

A konvektív instabilitás tanulmányozása homogén és pórusos közegben a klorit-tetrationát rendszerben

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Schuszter Gábor

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

Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem, Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

2013

1. Bevezetés és az értekezés célkitűzései

A minket körülvevő világ folyamatos mozgásban van akár a természetes, akár a mesterséges környezetünkre gondolunk. Ezen mozgások közé tartozik a folyadékok áramlása is, mint például a tengeráramlatok, vagy a kőolajvezetékekben szállított ásványi olaj továbbítása, tehát mindenképpen elengedhetetlen a tudomány számára, hogy figyelmet fordítson az anyagtranszporttal kapcsolatos jelenségekre és azok részletes tanulmányozására. Amennyiben a külső behatások nélküli közegmozgást vizsgáljuk a viszkozitás, a felületi feszültség, és a sűrűségkülönbség által kifejtett hatásokat kell figyelembe vennünk.

Munkám során az érintkező folyadékok sűrűségkülönbsége miatt kialakuló makroszkópikus áramlást, a konvekció jelenségét vizsgáltam. Az ezen a területen végzett kémiai kutatásokban közkedvelt az autokatalitikus reakciók használata, aminek oka, hogy a kísérletet térben és időben lejátszatva egy éles határ alakul ki a termékek és a reaktánsok között, amely frontszerűen végighalad az egész közegen. A front két oldala között állandó sűrűségkülönbség jön létre, ami a körülményektől függően befolyásolja a folyadékok áramlását.

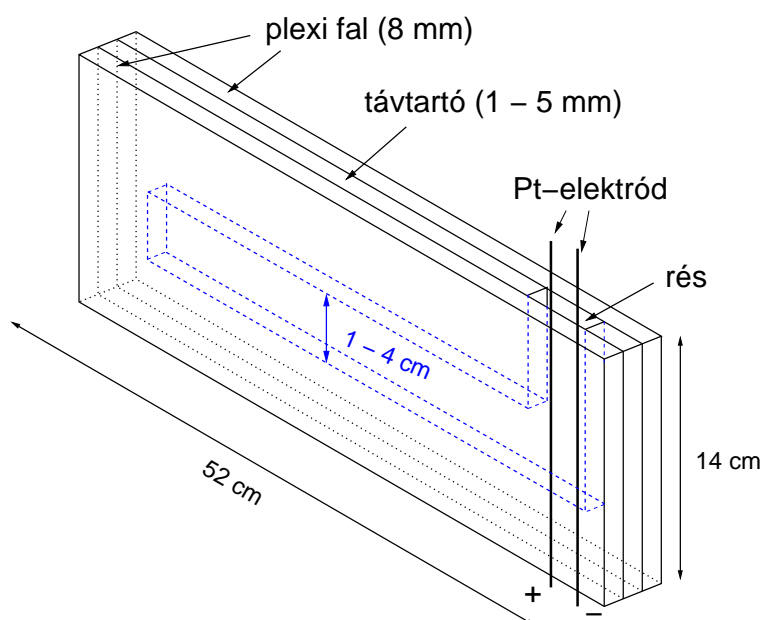
Mindenki számára egyértelmű, hogy egy függőleges csőben nagyobb sűrűségű folyadékra kisebb sűrűségű folyadékot rétegezve a közöttük levő határfelület stabil marad. Amennyiben a két közeget fordítva rétegezzük egymásra, kellően keskeny térrész esetén a felület szintén stabil, ám a réteg vastagságát növelve, a nagyobb sűrűségű anyag, kiszorítva a másikat, elkezd süllyedni és ezáltal konvekciót indukál. A jelenséget leíró konvekciós gyűrűk száma a réteg méretének növekedésével nő. Amennyiben a két eltérő sűrűségű folyadék vízszintesen elhelyezett csőben függőleges, sík felület mentén érintkezik egymással, a réteg méretétől függetlenül a folyadékhatár megdőlését tapasztaljuk. Ismét konvekció alakul ki, ami vékony oldatréteg esetén, izoterm körülmények között egyetlen konvekciós gyűrűvel írható le.

Kísérleteim során vízszintesen elhelyezett edényben függőlegesen indított frontokat vizsgáltam a klorit-tetracionát autokatalitikus reakcióban, ahol az egyik keletkező termék, a hidrogénion, a reakció katalizátoraként van jelen, így elősegíti a saját képződését. A folyamatot izoterm körülmények között lejátszatva a termékek sűrűsége nagyobb a reaktánsokénál, ugyanakkor a reakció exoterm, tehát hőfelszabadulással jár, ami a termékek sűrűségének lokális csökkenését eredményezi, amennyiben nem biztosítjuk a megfelelő hőelvonást.

A korábbiakban elméleti úton azt jósolták, hogy a létrejövő alakzatot leíró keveredési hossz a folyadék magasságának négyzetével arányos, ezért munkám egyik alapvető célja ezen függvénykapcsolat helyességének kísérleti megvizsgálása volt. Másrészt a reakcióban felszabaduló hőnek, valamint a homogén közeg pórusosra cserélésének a mintázatra gyakorolt hatását is tanulmányoztam. Végezetül meghatároztam a rendszerre háromdimenziós körülmények között jellemző alakzat áramlási profilját.

