

Zárójelentés

Átmenetifém-katalízis a klórfenolok teljes kémiai lebontásában

vezető kutató neve: **Dr. Lente Gábor**

Időtartam: **2005-2008**

Azonosító: **F 49498**

kutatóhely: Debreceni Egyetem, TTK, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék

A jelentést megírásához vezérfonalnak a megjelent publikációk és megtartott előadások téma szerinti rendezését használjuk fel. A projekthez kapcsolódóan született (már megjelent) publikációk és konferenciaelőadások számszerű összegzése a következő:

7 lektorált közlemény tudományos folyóiratban

1 könyvrészlet

2 egyetemi meghívásos előadás

11 konferenciaelőadás vagy poszter

6 akadémia munkabizottsági előadás

Várható még: 3 vagy 4 lektorált közlemény tudományos folyóiratban, 2-5 előadás akadémiai munkabizottsági ülésen és konferencián

1. Általános publikációk és előadások a témában

Gábor Lente: Iron complexes as catalysts in the total chemical destruction of chlorophenols, előadás, *ELTE Szervetlen Kémiai szemináriumsorozat*, 2005. október 13, Budapest

Lente Gábor: Vas(III)-komplexek katalitikus szerepe klórfenolok teljes kémiai lebontásában, előadás, *SzTE Szervetlen Kémiai szemináriumsorozat*, 2006. november 9, Szeged

Lente Gábor: Vízoldható vas(III)-porfirin komplex katalitikus hatása klórfenolok kémiai lebontásában, előadás, *az MTA Koordinációs Kémiai Munkabizottságának ülése*, 2007. december 10, Budapest

Gábor Lente: 'Oxidation of Halogenated and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons using Rhenium-Based Catalysts', 'My Fulbright Experience' Dietz, K. (ed.), Hungarian-American Commission for Educational Exchange, Budapest, 2006, pp. 77-90, ISBN: 963 216 798 8.

A pályázat időtartama alatt három általános előadásban mutattuk be egyetemi illetve munkabizottsági felkérésre a projekt eredményeit. Ezekben nagyrészt a vas(III)-komplexek

katalitikus szerepére koncentráltunk. Ezen kívül a projekt időtartama alatt jelent meg a közvetlen előzménynek számító, 2002-2003-ban végzett Fulbright-ösztöndíjas munkám összefoglalásáról népszerű formában írt beszámoló egy könyvrészlet formájában. A könyvrészletet még 2004-ben, a projekt indulása előtt véglegesítenem kellett, így az OTKA támogatásáért benne nem mondhattam benne köszönetet.

2. A Fe^{III} (TPPS) komplex reakciója hidrogén-peroxiddal és peroxomonoszulfáttal

Lente Gábor, Fábíán István: Fe(TPPS) vízoldható porfirin reakciója hidrogén-peroxiddal és peroxomonoszulfáttal, előadás, az *MTA Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottságának ülése*, 2005. április 28-29, Balatonalmádi

Lente Gábor, Fábíán István: Fe^{III}(TPPS) vízoldható porfirin sztöchiometrikus és katalitikus reakciói hidrogén-peroxiddal és peroxomonoszulfáttal, *40. Komplexkémiai Kollokvium*, 2005. május 18-20, Dobogókő

Gábor Lente and István Fábíán: Kinetics of the reaction between water-soluble iron(III) porphyrin Fe(TPPS) and hydrogen peroxide, *Inorganic Reaction Mechanisms Meeting*, IRMM-35, 4-7 January 2006, Kraków, Poland

Gábor Lente, István Fábíán: Kinetics and Mechanism of the Oxidation of Water Soluble Porphyrin Fe^{III}TPPS with Hydrogen Peroxide and Peroxomonosulfate Ion, *Dalton Transactions*, **2007**, 4268-4275.

