat mennyiségi jellemzésére alkalmas keveredési hosszt (L_m) és amplitúdót (A) határoztam meg. Az előbbi az átlagos frontaltól való átlagos eltérésként definiálható, míg az utóbbi pedig a legelőrehaladottabb és a leglemaradottabb pontok közötti távolságként. A keveredési hossz figyelembe veszi a front összes pontját, míg az amplitúdó csak két pontból jellemzi a reakciófrontot. Az átlagos frontalak elkészítéséhez minden egyes pozícióból ki kell vonni az átlagos frontpozíciót, majd a görbéket a front terjedési irányára merőleges irányba eső koordináta szerint kell átlagolni.

Az NMR készülék által készített szabad indukciós jeleket a kutatócsoportunkban már korábban sikeresen alkalmazott GIFA nevű programcsomaggal értékeltem ki.

4. Új tudományos eredmények

- I. A jodát-arzénessav rendszerben csak a hidrogénion megkötésével is előidézhető cellás alakzatok, amely a reaktánszelegyekben történő diffúziós koefficiens mérésrel került alátámasztásra. [1]

Konvekciómentes közegben a diffúzióvezérelt instabilitás kísérleti megvalósításához szükséges az autokatalizátor lelassítása. A kettős autokatalízissal bíró IAA rendszerben jóval nagyobb amplitúdójú és hullámhosszú cellákat sikerült létrehozni a hidrogénion szelektív immobilizálásával – karboxilátcsoportokat tartalmazó poliakrilamid-gélben –, mint mikor a jodidiont ciklodextrinnel kötötték meg pufferált közegben. A kialakuló front továbbra is fennálló kis mértékű instabilitásának az a magyarázata, hogy a két autokatalizátor egyidejűleg van jelen a rendszerben, valamint az, hogy ezek közül az egyik a hidrogénion, aminek vizes oldatban nagy a mozgékonyasága. Az egyes reakcióközegekben meghatároztam a kinetikai szempontból számunkra fontos komponensek diffúziós együtthatóját, mert ezek pontos ismerete nélkülözhetetlen az általunk tanulmányozott tér- és időbeli szerkezetek megértéséhez és mennyiségi leírásához. Mivel az anyagok savas és bázikus oldatokban mért diffúziós koefficiensei kellő mértékben megegyeztek egymással (lásd az 1. táblázatot), ezt követően már csak a reaktánszelegyek esetében végeztem el az *in situ* PFGSE-NMR méréseket. Az eredmények azt mutatták, hogy a IAA rendszer esetében a nátrium-poliakrilát alkalmazásakor a vízszintesen haladó front sík marad – vagyis nem lehetett megfelelő mértékben lelassítani a hidrogénion mozgékonyaságát –, míg térhálós akrilamid gélben a cellás szerkezet felbukkanása figyelhető meg.

1. táblázat. A mért diffúziós koefficiensek.

	$D_{\text{lúgos}} / \text{cm}^2\text{s}^{-1}$	$D_{\text{savas}} / \text{cm}^2\text{s}^{-1}$
Acetát / ecetsav	$(1,21 \pm 0,01) \cdot 10^{-5}$	$(1,17 \pm 0,01) \cdot 10^{-5}$
Brómfenolkék	$(4,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-6}$	$(4,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-6}$
Poliakrilát / poliakrilsav	$(3,64 \pm 0,06) \cdot 10^{-7}$	$(3,57 \pm 0,09) \cdot 10^{-7}$

- II. A IAA rendszerben függőleges reakcióedényben vízszintesen haladó frontok alakját leíró skálázási törvény hatványkitevőjének értéke függ a sztöchiometriától, viszont független a hőmérséklettől $4\text{ }^\circ\text{C}$ és $25\text{ }^\circ\text{C}$ között. [2]