2. Kísérleti rész

A konvektív instabilitást a klorit-tetrationát autokatalitikus reakcióban vizsgáltam Hele-Shaw edény segítségével, ami egymástól egy változtatható méretű távtartóval elválasztott két plexi lapból áll, amint azt az 1. ábra szemlélteti. Az így kialakított térrészbe a reaktánsoldatot pipetta segítségével adagoltam be. A reakciófront indítására két platinaelektród szolgált, melyeken öt másodpercig 3 V feszültségkülönbséggel elektrolizálva a folyamat katalizátora az inicializáláshoz szükséges mennyiségben előállítható volt. Pórusos közegű vizsgálatokhoz is ezt a berendezést használtam annyi módosítással, hogy a töltetet kialakító boroszilikát gyöngyöket a reakcióedény összeszerelése előtt egy csipesszel, manuálisan a részbe helyeztem, és egyrétegű, szoros illeszkedésüket biztosítottam. A 3 °C -ra termosztált kísérleteknél a Hele-Shaw edényre



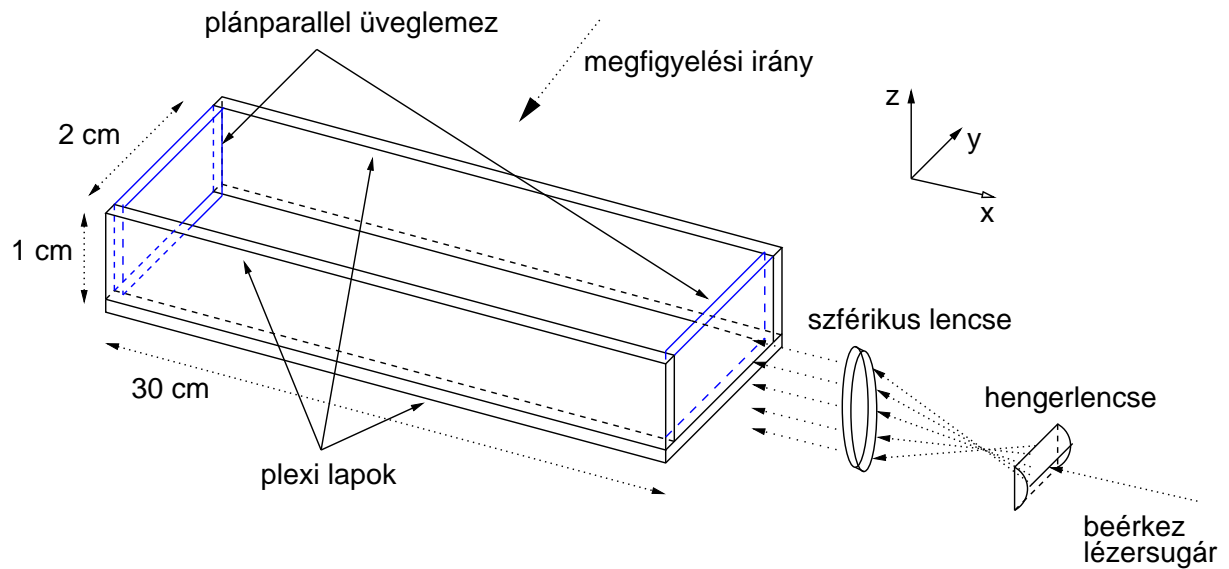
1. ábra. A Hele-Shaw reakcióedény sematikus rajza.

kívülről hűtőköpenyt szereltem, melyben glikol és víz 1:3 térfogatarányú elegyét áramoltattam egy hűtő-fűtő termosztát segítségével (Heto HMT 200). A hőmérséklet állandósulása érdekében a mérés előtt 20 perccel kezdtem meg a hűtést, és az oldatokat, valamint a gyöngyöket is hűtőszekrényben tároltam.

Az áramlási mező feltérképezéséhez egy külön erre a célra kialakított cellát használtam, melyet a 2. ábrán mutatok be. A mérés elvének lényege, hogy a folyadékba kémiailag inert, mikroméretű, a reakció ideje alatt nem kiülepedő részecskéket juttatva, a szilárd felületen a folyadékon keresztül bocsátott fény szóródik, és a részecske mozgása láthatóvá válik. A megfelelő fény biztosításához 532 nm hullámhosszú zöld lézert (Roithner LaserTechnik - CW532-100) használtam, melynek nyalábját két gyűjtőlencse segítségével egy síkba fókuszáltam, ahol

a sugarak párhuzamosan haladtak. A reakcióedényt pozícionálható asztalra helyeztem, és a folyadéknak mindig a kívánt metszetét világítottam meg.

A kísérleteket CCD kamera segítségével (Sony DFW-X710 és Unibrain Fire-I620b) követtem nyomon, a készített felvételeket pedig számítógépen tároltam a későbbi kiértékelésig.



2. ábra. Részecske-képen alapuló sebesség-meghatározási módszer kísérleti elrendezése.

3. Alkalmazott kiértékelési módszerek

A reakciókban kialakuló frontalakzat jellemzéséhez első lépésként a kamera által készített felvételeket egy olyan programmal dolgoztam fel, amely minden egyes ponthoz a fényessége alapján egy szürkeségi értéket rendelt. Ezen függvénynek a hely szerinti első deriváltja határozta meg a front adott pillanatbeli helyzetét. Pórusos kísérletek esetén egy aluláteresztő szűrőt (Fourier-szűrő) is alkalmaztam, amely a gyöngyök méretéből adódó kis hullámhosszú jelet távolította el a spektrumból. Az így előállított frontprofil időbeni haladása alapján a front sebességét ki tudtam számítani, ismerve a felvételek között eltelt időt.