A Fe^{III} (TPPS) komplex és a hidrogén-peroxid illetve peroxomonoszulfát-ion reakcióinak részletes kinetikai és sztöchiometriai vizsgálatát végeztük el. Az eredmények háromlépéses oxidációs mechanizmust támasztottak alá, amelyben két szerves köztitermék jelenik meg. Ezeknek a köztitermékeknek elvégeztük a spektrális jellemzését, s szerkezetükre javaslatot tettünk. Kimutattuk, hogy a Fe^{III} (TPPS) hatékonyan katalizálja a klórfenolok oxidációját hidrogén-peroxid vagy peroxomonoszulfát-ion jelenlétében, s a katalitikusan aktív részecskék azonosak a klórfenolok nélkül megvizsgált folyamat köztitermékeivel.

3. Spektrofotométerek fényének hatása a kén(IV) autooxidációjában

Ildikó Kerezsi, Gábor Lente, István Fábíán: Sulfur(IV) autoxidation enlightened, *Inorganic Reaction Mechanisms Meeting*, IRMM-35, 4-7 January 2006, Kraków, Poland

Kerezsi Ildikó, Lente Gábor, Fábíán István: Fény derült a kén(IV) autooxidációjára, *41. Komplexkémiai Kollokvium*, 2006. május 31 - június 2., Mátrafüred

Ildikó Kerezsi, Gábor Lente, István Fábíán: Kinetics of the light-driven aqueous autoxidation of sulfur(IV) in the absence and presence of iron(II), *Dalton Transactions*, **2006**, 955-960

Ildikó Kerezsi, Gábor Lente, István Fábíán: Kinetics and Mechanism of the Photoinitiated Autoxidation of Sulfur(IV) in the Presence of Iodide Ion, *Inorganic Chemistry*, **2007**, *46*, 4230-4238.

A projekt nem szorosan klórfenolokhoz kapcsolódó része volt egy újszerű kísérleti módszer fejlesztése, melynek lényege diódasoros spektrofotméterek felhasználása fotokémiai reakciók tanulmányozására. Magát a hatást és ezen alapulva a fotokémiai vizsgálatok lehetőségét még a projekt előtt leírtuk egy közleményben a klórfenolok oxidációjának nagy jelentőségű köztitermékei, a klórozott kinonok fotokémiájáról írt cikkünk kapcsán (Lente, G.; Espenson, J. H. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **2004**, *163*, 249-258.). Talán ez a kísérleti irány bizonyult a projekt legsikeresebb részének, a később ismertető 6. pont is ezen alapul. A szulfition és oxigén fotoreakcióját vizsgáltuk közvetlenül és vas(II)ionok jelenlétében. Ezen eredmények igen hasznosan kiegészítették a szulfition autooxidációja terén korábban végzett munkánkat, s fontos adalékkal szolgáltak a kén(IV) reakcióinak légkörkémiai modellezéséhez. További adatokat a kén-dioxid és az oxigén vizes oldatban bekövetkező, jodidion által katalizált reakciója révén nyertünk. Ennek segítségével újból megerősítettük azt, hogy az autooxidáció láncmechanizmussal zajlik, amely általában nulladrendű az oldott oxigén koncentrációjára nézve. A kísérleti eredményeken alapulva a fotoiniciált láncmechanizmusok új aspektusaira is sikerült felhívni a figyelmet. Kerezsi Ildikó 2006-ban megvédett PhD értekezése, amelynek társtémavezetője voltam, ezen a munkán alapul.

4. A peroxomonoszulfát-ion reaktivitásának kinetikai sajátosságai

Lente Gábor, Bellér Gábor, Kalmár József, Baranyai Zsuzsa, Kun Alíz, Kék Ildikó, Fábián István: A peroxomonoszulfát-ion reakciói egyszerű szervesetlen redukálószerrel, előadás, az *MTA Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottságának ülése*, 2006. november 2-3, Gyöngyöstarján

Gábor Lente, Gábor Bellér, József Kalmár, Zsuzsa Baranyai, Alíz Kun, Ildikó Kék, István Fábián: Reactions of the peroxomonosulfate ion with simple inorganic reducing agents, *Gordon Research Conference, Inorganic Reaction Mechanisms*, February 18 - 23, 2007, Ventura, CA, USA.