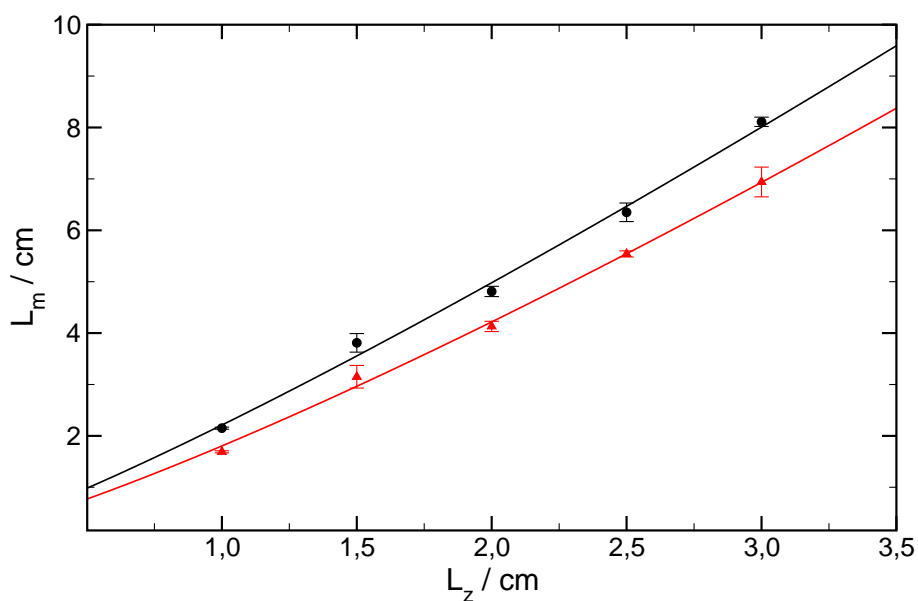
Elegendően hosszú és keskeny reakcióedényben állandó sebességgel terjedő állandó alakzatok jöttek létre, amelyek mennyiségi leírására a mintázat elnyúlását jellemző keveredési hossz értékét alkalmaztam. A IAA reakció esetében három kiindulási koncentrációarány (R) mellett dolgoztam, és 3 mm vastag, illetve 1 – 4 cm magas reakcióedényben hajtottam

vége a kísérleteket. A keveredési hossz és az edény magassága között fennálló skálázási összefüggést definiáló $L_m = CL_z^B$ alakú hatványfüggvény illesztése során meghatároztam az egyes összetételekhez tartozó kitevőket (B), amiket a 2. táblázat mutat be. Az arzénessav és a jodátionok kezdeti koncentráció arányának csökkentésével a kitevő értéke csökkent, mivel a kezdeti vékony reakciófront vastagsága nőtt.

2. táblázat. A skálázási hatványkitevő értékei ($R = [\text{H}_3\text{AsO}_3]_0/[\text{KIO}_3]_0$).

R	T / °C	B
3,9	25	1,33 ± 0,02
2,8	25	1,17 ± 0,06
2,6	25	0,78 ± 0,06
2,8	4	1,23 ± 0,05

A táblázatban feltüntetett adatok alapján elmondható, hogy a keveredési hossz (L_m) az elméleti számítások eredményétől eltérően nem négyzetes arányosság szerint változik az edény magasságával (L_z), valamint hogy a hatványkitevő értéke függ a reaktánsok kezdeti koncentrációinak arányától. Megvizsgáltam a hőmérséklet 25 °C-ról 4 °C-ra való csökkentésének a hatását is, amelynek következtében nem lép fel reakciómechanizmus változás adott reaktánsarány esetében. Mindez a kialakult szerkezetet jellemző keveredési hosszak a csökkenését eredményezte az egyes edénymagasságok esetében, ahogy azt a 2. ábra illusztrálja, de a skálázási törvényben szereplő hatványkitevő értékét nem befolyásolta, hiszen a számított adatok hibán belül megegyeztek a két hőmérséklet esetében.



2. ábra. A keveredési hossz edénymagasságtól való függése $[\text{As(III)}]_0/[\text{IO}_3^-]_0 = 2,8$ aránynál 25 °C-on illetve 4 °C-on, amikor az illesztett görbék egyenlete $L_m = CL_z^B$ alakú.

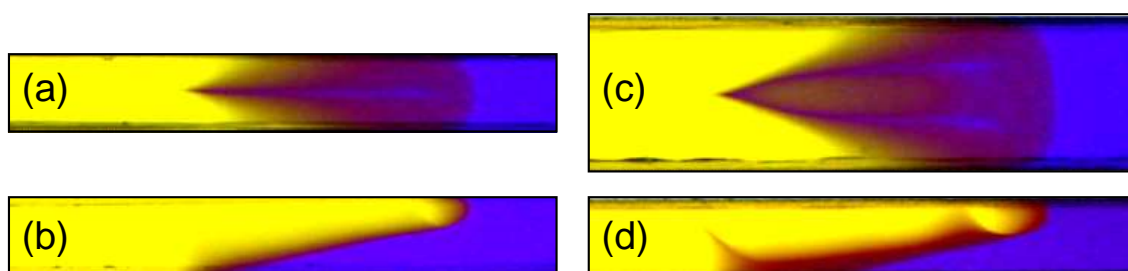
A kisebb sűrűségkülönbség hatására kisebb lett a skálázási összefüggésben szereplő C konstans értéke is.