Következő lépésként az átlagos frontpozíciót határoztam meg, melynek szórásaként definiáltuk a keveredési hosszat, ami így a front összes pontját figyelembe véve, mennyiségileg jellemezte az alakzatot. A mintázat másik fontos tulajdonsága az átlagos frontalak, melyet akkor kaptunk meg, ha minden egyes pozícióból kivontuk az átlagos frontpozíciót – ezzel kiküszöbölve az időbeni előrehaladást – és azokat a front terjedési irányával párhuzamosan átlagoltuk.

Az áramlási mező feltérképezésekor a felvétel képpontjait részterületekbe sorolva, a fényintenzitások alapján szürkeségi értékeket rendeltem egyesével a pontokhoz egy házi készítésű program segítségével. Két egymás után készített kép, azaz két szürkeségi érték-hely függvény térbeli korrelációját gyors Fourier-transzformáció segítségével állapítottam meg a következő tulajdonságot használva:

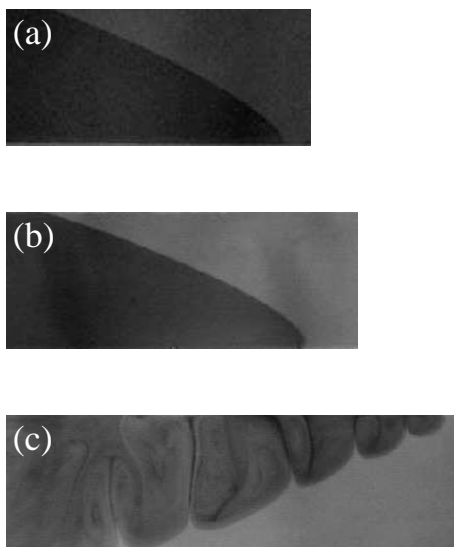
$$f(m,n) \circ g(m,n) \Leftrightarrow F(\xi,\eta)G^*(\xi,\eta), \quad (1)$$

ahol a g a t időpontban, az f pedig a $t + dt$ időpontban készített képet leíró függvény, a F az f függvény Fourier-transzformáltját, és a G^* a g függvény Fourier-transzformáltjának komplex konjugáltját jelenti. Ezt követően minden részterülethez hozzárendelhető volt egy vektor a korrelációs függvény maximumának helye alapján, amely az áramlás irányát és nagyságát is mutatta. Ezen vektorokat az áramlási sebesség és a térbeli elhelyezkedés ismeretében megfelelően összegezve az egész közeg mozgását jellemezni tudtam a szilárd részecskéken bekövetkező fényszórást hasznosítva.

4. Új tudományos eredmények

- I. *Vízszintesen haladó függőleges síkfrontot indítva 3 mm-nél vastagabb folyadék rétegek esetén a reakcióban fejlődő hő hatására kialakuló termikus dilatáció megakadályozza az állandósult mintázat kialakulását.* [1]

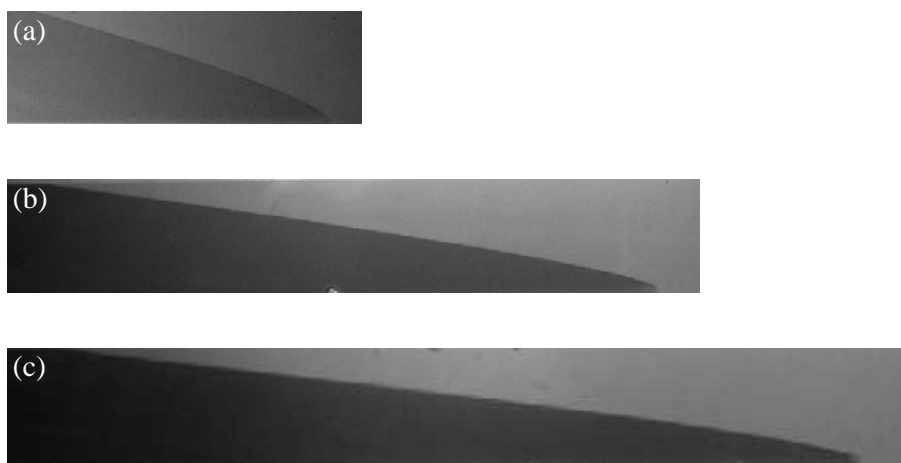
A sűrűségkülönbség által indukált konvekció jelenségét a klorit-tetrationát autokatalitikus reakcióban vizsgáltam, ahol a létrejövő áramlást két hatás együttese fejt ki. Egyrészt, ha a reakciót izoterm módon hajtjuk végre, akkor elmondható, hogy a termékoldat nagyobb sűrűségű mint a reaktánsoldat, másrészt a reakció exotermicitása miatt a termékoldat sűrűsége csökken a hőmérséklet emelkedésével. A két sűrűségváltozás ellentétes előjelű a termékoldatra nézve, vagyis összetett konvekció felelős a mintázat kialakulásáért. A közeg hőmérsékletének emelkedése 1 és 2 mm folyadékvastagság esetén még nem elég nagymértékű ahhoz, hogy a termék és a reaktáns sűrűségviszonyait megváltoztassa (3. ábra (a) és (b) része), ám 3 mm vastag távtartó esetén a fejlődő hő hatása a mintázatra már domináns jelentőségű. A reakciófront tovahaladásával a termék hűlni kezd, sűrűsége nő, és folyamatosan süllyed az edény alja felé. Ezen hatások együttesének következménye a 3. ábra (c) részén látható alakzat létrejötte.