Lente Gábor, Bajusz Dávid, Takács Marcell, Veres Lilla, Fábián István: A peroxomonoszulfát-ion reakciói halogenidionokkal, előadás, az *MTA Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottságának ülése*, 2007. október 25-26, Gyöngyöstarján

Gábor Lente, Dávid Bajusz, Marcell Takács, Lilla Veres, István Fábián: *Reactions of the peroxomonosulfate ion with halide ions*, 37th Inorganic Reaction Mechanisms Group Meeting, January 9-12, 2008, Barcelona, Spain

Gábor Lente, József Kalmár, Zsuzsa Baranyai, Alíz Kun, Ildikó Kék, Dávid Bajusz, Marcell Takács, Lilla Veres, István Fábián: One vs. Two Electron Oxidation with Peroxomonosulfate Ion: Reactions with Iron(II), Vanadium(IV), Halide ions, and Photoreaction with Cerium(III), *Inorganic Chemistry*, **2009**, *48*, 1763-1773.

A 2. pontban ismertett vizsgálatok befejezése után úgy ítélt meg, hogy a peroxomonoszulfát-ion alapvető kinetikai tulajdonságai sincsenek meggyőzően tisztázva, ezért egy jelentős erőfeszítéssel és sok hallgató bevonásával járó kísérletsorozatban elkezdtük egyszerű (elsősorban egyelektronos) szervesetlen redukálószerrel való reakcióinak kinetikai tanulmányozását. Mechanizmusjavaslatot tettünk a klorid-, bromid- és jodidionnal, a vanádium(IV)- és vas(II)ionokkal történő redukciós folyamatokra, valamint részletesen tanulmányoztuk a Ce(III) és a peroxomonoszulfát-ion közötti, fény hatására lezajló reakciót.

Eredeteileg ezen vizsgálatok sorába illeszkedett a ferroin - peroxomonoszulfát-ion reakció vizsgálata is, de ennek eredményei jóval messzebbre mutatnak, ezért külön pontban ismertetem őket. A fentebb összefoglalt publikációkon kívül ezen munka alapján 3 diploma- és 1 TDK-munka született, valamint középiskolai hallgatók bekapcsolódása révén 1 TUDOK regionális előadás, 1 második díjjal jutalmazott TUDOK poszter és 1, az Országos vegyésznapokon II. díjjal kitüntetett előadás is született.

5. A ferroin/ferrin rendszer kémiájának különlegessége

Bellér Gábor, Lente Gábor, Fábián István: A peroxomonoszulfát-ion reakciója ferroinnal, 42. *Komplexxémiai Kollokvium*, 2007. május 23 - 25.

Bellér Gábor, Lente Gábor, Fábián István: Redukció oxidálószer hatására? A ferroin egy meglepő reakciója, 43. *Komplexxémiai Kollokvium*, 2008. május 28-30, Siófok

Bellér Gábor, Lente Gábor, Fábián István: Redukció oxidálószer hatására? A ferroin egy meglepő reakciója, előadás, az *MTA Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottságának ülése*, 2008. november 6-7

A klórozott fenolok oxidációjának egyelektronos oxidálószerrel történő vizsgálata terén logikusnak tartottuk volna azok a ferroin bevonását a vizsgálati körbe. Azonban ennek mind előállításával, mind stabilitásával kapcsolatban az általunk ismert irodalomból egyértelműen nem következő megfigyeléseket tettünk. Ugyanakkor a peroxomonoszulfát-ion reakcióinak vizsgálatát is szeretnénk volna kiterjeszteni egy nehezen oxidálható, koordinatíva telített vas(II) komplexre is. Ez is oka volt annak, hogy elkezdtük a ferroin - peroxomonoszulfát-ion reakciót tanulmányozni, amelynek a ferroin a terméke. Ennek kapcsán igen érdekes és váratlan kinetikai jelenségeket tapasztaltunk, amelyek a ferroin/ferrin rendszer speciális sajátágaival vannak kapcsolatban. Ezért időigényes és aprólékos munkával felderítettük, mi okozza a ferroin előállításában az irodalomból is nyilvánvaló jelentős nehézségeket. 2008 végére sikerült a már korábban is ismert ólom-dioxidos eljárás finomításával olyan módszert kidolgoznunk, amely révén reprodukálható kísérleteket tudunk végezni ferroinnal. Kimutattunk hogy egy korábban fel nem ismert, igény lényeges hatást: a fenantrolin-mono-N-oxid (a fenantrolin ligandum oxidált formája) jelentősen befolyásolja általában is a ferroin és ferroin reakcióit. Ezen hatásnak eredetére egyértelmű adataink vannak: a fenantrolin-mono-N-oxid katalizálja a ferroin diszproporcióját. Ezeket a vizsgálatokat a fent említettek előadásokon kívül Bellér Gábor két TDK-értekezésben foglalta eddig össze.