III. *Vékony reakciófrontok alakjára érvényes skálázási törvény hatványkitevőjére létezik egy univerzális skálázási kitevő ($1,32 \pm 0,08$). [2]*

Függőleges reakcióedényben vízszintesen haladó vékony frontok esetében meghatározott skálázási összefüggések jó egyezést mutatnak ellentétes sűrűségváltozást előidéző reakciók lejátszódása során. Azonos reakciókörülményeket alkalmazva a klorit-tetrationát és a jodát-arzénessav rendszerben – ami klorition és arzénessav felesleget, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, illetve 3 mm vastag reakcióedényt jelent –, majd a meghatározott hatványkitevő értékeket összehasonlítva az mondható el, hogy ezek kísérleti hibán belül megegyeznek, hiszen a CT reakció esetében $1,31 \pm 0,08$, míg a IAA rendszernél ez az érték $1,33 \pm 0,02$ lett. A klorition és a tetrationation reakciója során nő a sűrűség, míg mikor az arzénessav a jodáttal reagál, csökken a végtermék sűrűsége a reaktánséhoz képest, vagyis az első esetben a kémiai összetétel változásából adódó izoterm sűrűségkülönbség pozitív, a második esetben pedig negatív.

IV. *Az exoterm CT reakció során végbemenő hőfelszabadulás stabilizálja a mintázatképződést egy adott oldatréteg-vastagságtól kezdődően vízszintesen haladó reakciófrontok esetében. [3]*

A kísérletek során folyamatosan változó alakokat fedeztem fel 6 mm széles edény használatakor, mivel a hőfelszabadulás és az edény falán keresztül történő hőleadás összemérhető nagyságúvá vált, és ez állandóan változó mintázatot eredményezett. Megfelelően vastag üvegfalú reakcióedények szélességét növelve már 11 mm oldatvastagság esetében időben állandó, valamint állandó sebességgel haladó cellás szerkezetek alakultak ki, ahogyan az a 3. ábrán is látható. Feltételezhetően az exoterm reakció során végbemenő hőtermelődés az, ami segít a mintázat stabilizálódásában. Elmondható, hogy vastag oldatrétegekben lehetséges állandó sebességgel terjedő állandó alakzatokat létrehozni, mivel a folyadék vastagságának növelésével a hőhatás már annyira nagy mértékű lesz, hogy a falon keresztül, a hőmérséklet csökkentése céljából véghezvitt hűtés hatásfoka nem lesz kellő mértékű.



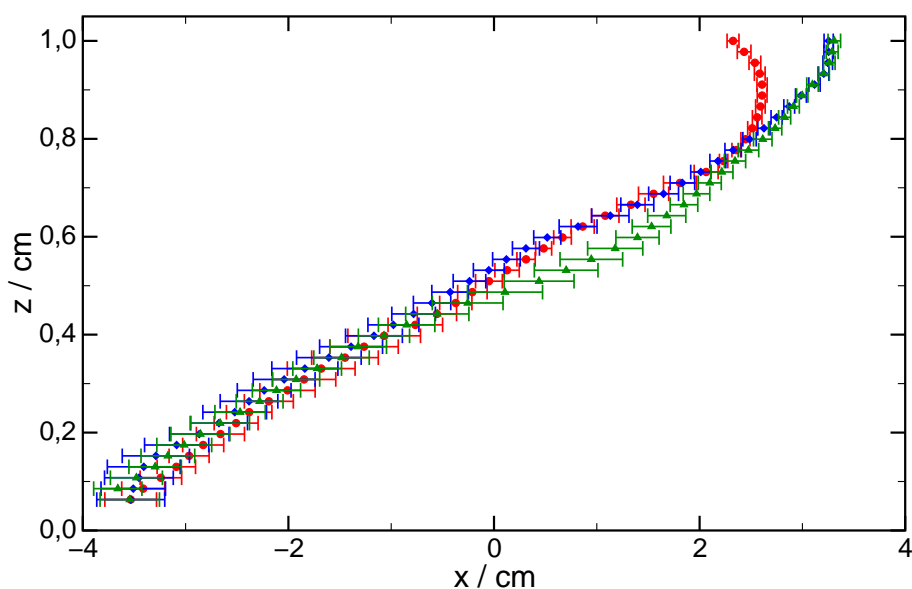
3. ábra. Balról jobbra haladó frontok oldal- (b)-(d) és felülnézeti (a)-(c) képei 100 másodperc után 11 (a)-(b) és 21 mm (c)-(d) széles küvettában elvégzett kísérletek esetén.

