

Ph.D. értekezés tézisei

**KÖRNYEZETSZENNYEZŐ SZERVES ANYAGOK ADSZORPCIÓJA
HIDROFIL / HIDROFÓB RÉTEGSZILIKÁTOKON ÉS
FOTOKATALITIKUS LEBONTÁSUK TiO_2 SZUSZPENZIÓBAN**

**Farkas András Attila
okl. vegyész**

**Témavezető:
Dr. Dékány Imre
egyetemi tanár**

**Szegedi Tudományegyetem
Kolloidkémiai Tanszék
Szeged
2001**

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A különféle ipari és mezőgazdasági tevékenységek velejárójaként - olykor elkerülhetetlenül, még több esetben a felelőtlen működtetés következményeként - folyamatosan jelentős mennyiségű, gyakran erősen toxikus és biológiailag nem lebontható szennyező anyagok kerülnek a környezetbe, vizeinkbe. A szennyezett vizek nagy része napjainkban már megfelelő hatékonysággal tisztítható ugyan hagyományos biológiai ill. fizikai-kémiai módszerekkel, de növekvő méretű gondot jelent a nagy szerves anyag tartalmú vizek klórozása során keletkezett - nem ritkán mutagén, rákkeltő hatású - vegyületek jelenléte az ivóvizekben (pl. klórozott fenolszármazékok). Az újabb kihívásoknak megfelelő, hatékony, ugyanakkor gazdaságos víztisztítási technológiák kifejlesztésére megnövekedett tehát az igény.

A kémiai úton végrehajtott víztisztítási technológiák különféle technikai, egészségügyi vagy gazdasági okok miatt csak korlátozott számú kémiai adalékot használhatnak, főként olyanokat, melyeknek bomlástermékei természetes anyagok. További elvárás ezekkel az anyagokkal szemben, hogy viszonylag egyszerű technológiával - kis energiafelhasználás mellett - nagy mennyiségben előállíthatók és a szennyező anyagok megfelelően széles skálájával szemben eredményesen bevetethetők legyenek.

További probléma, hogy egyre gyakoribbá válnak az olyan jellegű szennyezések (tengervízbe ömlött olajmaradványok, szennyezett talajok stb.), ahol nem végezhető el *in situ* a szennyezők egyszerű fizikai eltávolítása.

Az ezen kihívásoknak megfelelni tudó módszerek születéséhez merőben új elgondolások megvalósítására van szükség, melyek egyike lehet az adszorpciós és az oxidációs technikák együttes alkalmazása. A két eljárás kombinációja lehetőséget teremthet a szennyezőanyagok megfelelő adszorbensen történő összegyűjtésére, szállítására, majd hatékony és gazdaságos lebontására.

Az adszorbens kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy a gazdaságossági szempontok (lehetőleg olcsón, nagy mennyiségben előállítható legyen) mellett megfelelően a különböző fizikai-kémiai elvárásoknak is (pl. megfelelő mértékben adszorbeálja a szennyezőket, ne dezaktiválja a technológiában alkalmazni kívánt fotokatalizátort, a megtisztított folyadékfázisú közegtől egyszerűen - pl. ülepítéssel - eltávolítható legyen stb.).

Az agyagásványok a talaj egyik legreaktívabb komponensei, melyek nagy fajlagos felületük és ioncserkapacitásuk révén szerves anyagokat képesek megkötni. A réteges szerkezetű agyagásványok különösen előnyös tulajdonsága, hogy szerkezetüket szuszpendált állapotban is megtartják. Kationos tenzidekkel történő hidrofóbizálással az agyagásványok felületi polaritása tetszőlegesen megváltoztatható, aminek következtében igen jól adszorbeálnak különböző polaritású szerves komponenseket. Ezek a felületmódosított, ún. organofil agyagásványok - melyek adszorpciós tulajdonságai kiválóan szabályozhatók a hidrofóbizáló réteg kémiai szerkezetével, illetve a felületi borítottsággal - a felsorolt követelményeknek kiválóan megfelelnek.

Mivel agyagásvány organokomplexek a természetben is képződnek (pl. kőolaj-tárolóközetekben), a rajtuk történő adszorpciós folyamatok megismerése a kapcsolódó ipari feladatokon (nagy mélységű szénhidrogén-előfordulások kitermelésére irányuló fejlesztési munkák) kívül talajtisztítási problémák megoldásában is hasznos lehet.