Várható további publikációk: Úgy érzem, 2009 elejére sikerült eljutnunk oda, hogy ismereteink már kellő mélységűek a közlemény formájában való publikációhoz. Ez valószínűleg két külön cikk formájában történik majd: az elsőben a ferroin előállításával kapcsolatos felismeréseinket és az oxidált ligandum döntő szerepét fogjuk leírni, a másodikban pedig kinetikai modellt alkotunk a ferroin és a peroxomonoszulfát-ion közötti reakcióra. Reményeim szerint mindkét tervezett közlemény rangos nemzetközi folyóiratban jelenik majd meg (*Inorganic Chemistry*, *Dalton Transactions* vagy *Journal of Physical Chemistry*).

6. Fotokémiai hatások a jód-klorátion rendszerben

Galajda Mónika, Lente Gábor, Fábíán István: Fotokémiai hatások a klorátion–jód reakcióban, előadás, az MTA Reakciókinetikai és Fotokémiai Munkabizottságának ülése, 2007. április 26-27, Balatonalmádi

Mónika Galajda, Gábor Lente, István Fábíán: Photochemically confused exotic phenomena in the chlorate ion – iodine system, *37th Inorganic Reaction Mechanisms Group Meeting*, January 9-12, 2008, Barcelona, Spain

István Fábíán, Gábor Lente, Ilidkó Kerezsi, Mónika Galajda: Light as a Controlled Reactant: Studying Photoinitiated Reactions in a Diode Array Spectrophotometer, *The Eighth International Symposium on NEW TRENDS IN CHEMISTRY and Second Congress of the Federation of African Societies of Chemistry (FASC)*, January 3-7, Giza, Egypt, 2009

Mónika Galajda, Gábor Lente, István Fábíán: Photochemically induced autocatalysis in the chlorate ion-iodine system, *Journal of the American Chemical Society*, **2007**, *129*, 7738-7739

Gábor Lente, István Fábíán, György Bazsa: What is and what isn't a clock reaction?, *New Journal of Chemistry*, **2007**, *31*, 1707-1707.

Ugyancsak a diódasoros spektrofotométerek fotokémiai használatával kapcsolatos kísérletsorozatunk részeként igen érdekes megállapításokra jutottunk, amikor az irodalomban már közölt, klorátion és jód közötti reakció kinetikájának felderítése céljából végzett kísérleteket reprodukálni próbáltuk. Megállapítottuk, hogy az eredeti vizsgálatot végzők figyelmét elkerülte az, hogy a redoxireakciót az általuk használt spektrofotométer fénye inicializálja. Ezt a lényegi felismerést és az ezt értelmező mechanizmust ugyanabban a folyóiratban publikáltuk, ahol az eredeti közlemény megjelent. A reakció kapcsán egy másik, elméleti jellegű cikkben kifejtettük a véleményünket arról, hogy mikor nevezhető egy kémiai reakció órareakciónak.

7. A Fe^{III} (TAML) komplex reakcióinak vizsgálata

Lente Gábor, Deák Szabina, Fábíán István: Fe^{III} (TAML) komplex reakciója hidrogén-peroxiddal, *41. Komplexkémiai Kollokvium*, 2006. május 31 - június 2., Mátrafüred

Victor Polshin, Delia-Laura Popescu, Andreas Fischer, Arani Chanda, David C. Horner, Evan S. Beach, Jennifer Henry, Yong-Li Qian, Colin P. Horwitz, Gábor Lente, István Fábíán, Eckard Münck, Emile L. B: Attaining Control by Design over the Hydrolytic Stability of Fe-TAML Oxidation Catalysts, *Journal of the American Chemical Society*, **2008**, *130*, 4497-4506.