3. ábra. Az 1 (a); 2 (b); és 3 (c) mm vastag és 4 cm magas távtartó esetén, szobahőmérsékleten végrehajtott kísérletekben kialakuló mintázatok. Az alkalmazott koncentrációk a reaktánskeletben: $[K_2S_4O_6]_0 = 5,00$ mM, $[NaClO_2]_0 = 20$ mM, $[NaOH]_0 = 2,5$ mM és $[kongóvörös]_0 = 0,057$ mM. Sötétebb színnel a termékoldat, világosabbal a reaktánsoldat látható.

II. A klorit-tetrathonát reakcióban 3 mm vastag folyadékrétegben a fejlődő hő hatása 3 °C -ra történő termosztálással eliminálható, és egy állandó alakkal és sebességgel terjedő mintázat jön létre. [1]

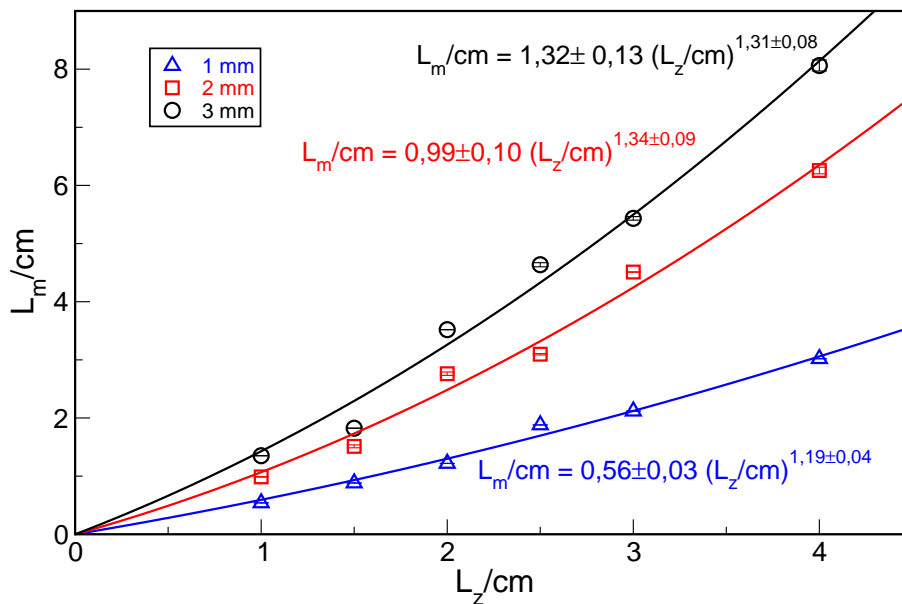
Annak igazolására, hogy a 3. ábra (c) részén bemutatott mintázat valóban a hőmérséklet emelkedése közben kialakuló sűrűségcsökkenés hatására jön létre, a reakciót az előzőekkel megegyező körülményeket biztosítva, 3 °C -ra termosztálva hajtottam végre. A 4. ábrán látható felvételek alapján elmondható, hogy termosztálással eliminálva a termékekben bekövetkező hőmérsékletemelkedés okozta sűrűségcsökkenést, a létrejövő alakzat a reaktánsok és a termékek között fennálló izotermikus sűrűségviszonyoknak megfelelő, csak az elnyúltsága nő a rendszer hőmérsékletének csökkentéséből származó sűrűségnövekedés miatt.



4. ábra. Az 1 (a); 2 (b); és 3 (c) mm vastag és 4 cm magas távtartó esetén, 3 °C-on végrehajtott kísérletekben kialakuló mintázatok. Az alkalmazott koncentrációk a reaktánskegelyben: $[K_2S_4O_6]_0 = 5,00$ mM, $[NaClO_2]_0 = 20$ mM, $[NaOH]_0 = 2,5$ mM és $[kongóvörös]_0 = 0,057$ mM. Sötétebb színnel a termékoldat, világosabbal a reaktánsoldat látható.

III. Skálázási törvény áll fenn a keveredési hossz és az oldatmagasság között a különböző folyadékvastagságú, és kiindulási összetételű klorit-tetrationát frontreakcióban. [1] [2]