A kétkomponensű elegyekből és oldatokból történő szelektív adszorpcióval kapcsolatban számos kutatási eredmény áll rendelkezésünkre. Az elmúlt évtizedben a Szegedi Tudományegyetem Kolloidkémiai Tanszékén az ún. „híg oldatok” (korlátozottan elegyedő folyadékpárok - pl. vízben oldott szerves anyag) vizsgálata került előtérbe, nem utolsósorban fokozott környezetvédelmi jelentőségű kapcsán: ezen oldatok modellezik a toxikus szerves vegyülettel szennyezett vizet.

Az utóbbi években nagyhatékonyságú oxidációs eljárások összefoglaló néven fejlődésnek indult új technológiák alkalmazásakor ózonon, fotokémiai ill. katalitikus kémiai reakciókon alapuló oxidációs reakciókkal bontják le a szerves komponenseket. Az eljárások egyike, az ún. heterogén fotokatalízis dinamikusan fejlődő kutatási eredményeire napjainkban már a gyakorlat is megkülönböztetett figyelemmel tekint, ugyanis a kísérleti tapasztalatok egyértelműen azt mutatják, hogy megfelelő körülmények között bizonyos félvezetők (elsősorban a TiO_2) mind a napenergia kémiai energiává való átalakításában, mind pedig a rezisztens kémiai szennyező anyagok eltávolításában hatékonyan alkalmazhatók.

Környezetvédelmi problémák megoldására a nem-destruktív adszorpciós és destruktív oxidációs eljárások együttes, egymás utáni alkalmazása terén még viszonylag kevés publikáció jelent meg az irodalomban, munkámmal ezen kutatási eredményeket szerettem volna bővíteni.

Ennek megfelelően elsődleges célként tűztem ki módosított felületű rétegszilikát adszorbenseken környezetre ártalmas alifás és aromás szerves vegyületek híg vizes oldatokból történő adszorpciójának, illetve az organokomplexben adszorbeált szennyezők heterogén fotokatalitikus lebontásának tanulmányozását.

A szerves molekulák mennyisége az agyagásvány adszorbens szilikát-lamellái közötti térben az adszorpciós többletizoterma alapján számítható. Az interlamelláris tér térfogatának változása a lamellák közötti távolság mérésével követhető. Az alkilán-cok mennyiségének és térfogatának ismeretében a többletizotermák felhasználásával az interlamelláris tér összetétele is számítható, tehát a két független vizsgálat kombinálásával további információk nyerhetők az adszorpciós egyensúlyról és az adszorpciós réteg szerkezetéről. Mikrokalorimetriás mérésekkel közvetlen termodinamikai információhoz juthatunk az adszorpció lefolyását illetően. Amennyiben ez utóbbihoz megfelelő módszer nem áll rendelkezésünkre, az izotermák ismeretében a határfelületi adszorpciós réteg termodinamikai tulajdonságaira vonatkozóan a *Gibbs*-egyenlet felhasználásával nyerhetünk további információkat. Ezzel a módszerrel meghatározhatóak az adszorpciós szabadentalpiaváltozás-függvények, melyeket többletekkel kombinálva számíthatók az adszorpciós kapacitások is, melyeket híg oldatok adszorpciója esetén sok esetben nem lehet a *Langmuir* izoterma alapján meghatározni.

Munkám során először egy alifás szerves vegyület (n-pentanol) híg vizes oldatból történő adszorpcióját vizsgáltam - különböző tulajdonságú agyagásvány-felületek összehasonlíthatósága érdekében mind hidrofil, mind hidrofób jellegű felületen. A kísérletek tapasztalatai alapján ezeket a méréseket a komolyabb környezeti károk lehetőségét magában rejtő aromás szennyezők (nitro-benzol, klór-fenolok) híg vizes oldatokból történő adszorpciójának tanulmányozása követte, elsősorban hidrofób felületeken. A kísérletek befejező szakaszában azt vizsgáltam, hogy az adszorbeált aromás szennyező milyen hatékonyan távolítható el az organokomplexből heterogén fotokatalitikus lebontással, illetve a lebontási reakció után visszanyerhető-e az adszorbens.