V. Az állandó sebességgel haladó állandó alakzatot jellemző felülnézeti és oldalnézeti keveredési hossz független az oldatvastagságtól. [3]

A harmadik dimenzió kiszélesítése során a kvantitatív jellemzéshez az átlagos frontalakzatokat a megfelelő edényszélességekkel elosztva az ún. normalizált frontalakokhoz jutottam. A mintázatképződés egységes volt, hiszen az alakok jó átfedést mutattak, és csak a felülnézeti hosszúságukban volt eltérés. Felülnézetből az alakzat hátsó részén a rendelkezésre álló térnek megfelelően különböző nagyságú, de azonos nyílási szögű V formájú minták keletkeztek a reakció lejátszódása során. A kiértékeléskor tapasztaltak alapján elmondható, hogy a reakció előrehaladtával kialakuló, az időben állandó alakokkal és sebességgel jellemezhető felülnézeti és oldalnézeti stabil mintázatok mennyiségi jellemzője egy meghatározott edényszélesség felett független az oldatvastagságtól.

VI. Marangoni instabilitás jön létre a IAA rendszer esetében adott kiindulási összetételnél, amely módosítja az állandó sebességgel és alakkal jellemezhető mintázatot. [4]

A IAA reakcióban megfelelő kiindulási arzénessav és jodátion koncentrációarányánál sikerült kimutatni a felületi feszültségkülönbség hatására fellépő instabilitást, ahol a reakció lejátszódása során elegendő mennyiségű felületaktív jód képződik. Megállapítható, hogy a légréteg megjelenése, vagyis a zárt rendszerről nyitott rendszerre való áttérés, változást eredményez a mintázatképződésben (lásd a 4. ábrán), mivel a reakcióterben hosszabb mintázatok alakultak ki, hiszen a nagyobb felületi feszültségű folyadék magára húzta a kisebb felületi feszültségű folyadékot. Az látszódik az $R = 2,6$ arány mellett $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on végrehajtott kísérleteknél, hogy a légréteg növelése nem okoz jelentős eltérést 10 mm vastag



4. ábra. Az időben állandó mintázatra jellemző átlagos frontalakok különböző magasságú távartók esetében $[\text{As(III)}]_0/[\text{IO}_3^-]_0 = 2,6$ arányánál: nincs szabad felszín (●), 1 cm légréteg (◆), 2 cm légréteg (▲).

távartó esetében – ahol a legnagyobb a lehetőség a konvekció kialakulására –, mivel a keletkezett frontalakok hibán belül megegyeznek egymással. Elmondható, hogy a szabad légtér megduplázása nem befolyásolja a kialakuló mintázatot adott összetétel esetében, meghatározott edényszélesség felett. A több jódot termelő reaktánskelet-összetételt alkalmazva keskenyebb Hele-Shaw edényben a légréteg növelése további megnyúlást idéz elő az alakzatokban a légtér térfogatának nagyobb mértékű növekedése miatt.

VII. *A hőmérséklet csökkentéséből adódó felületi feszültség különbség csökkenésével a Marangoni instabilitás megszüntethető.* [4]

A jód-arsénium reakció exoterm, ezért a front közelében hőfelszabadulás megy végbe, ami a sűrűség további csökkenését idézi elő. A hőmérséklet-növekedés okozta sűrűségváltozás kiküszöbölése érdekében a reakcióteret 4 °C-ra termosztáltam. Ekkor megszűnik a Marangoni instabilitás hatása, mivel az időben állandó mintázatra jellemző átlagos frontalakok hibán belül egybeesnek. A keveredési hossz értékének tanulmányozásakor azt tapasztaltam, hogy a nagyobb mennyiségben jódot termelő $R = 2,6$ kezdeti koncentrációránál nagyobb frontalak elnyúlás jön létre a szélesebb reakcióedények esetén. A reaktáns- és a termékoldatok felületi feszültségének értéke közti különbség lecsökkent 4 °C-on. A 25 °C-ról 4 °C-ra történő hőmérséklet-csökkenés a kialakult mintázat hosszának, vagyis a keveredési hosszának a csökkenését eredményezte, valamint a felületi feszültség különbség csökkenésének következtében az instabilitás megszűnését okozta.