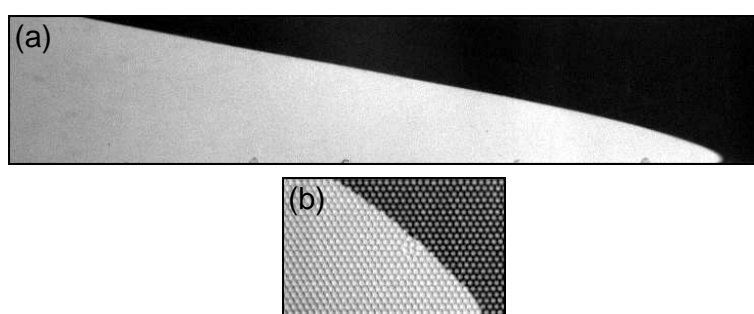
Anne De Wit és munkatársai közleményükben elméleti számítások alapján azt jósolták, hogy az alakzatot mennyiségileg leíró keveredési hossz (L_m) – az átlagos frontpozíció szórása – az edénymagasság (L_z) négyzetével arányos, ezért nagy számú reakciót vizsgáltam a kísérleti paraméterek szisztematikus változtatásával, hogy ezen függvénykapcsolat helyességét megállapítsam. A kísérleteket három különböző kálium-tetrationát kiindulási koncentrációt alkalmazva hajtottam végre ($[K_2S_4O_6]_0 = 3,75 \text{ mM}; 5,00 \text{ mM}; \text{ és } 6,25 \text{ mM}$), melyekhez a megfelelő arányú, kis sztöchiometriai feleslegben lévő nátrium-klorit koncentrációt biztosítottam. A Hele-Shaw edény távtartóját változtatva 1; 2; és 3 mm vastag és 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; és 4,0 cm magas reakcióteret tudtam kialakítani. A mérések alapján elmondható, hogy a keveredési hossz edénymagasságtól való függése szignifikánsan eltér a négyzetes arányosságtól minden alkalmazott koncentráció esetén. A $[K_2S_4O_6]_0 = 5 \text{ mM}$ -nak megfelelő összetételű reaktánskegelyre vonatkozó mérési adatokat az 5. ábrán tüntetem fel.



5. ábra. A keveredési hossz értékek az edénymagasság függvényében három különböző edényvastagság esetén, $3 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra termosztált kísérletekben, $[K_2S_4O_6]_0 = 5 \text{ mM}$ -nak megfelelő összetételnél. A folytonos vonalak a hatványfüggvény-illesztés eredményét mutatják.

IV. Az egyrétegű, szoros illeszkedésű pórusos közegben állandó sebességgel és alakkal haladó front jön létre, melyre a homogén folyadékrétegekéhez hasonló skálázási törvény érvényes. [3]

A folyadékok áramlását a pórusos közeg befolyásolja, ezért az általam vizsgált reakciót különböző méretű boroszilikát gyöngyökből felépített pórusos rendszerben is végrehajtottam, hogy a közeg mintázatra gyakorolt hatását jellemezni tudjam. Azt tapasztaltam, hogy az alakzat elnyúltsága jelentősen csökken, amit a konvekció reakcióter-feldarabolódás miatti gyengülése okoz. Ennek a ténynek az illusztrálására szolgál a 6. ábra, ahol azonos hőmérsékleten, azonos kiindulási koncentráció mellett és megegyező méretű részben lejátszott reakciók összehasonlítása látható.

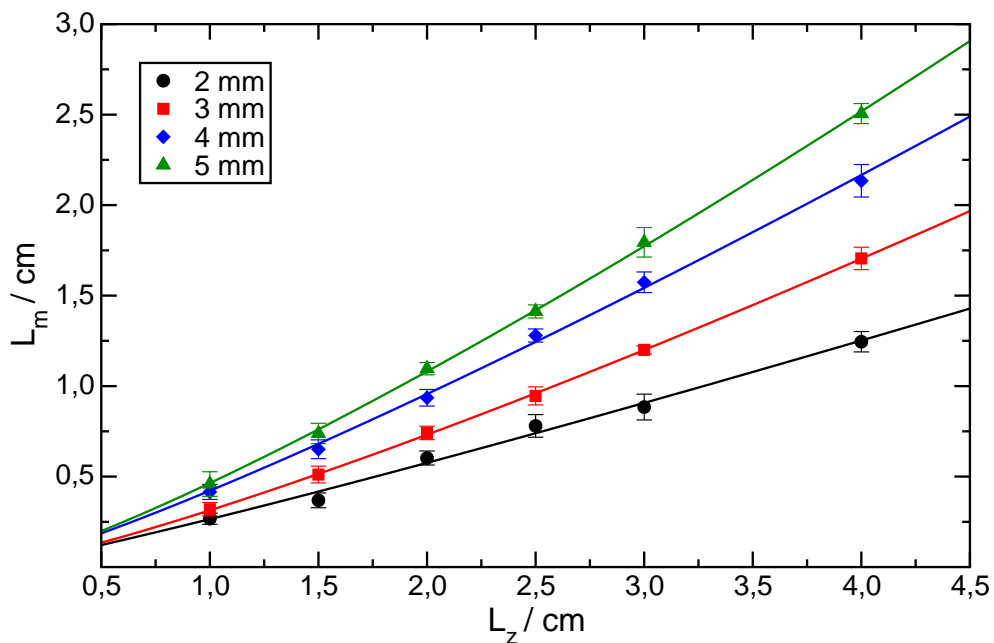


6. ábra. A homogén (a), és a pórusos (b) közegben kialakuló stabil alakzat összehasonlítása 4 cm magas és 2 mm vastag távtartó esetén, 3°C-ra termosztált reakciókban. Az alkalmazott koncentrációk a reaktánskelemben: $[K_2S_4O_6]_0 = 5,00$ mM, $[NaClO_2]_0 = 20$ mM, $[NaOH]_0 = 2,5$ mM és $[brómfenolkék]_0 = 0,08$ mM. Világosabb színnel a termékoldat, sötétebb színnel a reaktánsoldat látható.