Az eredmények gyakorlati alkalmazása céljából - társszerzőkkel - szabadalom benyújtása van folyamatban.

2. ALKALMAZOTT KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Anyagok. A vizsgált híg oldatok aromás és alifás szerves vegyületek (nitro-benzol, 2-klór-fenol, 4-klór-fenol, ill. n-pentanol) híg vizes oldatsorozatai voltak (analitikai tisztaságú vegyszerek, desztillált víz ill. a fotokatalitikus lebontás vizsgálatára irányuló kísérleteknél nagytisztaságú Milli-Q víz).

Adszorbensként a környezetben is nagy mennyiségben is rendelkezésre réteges szerkezetű, 2:1 típusú duzzadó agyagásványokat (montmorillonit ill. vermikulit) választottam, melyek sajátosságai a felületi jellemzők változtatásával nagymértékben befolyásolhatók. Az oldatsorozatokat elsősorban organofilizálással módosított felületű hidrofób adszorbenseken, n-hexadecil-piridinium-montmorilloniton (jele: HDP-montmorillonit) és n-oktadecil-ammónium-vermikuliton (jele: C₁₈-vermikulit) vizsgáltam, valamint hidrofil felületű Na-montmorilloniton és Ca-montmorilloniton végeztem összehasonlító vizsgálatokat. A szerves szennyező heterogén fotokatalitikus lebontását megcélzó kísérletekben HDP-montmorillonitra – már az adszorpció izoterma ismeretében – 2-klór-fenol ismert koncentrációjú vizes oldatát adszorbeáltattam, majd az egyensúly beállta után a szuszpendált agyagásványt leszűrtem, szárítottam és őröltem, előállítva ezzel a grammonként ismert mennyiségű szennyezőt tartalmazó komplexet.

A fotooxidációs kísérleteknél Degussa gyártmányú P25 titán-dioxidot használtam, aminek kiválasztását olcsó beszerezhetősége mellett a heterogén fotokatalitikus reakciókban tapasztalt igen nagy aktivitása indokolta.

Módszerek. Az adszorpció többletizotermákat statikus egyensúlyi oldat-adszorpció mérésekkel, immerziós módszerrel, Zeiss gyártmányú folyadékinterferométer segítségével határoztam meg. A mérések pontossága ± 0,8...5,5% volt. Az $n^{\sigma(n)} = f(x_{i,rel})$ adszorpció többletizotermákat mmol/g egységekben számítottam

ki az

$$n^{\sigma(n)} \equiv n^{\sigma(v)} = \frac{V^0 [10^{-3} dm^3]}{m[g]} \Delta c_i [mol/dm^3] / 1000$$

egyenletről a bemérések (m : adszorbens tömege, V^0 : a híg oldat térfogata [cm^3]) és az adszorpció egyensúly kialakulása során a tömbfázis összetételében bekövetkező Δc , abszolút koncentrációkülönbség ismeretében. A mérésekkel párhuzamosan nagyszögű röntgendiffrakciós mérésekkel is vizsgáltam az adszorpció folyamatokat. A száraz állapotú, valamint a vízben ill. hígítási sorozatokban szuszpendált adszorbenseken a bázislap-reflexiókat Philips röntgendiffraktométerrel (PW 1830 generátor, PW 1820 goniometer, CuK- α sugárzás: $\lambda = 154,18$ pm) vizsgáltam, $2\Theta = 1-10^\circ$ szórásszögtartományban, $\pm 0,01$ nm pontossággal. Az adszorpció cserélődési entalpiát LKB-2107 típusú izoterm szorpció mikrokaloriméterrel mértem, az integrális cserélődési entalpiaizotermát kummulatív módszerrel határoztam meg.

A szerves szennyező lebontására irányuló kísérletek első fázisában egy duplafalú, termosztálható, nyitott üvegcső szolgált reaktorként, amit 6 db, egyenlő távolságban elhelyezkedő 6 wattos UV lámpa vett körül, melyek 365 nm-nél sugároztak maximális intenzitással ($I = (9,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-6}$ einstein $\text{dm}^{-3} \text{s}^{-1}$). A kísérletek második fázisában végrehajtott méréseknél merülőlámpás termosztálható reaktorban egy 150 W-os nagynyomású higanygőzlámpa bocsátotta ki az UV-fényt, döntően 240-366 nm közötti hullámhossztartományban. (A legnagyobb intenzitású sugárzás 254, 265, 302, 313, és 366 nm-nél.)