A Fe^{III} (TAML) komplex és a hidrogén-peroxid reakciójának részletes kinetikai vizsgálatát Terry Collins, a Carnegie Mellon University (Pittsburgh, Pennsylvania, USA) professzorának kutatócsoportjával együttműködésben végezzük, akik az egyébként csak igen hosszadalmas munkával előállítható vegyületet számunkra térítésmentesen hozzáférhetővé tették. Tekintettel a vegyület kereskedelmi értékére, az eredmények publikációja csak a csoportvezető professzor hozzájárulásával lehetséges. Saját eredményeinkről beszámolót írtunk, amelyben részletes mechanizmust javasoltunk a Fe^{III} (TAML) savi diszociációjára és

H₂O₂-vel való reakciójára. Ennek alapján megegyezésünk szerint az amerikai partner fogja tudományos közleményekben ismertetni az eredményeket, amelyben a magyar résztvevő társszerző lesz. Ezen közlemények első darabja a fent megjelölt, *J. Am. Chem. Soc.*-ban megjelent cikk, amely a Magyarországon végzett kísérletek elég csekély hányadáról számol csak be. Ezért várható, hogy további közlemények jelennek meg majd ebben a témában.

A 2,4,6-triklórfenol Fe^{III}(TAML) által katalizált oxidációjának kinetikai leírására már jelentős mennyiségű kísérleti adatot gyűjtöttünk. Egy hallgató (Várad Tamás, vegyészmérnök BSc) ilyen témában adta be szakdolgozatát 2009 januárjában. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a korábbi, fenol nélküli vizsgálatainkban a rendszerben már feltételezett vas(V)-oxo típusú közti termék valószínűsíthető a katalizátor aktív formájának. Ezt a közti terméket a Fe(TAML) komplexet az komplexet előállító amerikai kutatócsoportnak a körülmények módosításával, alacsony hőmérsékleten végzett kísérletek során sikerült izolálnia és kristályszerkezetét meghatározni. A vizsgálatok során egy érdekes, egyelőre nehezen értelmezhető, és kísérleti problémákat is okozó tapasztalat az, hogy a fenol hozzáadása a vártakkal ellentétben gyorsítja a hidrogén-peroxid Fe^{III}(TAML) által katalizált bomlását.