A közeg permeabilitásának hatását a reakciófront alakjára és sebességére a töltetet felépítő gyöngyök méretének változtatásával vizsgáltam. A rés szélessége minden esetben egyenlő volt az aktuálisan alkalmazott gyöngy átmérőjével, ezzel is biztosítva a lehető legszorosabb illeszkedést. Számolásokkal és mérésekkel egyaránt igazoltam, hogy a gyöngyök méretétől függetlenül, egyrétegű szoros illeszkedés esetén, a közeg porozitása kísérleti hibán belül állandó, ugyanakkor a permeabilitás, azaz a rendszer áteresztő képessége a gyöngyök méretének növekedésével párhuzamosan nő, vagyis ennek a paraméternek a változtatása hat ki a mintázat alakjára. A hatványfüggvények illesztésének eredményeit az 1. táblázatban foglaltam össze, a keveredési hossz edénymagasságtól való függését leíró görbéket pedig a 7. ábrán mutatom be. A táblázat adataiból kitűnik, hogy a keveredési hossz edénymagasságtól való függését leíró egyenletben a hatványkitevők értéke kísérleti hibán belül állandó, míg az együtthatók a gyöngyök méretével együtt növekednek, mely tükrözi azt a megfigyelést, hogy a permeabilitás növekedése a reakciófront elnyúlását vonja maga után.

1. táblázat. Az arányossági tényező (A) és a hatványkitevő (B) a keveredési hosszát leíró egyenletben ($L_m = AL_z^B$), valamint az arányossági tényező (C) és a hatványkitevő (D) a frontsebességet leíró egyenletben ($v = CL_z^D$) különböző átmérőjű (d) gyöngyökből alkotott inhomogén rendszer esetén.

d (mm)	A	B	C	D
2	$0,265 \pm 0,018$	$1,12 \pm 0,06$	$0,448 \pm 0,007$	$0,124 \pm 0,016$
3	$0,314 \pm 0,005$	$1,22 \pm 0,01$	$0,536 \pm 0,018$	$0,202 \pm 0,035$
4	$0,422 \pm 0,016$	$1,18 \pm 0,03$	$0,680 \pm 0,010$	$0,203 \pm 0,016$
5	$0,464 \pm 0,009$	$1,22 \pm 0,02$	$0,852 \pm 0,034$	$0,355 \pm 0,049$



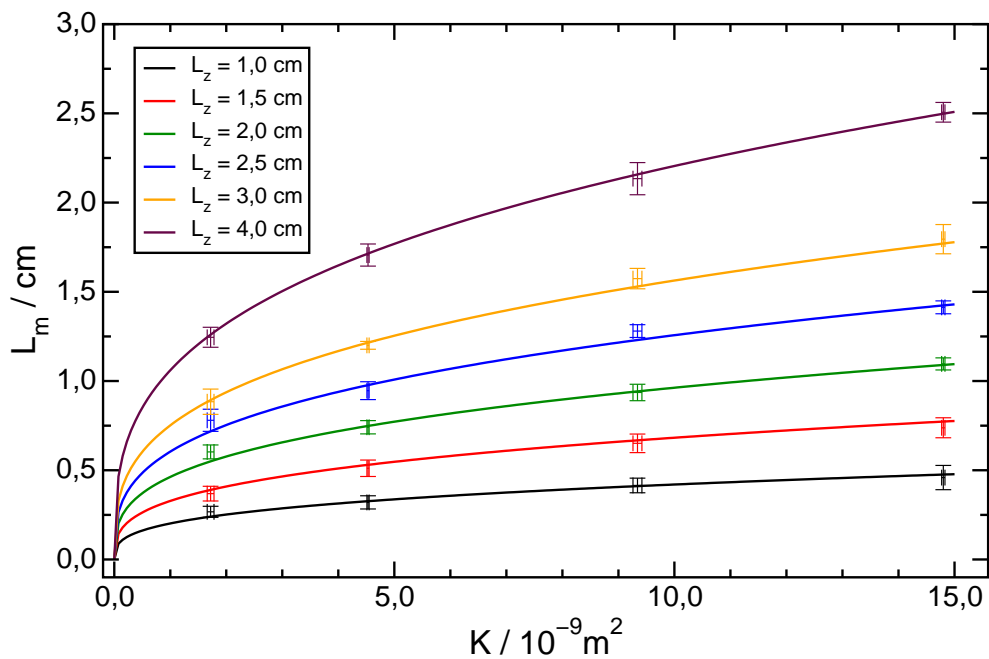
7. ábra. A keveredési hossz az edénymagasság függvényében pórusos közegben, 3 °C-on végzett kísérletek esetén, különböző vastagságú távtartók használatakor. A folytonos vonal a hatványfüggvény-illesztés eredményét mutatja.