A lebontási folyamat során a megvilágított szuszpenzióból meghatározott időnként vett mintákat röntgendiffrakciós méréseket és az alábbi analitikai vizsgálatokat végeztem el: folyadékkromatográfiás analízis (Merck-Hitachi L-7100 típusú pumpából és egy L-4250 UV-Vis detektorból álló kromatográf), összes szerves széntartalom (TOC) és klórtartalom (AOX) mérése (Euroglas TOC 1200 típusú készülék), pH-mérés, termogravimetriás elemzés (MOM Derivatograph Q-1500 D típusú termoanalitikai készülék).

3. AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

1. Na- és Ca-montmorillonit hidrofil felületű agyagásványokon a vizsgált alifás (n-pentanol) és aromás (nitro-benzol) szerves komponensre nézve egyaránt negatív adszorpció tapasztalható az összetétel tartomány kezdeti, hosszabb szakaszán, ami szükségszerűen a víz preferált adszorpcióját jelenti az ásvány felületén. A nagy felületi hidrofilitás következtében a vízmolekulák - különösen a Na^+ -ionok erős hidratációs tulajdonsága miatt - erősen kötődnek a felületi kationokhoz. A szerves komponensre vonatkozó negatív többlet maximális értéke csaknem két nagyságrenddel kisebb a Ca-montmorillonit esetén, aminek az az oka, hogy a Ca^{2+} -ionok "összekapcsolják" a lamellákat. Ennek megfelelően a bázislap-távolság csak kis mértékben (néhány tized nm) növekszik - a többletízotermákkal összhangban -, amit a szerves molekulák interkalációja okoz.

2. Az n-pentanol(1)-víz(2)/C₁₈-vermikulit rendszerben a teljes összetétel tartományban pozitív az adszorpció az oldott szerves komponensre nézve, azaz végig a pentanol adszorpciója preferált. A többletek nagysága a telítési tartományban 0,85 mmol/g. Az adszorpciós mérések eredményei a független mérésekből (röntgen-diffrakció, mikrokalorimetria) nyert eredményekkel jó korrelációt mutatnak. Az expanzió okozta bázislaptávolság-növekedés eléri az 1 nm-t. A klaszteres szerkezetű víz a hidrofób alkiláncok közötti térben az adszorbeálódó n-pentanol molekulákkal együtt alakítja ki a rétegek közötti struktúrát egy adott egyensúlyi összetételnél. A lamellák közötti tér szerkezetére vonatkozó számításaim szerint a víztartalom az összetétel tartomány jelentős részén gyakorlatilag állandó (az interlamelláris tér mintegy 30%-át teszi ki), miközben a szerves komponens mennyisége növekszik a tömbfázis koncentrációjának növekedésével. A szerves komponens feldúsulásának mértéke maximumgörbe szerint változik a tömbfázis összetételének függvényében.
3. Az integrális cserélődési entalpiaizoterma alapján az n-pentanol(1)-víz(2)/C₁₈-vermikulit rendszernél az adszorpciós folyamat endoterm: az exoterm adszorpciós hőt az interlamelláris expanzió és a vízkiszorítás okozta endoterm hőeffektusok túlkompenzálják. A cserélődési folyamat az adott körülmények között nem reverzibilis, az izoterma hiszterézishurokkal rendelkezik. Ennek magyarázata feltehetően az n-pentanol-víz klaszterek létrejöttében és „felbomlásuk” kinetikai gátlásában rejlik: az adszorbeált n-pentanol egy adott összetétel eléréséig lassabban tud az interlamelláris térből a tömbfázisba deszorbeálódni, mivel a felületen kötött alkiláncok immobilizálják az orientáltan adszorbeált amfil molekulákat.
4. Az n-pentanol(1)-víz(2)/HDP-montmorillonit rendszert szintén a szerves komponens preferált adszorpciója jellemzi a teljes relatív összetétel tartományban. Az adszorpciós többletizoterma szigmoid típusú görbe. A többletek nagysága a telítési móltört közelében meghaladja az 1,5 mmol/g értéket. A szilikátrétegek az adszorpciós folyamat során jelentős mértékben (>1,2 nm) eltávolodnak egymástól.
5. HDP-montmorillonit adszorbensen mindhárom vizsgált aromás szennyező (nitrobenzol, 2-klór-fenol, 4-klór-fenol) híg oldatánál a teljes relatív összetétel tartományban a szerves komponens pozitív adszorpcióját tapasztaltam ($n_1^{s(n)}$ maximális értékei 1-2,5 mmol/g között vannak). A két klór-fenol izomer közül a 2-klór-fenol nagyobb mértékű adszorpciójának oka az, hogy molekulája jobban polarizálható, ill. kisebb mértékű a szterikus gátló hatás, mint a 4-klór-fenol molekula esetén. Az *Everett-Schay* lineáris reprezentáció ill. az adszorpciós szabadentalpiaváltozás-függvények és többletizotermák kombinációja alapján meghatároztam a szerves komponensek adszorpciós kapacitását és a moláris szabadentalpiakülönbségeket.