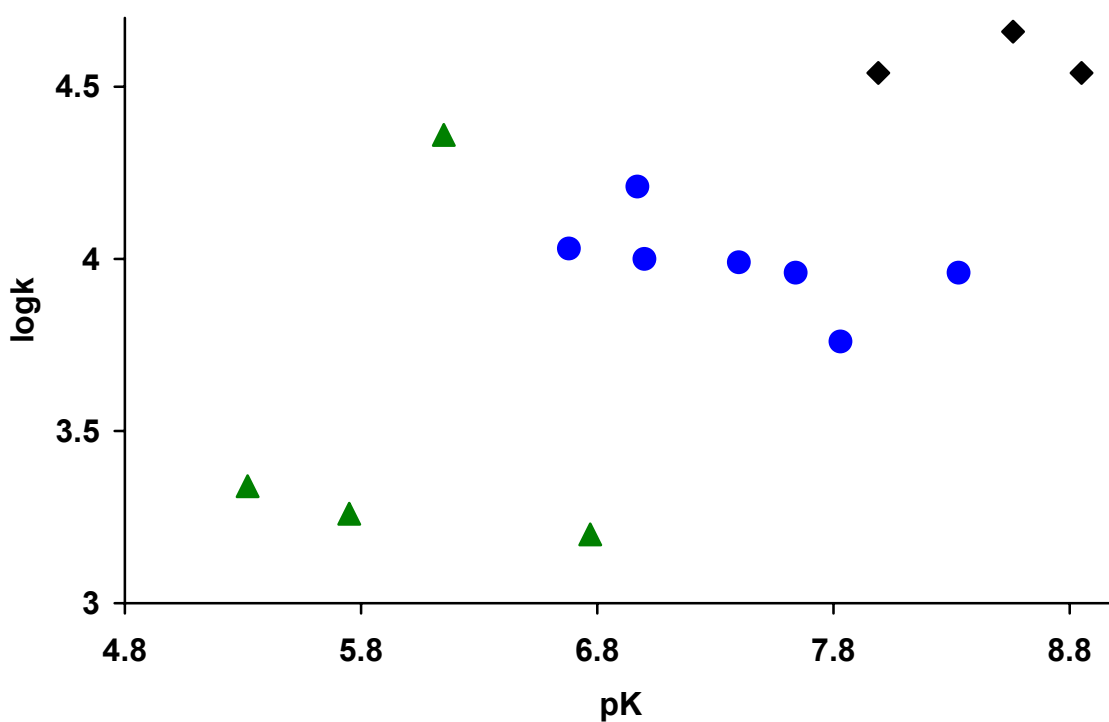
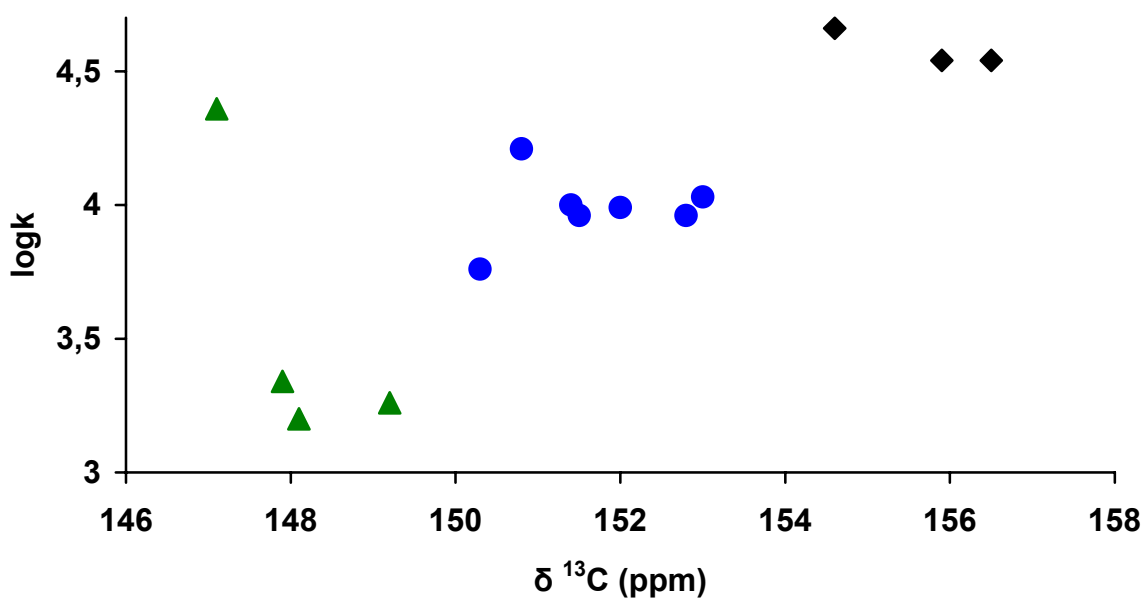
Várható további publikációk: Összesgében úgy érzem, ezen a területen az elmúlt négy évben a mi laboratóriumunkban jelentős kísérleti munka folyt, amely alapján a folyamatok mechanizmusának megismerése szempontjából nagy előrelépés történt. Csalódást keltett viszont az eredmények igen lassú publikációja. Ennek elsődleges oka minden bizonnyal az amerikai partner üzleti érdekeinek védelme. Kétségesnek látom, hogy az együttműködés hosszabb távon is folytatódik majd. Becslésem szerint a már meglévő eredmények alapján születhet még egy-két publikáció igen rangos folyóiratban.