V. Pórusos közegben a különböző folyadékvastagság,- és magasság esetén kialakuló mintázatokra a közeg permeabilitásától függő skálázási törvény írható fel a keveredési hossz és az oldatmagasság között. [3]

A különböző kísérleti paraméterek alkalmazásával végrehajtott reakciók esetén meghatározott keveredési hosszakat a közeg permeabilitásának függvényében vizsgálva, és a pontokra hatványfüggvényt illesztve a görbék egyenletében megfigyelhető tendencia lehetővé teszi a

$$L_m / \text{cm} = (0,20 \pm 0,01) (L_z / \text{cm})^{1,20 \pm 0,02} (K / 10^{-9} \text{m}^2)^{0,30 \pm 0,02} \quad (2)$$

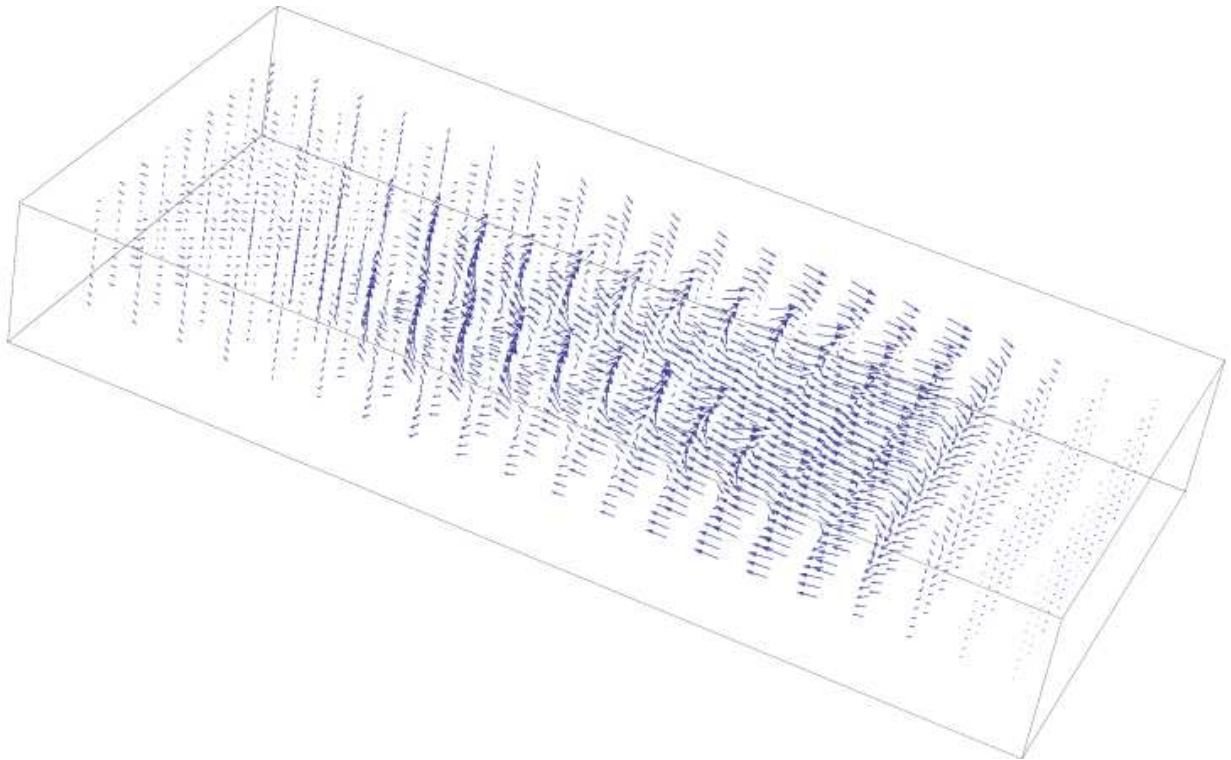
egyenlet szerinti illesztést, melynek az eredményét a 8. ábrán tüntettem fel.



8. ábra. A keveredési hossz (L_m) az alkalmazott közeg permeabilitásának (K) a függvényében különböző edénymagasságok esetén. A folytonos vonal a közös egyenlet szerinti hatványfüggvény-illesztés eredményét mutatja.

VI. A klorit-tetrationát reakcióban 20 mm vastag folyadékréteg esetén a reakciófront mögött erős feláramlás jön létre, ami a haladási irányra merőleges síkban az alakzat feldarabolódását eredményezi.

A kísérleti berendezés összeállítását követően a különböző pozíciókban megvilágított reakciók esetén kapott áramlási vektorokat összegeztük. Ehhez a front terjedési sebességét, felülnézeti alakját, és az edény falától mért távolságát használtuk fel, így az áramló folyadék teljes háromdimenziós áramlási profiljához jutottunk, amit a 9. ábrán mutatok be. Az edény fala közelében az áramlás egy hosszan elnyúló, a front elején erőteljesen lefelé mutató konvekciós gyűrűvel írható le. Távolodva a faltól a gyűrű rövidül és így intenzitása növekedik, melynek köszönhetően közvetlenül a front mögött egy erős feláramlás alakul ki. A folyadéktér középső részein pedig egy második, az elsővel megegyező irányban keverő hatást kifejtő gyűrű is megfigyelhető. Ezek együttese felelős a kísérletileg tapasztalt, felülnézeti V alakzat létrehozásáért.



9. ábra. A háromdimenziós áramlási profil a klorit-tetrationát reakcióban. Az ábrázolt front magassága 6,3 mm, szélessége 16 mm, hossza pedig 41 mm.