6. Az adszorpciós kapacitások és a bázislaptávolság adatok kombinálásával következtettem az interlamelláris tér szerkezetére. A többletízotermák analízisével kapott eredmények a független röntgendiffrakciós mérések eredményeivel jó korrelációt mutatnak: minden rendszernél jelentős bázislaptávolság-növekedés tapasztalható, a görbe töréspontjai a többletek növekedésével összhangban vannak. A növekedés oka az aromás molekulák interkalációja az interlamelláris térben: a szerves szennyező molekulái behatolnak a szilikátlamellák közé, és szolvatálják a kationos tenzid alkilláncát. Az expanzió mértéke az aromás komponens anyagi minőségétől függően 0,9-1,5 nm közötti érték. Rendezett rétegekőzi szerkezet alakul ki, melynek átalakulásait három fázisban vázoltam: alacsony szerves szennyező koncentrációnál egy rétegű (monolayer) orientáció alakul ki, majd átmeneti állapot következik, melynek során az alkilláncok átfedik egymást, végül pedig kettősréteg (bilayer) orientáció jön létre (4-klór-fenol). Az adszorpciós és a röntgendiffrakciós mérések eredményeinek kombinálásával az adszorpciót expanziós és telítődési szakaszok váltakozásaként, lépcsős folyamat jellemezhetjük. A szerves komponens feldúsulásának mértékét jellemző hányados az aromás komponens kis móltörtjeinél akár 600-800 körüli érték is lehet.
7. Az oktadecilammónium-vermikulit adszorbensen szintén mindenhárom aromás szennyező esetén a teljes relatív összetétel tartományban pozitív az adszorpció a szerves komponensre nézve ($\eta_1^{\sigma(n)}$ maximális értékei 0,7-2,2 mmol/g között vannak). Az alkilammónium-montmorillonitnál tapasztaltakkal analóg módon viselkednek a rendszerek, a szerves anyag mennyiségének növekedésével a rétegek eltávolodnak egymástól, miközben az 55°-os orientációjú oktadecilammónium láncok között az aromás molekulák megkötődnek. Az expanzió nagysága 0,5-0,7 nm az aromás komponens anyagi minőségétől függően. A folyamat során az alkilláncok részben fedik át egymást, az így keletkező térrészekben lehetőség nyílik újabb aromás molekulák interkalációjára, melyek már többmolekulás adszorpciós réteget is alkothatnak. Az adszorpciós és a röntgendiffrakciós mérések eredményeinek kombinálásával szintén felfedezhetjük az adszorpció „lépcsőket” ill. a HDP-montmorillonittal végzett méréseknél tapasztaltakkal analóg jelenségeket (telítődés-expanzió váltakozása, feldúsulási hányados).
8. Ugyanazon szerves szennyező különböző anyagi minőségű és mennyiségű alkilláncot tartalmazó hidrofób rétegszilikáton mért anyag többlete a szerves szennyező anyagi minőségétől is jelentősen függ. A nitro-benzol pl. HDP-montmorilloniton jóval nagyobb mértékben adszorbeálódik, mint C₁₈-vermikuliton, ugyanakkor a 4-klór-fenol a vermikulit organokomplexén mutat nagyobb mértékű adszorpciót.
9. A HDP-organokomplexben adszorbeált 2-klór-fenol jelentős része a TiO₂-tartalmú szuszpenzióba vitel után szinte azonnal deszorbeálódik a vizes fázisba. A 18 órás, kis intenzitású megvilágítás hatására a szerves szennyező mennyisége az oldatban folyamatosan csökken, annak klorid tartalma – gyakorlatilag lineárisan –