8. A klórfenolok reakciói egyelektronos oxidálószerrel

A klórozott fenolok oxidációs mechanizmusának mélyebb megértése céljából kísérletsorozatot végeztünk egyelektronos erős oxidálószerrel. Ir(IV) komplexekkel való vizsgálataink egyelőre nem várt nehézségekbe ütköztek. Cérium(IV)-gyel viszont jelentős kísérleti munkát végeztünk, ennek alapján született egy diplomamunka (Ballai Csaba, vegyész, 2009. január). Összesen 14 különböző klórfenol reakcióját vizsgáltuk az oxidálószer által megkövetelt erősen savas pH-tartományban.

Spektrofotometriás titrálással igazoltuk, hogy a Ce(IV):klórfenol sztöchiometriai arány minden esetben 2:1 a vizsgált reakcióban. Néhány esetben a tanulmányozottnál jóval lassabb reakcióban a terméket is oxidálja a feleslegben lévő Ce(IV). A tanulmányozott folyamat általában néhány másodperc alatt lezajlik, ezért kinetikáját stopped-flow módszerrel vizsgáltuk a Ce(IV) elnyelésének követésével. Méréseink során bebizonyítottuk, hogy mindkét reaktánsra nézve elsőrendű a reakció, s a reakciósebesség a 0,1 M – 0,5 M koncentrációtartományban független a kénsav koncentrációjától. Mindebből arra következtethetünk, hogy a folyamat sebességmeghatározó lépése a Ce(IV) és a klórfenol közötti hidrogénatom-transzfer reakció.

A mérési eredmények alapján nem találtunk jelentős korrelációt a sebességi állandók és a ¹³C NMR kémiai eltolódásokkal vagy a klórfenolok pK_a-i között (ld. a következő ábrákat).



Ezek igen meglepő eredmények, mert korábban hasonló jellegű reaktivitás-szerkezet tanulmányok általában mutatták valamelyik korrelációt.

Várható további publikációk: A meglévő eredményeket - csekély kiegészítés, különösen a vizsgált klórfenolok listájának kiteljesítése után - alkalmasnak látom színvonalas folyóiratban (pl. *J. Org. Chem.*) való publikációra.

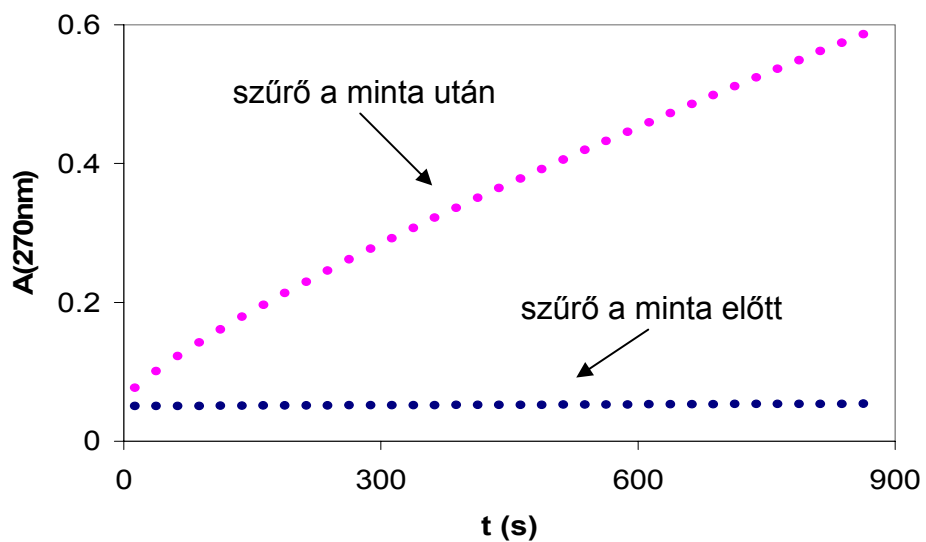
9. Halogenidionok fotoreakciói diódasoros spektrofotométerben