5. Az értekezés témakörében megjelent közlemények

1. Rongy, L; Schuszter, G; Sinkó, Z; Tóth, T; Horváth, D; Tóth, Á; De Wit, A,
Influence of thermal effects on buoyancy-driven convection around autocatalytic chemical fronts propagating horizontally
Chaos, **19**, 023110 (2009). (IF=1,795)
2. Schuszter, G; Tóth, T; Horváth, D; Tóth, Á,
Convective instabilities in horizontally propagating vertical chemical fronts
Physical Review E, **79**, 016216 (2009). (IF=2,400)
3. Schuszter, G; Horváth, D; Tóth, Á,
Convective instabilities of chemical fronts in close-packed porous media
Chemical Physics Letters, **546**, 63-66 (2012). (IF=2,337)

$$\Sigma_{IF} = 6,532$$

6. Előadások és poszterek az értekezés témakörében

1. Tamara Tóth, Gábor Schuszter, Zita Sinkó, Dezső Horváth and Ágota Tóth
Scaling law of stable single cells in density fingering of chemical fronts
Gordon Research Conference on Oscillations and Dynamic Instabilities in Chemical Systems konferencia, Waterville, USA, 2008. (poszter)
2. Schuszter Gábor, Horváth Dezső, Tóth Ágota
A konvektív instabilitás vizsgálata pórusos közegben
XXXIV. Kémiai Előadói Napok, 2011. (előadás)
3. Schuszter Gábor, Horváth Dezső, Tóth Ágota
A konvektív instabilitás vizsgálata pórusos közegben
MTA RKFMB ülés, Gyöngyöstarján, 2011. (előadás)
4. Gábor Schuszter, Dezső Horváth, Ágota Tóth
Convective instability in horizontally propagating reaction fronts
ESA Topical Team meeting on Chemo-hydrodynamic Patterns and Instabilities ülés, Brüsszel, 2012. (előadás)

5. Gábor Schuszter, Dezső Horváth, Ágota Tóth
Convective instability in the three-dimensional chlorite tetrathionate system
ESA Topical Team meeting on Chemo-hydrodynamic Patterns and Instabilities ülés, Brüsszel, 2013. (előadás)
6. Gábor Schuszter, Dezső Horváth, Ágota Tóth
Convective instability in the three-dimensional chlorite tetrathionate system
Solvay workshop on Patterns and hydrodynamic instabilities in reactive systems, Brüsszel, 2013. (poszter)
7. Schuszter Gábor, Pópity-Tóth Éva, Damásdi Eszter, Pengő Edit, Tóth Ágota, Horváth Dezső
Háromdimenziós áramlási profil meghatározása a klorit-tetrationát autokatalitikus reakcióban
XXXVI. Kémiai Előadói Napok, 2013. (előadás)

7. Az értekezés témakörén kívül megjelent egyéb közlemények

1. Rica, T; Schuszter, G; Horváth, D; Tóth, Á,
Tuning density fingering by changing stoichiometry in the chlorite-tetrathionate reaction
Chemical Physics Letters, **585**, 80-83 (2013). (IF=2,145)

8. Előadások és poszterek az értekezésen kívüli egyéb témakörben

1. Eszter Tóth-Szeles, Tamás Bujdosó, Bíborka Bohner, Gábor Schuszter, Dezső Horváth and Ágota Tóth
Horizontally growing precipitation patterns in flow-driven systems
Chemical Gardens konferencia, Leiden, Hollandia, 2012. (poszter)
2. Eszter Tóth-Szeles, Tamás Bujdosó, Bíborka Bohner, Gábor Schuszter, Dezső Horváth and Ágota Tóth
Horizontally growing precipitation patterns in flow-driven systems
Gordon Research Conference on Oscillations and Dynamic Instabilities in Chemical Systems konferencia, Waterville, USA, 2012. (poszter)

3. Schusztter Gábor, Laufer Noémi
Oldószerpárolgás hatása szén nanocsőfilmek elektromos ellenállására
XXXV. Kémiai Előadói Napok, 2012. (előadás)
4. Schusztter Gábor, Laufer Noémi
Oldószerpárolgás hatása szén nanocsőfilmek elektromos ellenállására
MTA RKFMB ülés, Gyöngyöstarján, 2012. (előadás)
5. Muráth Szabolcs, Schusztter Gábor, Tóth Ágota
Kezdő lépések a réteges kettős hidroxidok képződési mechanizmusának felderítésére
XXXVI. Kémiai Előadói Napok, 2013. (előadás)
6. Eszter Tóth-Szeles, Tamás Bujdosó, Bíborka Bohner, Gábor Schusztter, Dezső Horváth
and Ágota Tóth
Horizontally growing precipitation patterns in flow-driven systems
Emergence in Chemical Systems 3.0 konferencia, Anchorage, Alaszka, 2013. (poszter)

Társszerzői lemondó nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom, hogy a jelölt téziseit ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozat megszerzéséhez nem használtam fel, és tudomásul veszem, hogy ezt a jövőben már nem tehetem meg.

.....
Dr. Horváth Dezső

.....
Dr. Tóth Ágota

Alulírott nyilatkozom, hogy Sinkó Zita és Tóth Tamara a jelölt téziseit ismeri, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozat megszerzéséhez nem használta fel, és tudomásul veszi, hogy ezt a jövőben sem teheti meg.

.....
Dr. Tóth Ágota