növekszik. Az oldatfázisban aromás átmeneti terméként klór-hidrokinon, pirokatechol, illetve nyomnyi mennyiségben hidrokinon jelenik meg az átalakulás kezdetén. Hosszabb megvilágítási időknél alifás karbonsavak (ecetsav, hangyasav) és egyéb, igen kis koncentrációban jelenlevő oxigén-tartalmú alifás bomlástermékek is megjelennek. A 18 órás megvilágítás során a teljes szerves széntartalom (TOC) gyakorlatilag nem változik, azaz az adott körülmények között a szén-dioxidot eredményező teljes bomlás nem zajlik le, a bázislaptávolság viszont szignifikánsan csökken, ami azt mutatja, hogy a rétegek közül a 2-klór-fenol egy jelentős része deszorbeálódik, és kikerül az oldatba.

10. A szennyező teljes mineralizációjához lényegesen nagyobb intenzitású megvilágítást (nagynyomású higanygőzlámpa) kellett alkalmazni. A klór-fenol direkt fotolízise során lassú átalakulás indul meg a rendszerben. Titán-dioxid fotokatalizátor jelenlétében a 2-klór-fenol teljes mennyisége jóval rövidebb idő alatt – az adott kísérleti körülmények között 7 óra alatt – átalakult (aromás közttermékként a kis intenzitású megvilágításhoz hasonlóan klór-hidrokinon, pirokatechol, illetve hidrokinon jelent az oldatban) mind az adszorbenssel mind az adszorbens nélkül végzett kísérletnél: a nagy töménységű szuszpenzióban lévő adszorbens árnyékoló hatása az átalakulás szempontjából nem volt jelentős. Feltételezhető, hogy a közegben bekövetkező 2-klór-fenol átalakulás gyorsan követi a S/L határfelületen zajló dinamikus egyensúly beállítását, így a szerves szennyező titán-dioxid fotokatalizátor jelenlétében végbemenő oxidációja, nem pedig az organokomplexből való deszorpciója a sebességmeghatározó az átalakulás során. Ezt erősítik meg az AOX-mérések eredményei: a fotooxidáció során keletkező klordionok koncentrációjának változása az adszorbens nélküli és adszorbent tartalmazó kísérletek esetében ugyanolyan időbeli lefutású, tehát mindkét rendszernél szinte ugyanolyan gyorsasággal bomlik le a 2-klór-fenol.
11. A TOC analízis eredményeit a HPLC mérések eredményeivel összevetve megállapítható, hogy a szerves széntartalom csökkenése egyidőben áll meg a kiindulási 2-klór-fenol, ill. a belőle képződött bomlástermékek eltűnésével. Ezután a széntartalom már nem változik a rendszerben, azaz az organofilizáló HDP-kation nem bomlik el a vizsgált időtartamon belül.
12. A visszamaradó adszorbensen elvégzett röntgendiffrakciós és termoanalitikai vizsgálatok eredményei alapján az organofilizáló kationok a lebontás során gyakorlatilag változatlanul az adszorbensen maradnak, így az – gyakorlatilag regenerálás nélkül, tehát gazdaságosan – újra felhasználható. A 2-klór-fenol teljes mineralizációja során a környezetre nézve ártalmatlan szeretlen vegyületek (víz, HCl, CO₂) képződnek. Ezek a tények alapot adnak a kutatási eredmények környezetvédelmi gyakorlatban való kipróbálásához ill. a kutatások gyakorlati szempontú folytatásához.