A klórfenolok oxidációjával kapcsolatban az is felmerült, hogy bizonyos kísérleti körülmények között, különösen nagy intenzitású fényt használó spektrofotométerekben végzett mérések esetén a keletkező kloridion fény hatására bekövetkező oxidációja befolyásolhatja a megfigyeléseket. Ezért független és részletesen vizsgálatokat végeztünk a kloridion fotoreakcióinak tanulmányozására saját kísérleti körülményeink között. Ezeket a vizsgálatokat más halogenidionokra, a bromid- és jodidionra is kiterjesztettük. Kalmár József 2007-ben TDK-dolgozatot írt az eredmények alapján. Ebben a halogenidionok savas kémhatású vizes oldatában polikromatikus fény hatására lejátszódó fotokémiai folyamatokat vizsgáltuk. Kinetikai méréseinket egy HP-8543 típusú diódasoros spektrofotométerben végeztük, mellyel egyidőben tudtuk iniciálni és a spektrális változások alapján követni a fotoreakciókat. A diódasoros fotométer alaposabb megismerése céljából végeztünk olyan kísérleteket melyekből a műszer néhány fontos tulajdonságára lehetett következtetni. Megállapítottuk, hogy a diódasoros detektorok hullámhosszanként, a fotonok beütésszámával arányos válaszjelet adnak; a fényforrásokból adott hullámhosszúságú, időegység alatt kilépő fotonok száma Poisson-eloszlás szerint változik. A mért jel hibája nagyrészt a fotonszámolás hibájából származik kicsi beütésszámok mellett.

Rövid időintervallumon vizsgálva adott koncentrációviszonyok mellett a fotolízisek kinetikai görbéi egyenesek voltak. Vizsgáltuk a reakciók fényintenzitás-függését különböző optikai szűrők és változtatható átmérőjű rés segítségével. A reakciók fényintenzításra nézve elsőrendűek. Ha a folytonos megvilágításba sötét szakaszokat iktattunk, azt láttuk, hogy a sötét szakaszokban nulla a reakciósebesség, azaz a vizsgált fotolízisek nem láncreakciók. A reakciók hőmérsékletfüggése a várokozásoknak megfelelően csekély volt. Fotometriás vizsgálatokban a halogenidionokkal azonosítottuk a fotoreaktív részecskéket. Az oxidációs termékek az elemi halogének illetve a trihalogenidionok. A fotoreakciók során fotometriásan csak az utóbbiak voltak detektálhatók. Meghatároztuk a trihalogenidionok egyensúlyi állandóit és maximális moláris abszorbanciáikat. A fotolízisekhez kinetikai modellt javasoltunk, mely a reakciók pH függésével és az irodalmi előzményekkel összhangban van.

A hidrogén-jodid vizes oldatbeli fotolízisét részletesebben vizsgáltuk. Elemi oxigén részvételét a reakcióban nem tudtuk kimutatni. Hosszabb időtartamon követve a reakciót, jelentős sebességcsökkenést észleltünk, mely nem volt magyarázható a hidrogén-jodid koncentrációcsökkenésével. Kizártuk a trijodidion és az elemi jód fotoredukcióját. Részletesen vizsgáltuk a trijodidion belső szűrőhatásának következményeit a reakciósebesség csökkenésér, ehhez meghatároztuk a trijodidionok spektrumát a jodidionok elnyelési tartományában is, ami túl csekély volt. Végül a trijodidionokat öninhibítornak feltételezve pontosítottuk a kinetikai modellt, ami így már leírja az észlelt jelenségeket.

A vizsgált, talán érdekesnek és meglepőnek is mondható jelenéget demonstrálja a következő ábra, amelyen 0,322 M koncentrációjú HBr oldat fotolízise látható. A kísérlethez olyan optikai szűrőt használtunk, amely a termék bróm által elnyelt fényt nem, de a kiindulási bromidion által elnyelt fényt kiszűri. A bróm keletkezése tapasztalható akkor, ha a szűrőt a minta után helyezük a spektrofotométer fényútjába. Nincsen viszont reakció, ha a szűrőt a minta elé rakjuk:



Várható további publikációk: Eredményeink alkalmasak arra, hogy fizikai kémiai lapban (pl. *Phys. Chem. Chem. Phys.*) az értelmezés ellentmondásainak tisztázása után publikáljuk őket.