5. Az értekezés témakörében megjelent közlemények

1. T. Rica, É. Pópity-Tóth, D. Horváth, Á. Tóth

Double-diffusive cellular fingering in the horizontally propagating fronts of the chlorite-tetrathionate reaction,

Physica D-NONLINEAR PHENOMENA **239**, 831-837 (2010).

IF = 1,555

2. É. Pópity-Tóth, D. Horváth, Á. Tóth

The dependence of scaling law on stoichiometry for horizontally propagating vertical chemical fronts,

J. Chem. Phys. **135**, 074506 (2011).

IF = 2,920

3. É. Pópity-Tóth, D. Horváth, Á. Tóth

Horizontally propagating three-dimensional chemo-hydrodynamic patterns in the chlorite-tetrathionate reaction,

(megjelenés alatt Chaos) (2012).

IF = 2,081

4. É. Pópity-Tóth, V. Pimienta, D. Horváth, Á. Tóth

Marangoni instability in the iodate-arsenous acid system,

(előkészületben J. Chem. Phys.) (2012).

(IF = 2,920)

$\Sigma_{IF} = 6,556$

6. Előadások és poszterek az értekezés témakörében

1. T. Rica, É. Sz. Tóth, D. Horváth, Á. Tóth

Density fingering of autocatalytic reactions in polyelectrolytes,

2nd ESF Conference on Functional Dynamics,

Rothenburg ob der Tauber, Germany, 2008. (poszter)

2. T. Rica, É. Sz. Tóth, D. Horváth, Á. Tóth

Self-organization of reactive surfaces in an acid-catalyzed autocatalytic reaction,

- Self-assembly and self-organization at surfaces and interfaces,
Cambridge, England, 2008. (poszter)
3. Pópity-Tóth É., Horváth D., Tóth Á.
Diffúzió instabilitás vizsgálata a jodát-arzenessav reakcióban,
XXXII. Kémiai Előadói Napok,
Szeged, 2009. (előadás)
 4. É. Pópity-Tóth, D. Horváth, Á. Tóth
Scaling laws of convective patterns in autocatalytic reactions,
Women Chemists and Innovation in the Visegrad Countries,
Keszthely, 2010. (poszter)
 5. E. Czeglédi, É. Pópity-Tóth, D. Horváth, Á. Tóth
Diffusion coefficient measurement in polyelectrolytes and hydrogels,
Women Chemists and Innovation in the Visegrad Countries,
Keszthely, 2010. (poszter)
 6. Pópity-Tóth É., Horváth D., Tóth Á.
Konvektív mintázatok skálázási törvénye a jodát-arzenessav rendszerben,
XXXIII. Kémiai Előadói Napok,
Szeged, 2010. (előadás)
 7. D. Horváth, É. Pópity-Tóth, Á. Tóth
Marangoni instability in the iodate-arsenous acid system,
ESA Workshop on chemo-hydrodynamic instabilities at interfaces,
Szeged, 2011. (előadás)
 8. Á. Tóth, É. Pópity-Tóth, D. Horváth
Stoichiometry-dependent scaling-law in the IAA system,
ESA Workshop on chemo-hydrodynamic instabilities at interfaces,
Szeged, 2011. (előadás)
 9. Pópity-Tóth É., Horváth D., Tóth Á.
Marangoni instabilitás a jodát-arzenessav reakcióban,
XXXIV. Kémiai Előadói Napok,
Szeged, 2011. (előadás)

10. D. Horváth, É. Pópity-Tóth, Á. Tóth
Horizontally propagating three-dimensional chemo-hydrodynamic patterns,
ESA Workshop on chemo-hydrodynamic patterns and instabilities,
Brussels, Belgium 2012. (előadás)
11. Pópity-Tóth É.
Instabilitások tanulmányozása autokatalitikus reakciókban,
Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottság,
Siófok, 2012. (előadás)
12. É. Pópity-Tóth, D. Horváth, Á. Tóth
Horizontally propagating three-dimensional chemo-hydrodynamic patterns in the chlorite-tetrathionate reaction,
Oscillations and Dynamic Instabilities in Chemical Systems,
Waterville, USA, 2012. (poszter)