4. PUBLIKÁCIÓS LISTA

Tudományos közlemények a témában

- 1) I. Dékány, A. Farkas, Z. Király, E. Klumpp, H.D. Narres
Interlamellar adsorption of 1-pentanol from aqueous solution on hydrophobic clay mineral.
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 119:7-13, 1996.
- 2) I. Dékány, A. Farkas, I. Regdon, E. Klumpp, H.D. Narres, M.J. Schwuger
Adsorption of nitrobenzene and n-pentanol from aqueous solution on hydrophilic and hydrophobic clay minerals.
Colloid and Polymer Science 274:981-988, 1996.
- 3) A. Farkas, I. Dékány
Interlamellar adsorption of organic pollutants in hydrophobic montmorillonite.
Colloid and Polymer Science 279:459-467, 2001.
- 4) Farkas, A., Dékány, I.
Szerves szennyezők interlamelláris adszorpciója organofilizált montmorillonit-adszorbensen.
Magyar Kémiai Folyóirat (közlésre elfogadva, 2001)
- 5) A. Farkas, I. Dékány
Interlamellar adsorption of organic pollutants on hydrophobic vermiculite.
Progress in Colloid and Polymer Science (közlésre elfogadva, 2001)
- 6) A. Farkas, K. Mogyorosi, I. Dékány, I. Ilisz, A. Dombi
Photocatalytic degradation of 2-chlorophenol adsorbed on hydrophobic clay in TiO₂ suspensions.
Environmental Science and Technology (közlésre benyújtva, 2001)
- 7) Dékány I., Dombi A., Farkas A., Mogyorósi K., Ilisz I.
Eljárás vizek szerves szennyezőinek fotooxidációs lebontására organofil bentonit alkalmazásával.
Magyar Szabadság (eljárás folyamatban, benyújtva: 2001. szeptember)

Tudományos közlemény témán kívül

S. Puskás, J. Balázs, A. Farkas, I. Regdon, O. Berkesi, I. Dékány
The significance of colloidal hydrocarbons in crude oil production Part 1. New aspects of the stability and rheological properties of water-crude oil emulsions.
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 113:279-293, 1996.

Előadások és poszterek nemzetközi és hazai konferenciákon

1) I. Dékány, A. Farkas, Z. Kiraly, E. Klumpp, H.D. Narres
Interlamellar adsorption of organic pollutants from water on hydrophobic clay minerals
209th ACS National Meeting
2-9 April, 1995, Anaheim, California, USA *Abstracts of papers coll. p116*

2) I. Dékány, A. Farkas, Z. Kiraly, E. Klumpp, H.D. Narres
Interlamellar adsorption of n-pentanol and nitrobenzene from water on hydrophobic clay minerals
Euroclay 95, Clays and Clay Minerals Science
20-25 August, 1995, Leuven, Belgium *Abstracts of papers coll. p135*

3) Farkas, A., Dékány, I.
Nitrobenzol és klórozott fenolok megkötése hidrofóbizált rétegszilikátokon
The 6th Symposium on Analytical and Environmental Problems
30 September, 1999, Szeged, Hungary *Abstracts of papers coll. p77*

4) I. Dékány, A. Farkas
Adsorption of organic pollutants from aqueous solutions on hydrophobic clays
Bouyoucos Conference. Environmental Chemistry at the Clay-Water Interface
6-9 March, 2000, Honolulu, Hawaii *Abstracts of papers coll. p29*

5) I. Dékány, A. Farkas
Adsorption of organic pollutants from aqueous solutions on hydrophobic clays
13th International Symposium on Surfactants in Solution (SIS – 2000)
11-16 June, 2000, Gainesville, Florida, USA *Abstracts of papers coll. p222*

6) A. Farkas, I. Dékány
Adsorption of organic pollutants from aqueous solutions on hydrophobic vermiculites
3rd International Conference of the Kolloid-Gesellschaft e.V., Colloids 2000
25-28 September, 2000, Budapest, Hungary *Abstracts of papers coll. p121*

Társzerzői lemondó nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom, hogy a Jelölt téziseit ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket tudományos fokozat megszerzéséhez nem használtam fel, s tudomásul veszem, hogy azokat ilyen célból a jövőben sem használhatom fel.

Dátum 2001. 08. 27.

..... Kissy Zoltán
.....

..... Székely János
.....

..... Szikszai István
.....

..... Nagy László
.....

..... Szoboszlói József
.....

..... Regdon István
.....

.....
.....