

**Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei**

**Határfelületi és kolloid kölcsönhatások  
montmorillonit, vas-oxid, huminsav és kalciumion  
tartalmú összetett vizes diszperz rendszerekben**

**Majzik Andrea**

Témavezető:

**Prof. Dr. Tombácz Etelka**

egyetemi tanár

**Szegedi Tudományegyetem  
Kolloidkémiai Tanszék  
Szeged**

**2007**

## 1. Bevezetés, az értekezés célkitűzései

A talaj háromfázisú összetett rendszer, amely szervetlen (43-45%) és szerves (5-7%) szilárd komponenseket, valamint levegőt (5-20%) és vizet (30-45%) tartalmaz a talajok minőségétől függő mennyiségben. A talaj szilárd fázisának szerves anyagai közé tartoznak a kolloid méretű **humuszanyagok** és poliszacharidok. E fázis kisebb szemcseméretű (<2  $\mu\text{m}$ ) ásványi komponensei képezik az agyagfrakciók csoportját, melyeket többek között szilikátok, **agyagásványok**, **oxidok**, hidroxidok, karbonátok, szulfidok és kloridok alkotják. A talaj agyagfrakciójának legfontosabb alkotórészei az **agyagásványok**, melyek adszorpciós és ioncserélő képességük folytán jelentős szerephez jutnak a talajtani folyamatok szabályozásában, illetve a szilárd fázis vízzel szembeni viselkedésének alakításában.

Mivel a talajszerkezet kialakulásában fontos szerepet játszanak a kolloid méretű **vas-oxid** részecskék is, így a talajszerkezetet felépítő részecskék összekapcsolódását modellező vizsgálataimhoz a talajtani szempontból jelentősebb vas-oxidok közül a hematitot ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) és a magnetitet ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) választottam. A magnetit mágneses tulajdonsága miatt különleges jelentőségű. Széles körben használják az iparban és elektronikus eszközökben (pl. mágneses folyadékok a HiFi hangszórókban), újabban megjelent a gyógyászati alkalmazása is. A hematitot az iparban jellegzetes vörös színéből adódóan már az ókortól kezdve festékanyagként használják.

A **humuszanyagok** növényi és állati maradványok fizikai-kémiai és mikrobiológiai degradációja során képződő főként savas jellegű makromolekulás szerves anyagok keveréke, melyek a talajban, felszíni és talajvizekben is megtalálhatóak, oldott vagy precipitált formában. A kémiaiilag változatos szerkezetű, jó komplexképző tulajdonsággal rendelkező szerves makromolekulák számos előnyös hatással rendelkeznek, például növelik a talajok termőképességét, és napjainkban a humátok fémkomplexeinek humán felhasználása is ismeretes. Hátrányos tulajdonságuk, hogy szerves és fémszennyezőkkel kölcsönhatva szolubilizáció (pl. hidrofób peszticidek), valamint komplexképződés (pl. réz, radioaktív izotópok) révén növelik oldhatóságukat, ezáltal komoly környezeti problémákat okozhatnak.

A talajban a humusz anyagok nem önállóan, hanem az ásványi szemcsékhez kapcsolódva fordulnak elő. Az ásványi szemcséket borítva olyan szerves réteggel fedett felület jön létre, melynek töltéstulajdonságai és aggregációs viselkedése más, mint a „tisztá” ásványi komponenseké, ezáltal a talajalkotó ásványi részecskék és a talajoldatokban lévő oldott és diszpergált anyagok közötti kölcsönhatás is megváltozik, így a humuszanyagok a környezeti folyamatokban meghatározó szerepet játszanak. Amikor a talaj pH értéke nagyobb mint 6, a humuszanyagok polianionok formájában vannak jelen, ezért a

negatív töltésű funkciós csoportok és az agyagásványok szintén negatívan töltött felülete közötti taszítás miatt nem tudnak összekapcsolódni. Az éleken elhelyezkedő  $\text{Al-OH}$  csoportokon keresztül jöhet létre kapcsolat komplexképződés révén. Mivel a talajban jelen vannak különböző szerkezetképző ionok (pl.:  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) is, így kation hidakon át a szerves és szervetlen komponensek összekapcsolódhatnak. A szerkezetképző ionok (főként a  $\text{Ca}^{2+}$ ) ezáltal befolyásolják a talaj morzsalékosságát és minőségét.

A kutatásaim során – modellezve a talaj összetételét – a határfelületi és kolloid kölcsönhatásokat tanulmányoztam Na-montmorillonit, huminsav, vas-oxid (magnetit, hematit) és kalciumion tartalmú összetett vizes diszperz rendszerekben, laboratóriumi körülmények között előállított anyagokkal, talajreleváns összetételeket alkalmazva, hogy a tapasztalatok alapján a talajszerkezetre, a szerkezet romlására, és annak lehetséges javítására következtetéseket tudjunk levonni, segítve ezzel a talajminták esetén kapott eredmények értelmezését.

### **Munkám során céлом volt:**

A tőzgeből kinyert huminsav és a bentonitból elkülönített Na-montmorillonit disszociációs és ionmegoszlási folyamatait, a kalciumionok huminsavra gyakorolt hatásait, valamint a hematit és magnetit részecskéket szintetizálni és töltésállapotuk ionerősség függését sav-bázis potenciometriás titrálás segítségével jellemezni.

A magnetit és a hematit nanorészecskéket röntgendiffrakciós (XRD),  $\text{N}_2$ -adszorpciós és transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) módszerekkel jellemezni.

A huminsav adszorpcióját tanulmányozni agyagásvány, valamint agyagásvány/vas-oxid keverékeken kalciumionok jelenlétében.

A huminsav adszorpció során bekövetkező frakcionálódását vizsgálni.

Az adszorpció után az oldatfázisban lévő szabad, szilárdfázishoz kötött, valamint a huminsav által komplexált kalciumion mennyiségét meghatározni kalciumion-szelektív elektród segítségével valamint egy specifikus komplexképzővel (EGTA-val) való titrálással.

A huminsav, a Na-montmorillonit, a magnetit és a hematit részecskék valamint a két illetve három komponenst tartalmazó biner ill. terner rendszerek részecskéinek töltéstulajdonságait vizsgálni.

A huminsav diszpergáló, és a kalciumionok aggregáló hatását vizsgálni reológiai módszerrel, valamint pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkópos (SEM és TEM) felvételek alapján következtetéseket levonni a kialakult szerkezetről.

## 2. Alkalmazott kísérleti anyagok és módszerek

A **Na-Montmorillonit szuszpenziót** Wyoming-i bentonitból ülepitéssel, a **huminsavat** tőzegből az IHSS előírata szerinti lúgos extrakcióval nyertem ki. A **magnetitet**  $\text{FeCl}_3$ - és  $\text{FeCl}_2$ -sók lúgos, a **hematitot**  $\text{FeCl}_3/\text{HCl}$  oldatból pedig savas hidrolízissel állítottam elő. Kísérleti munkám során Reanal gyártmányú, analitikai tisztaságú vegyszereket használtam. A méréseket szobahőmérsékleten ( $25 \pm 1$  °C) és légköri nyomáson végeztem el.

A szintetizált vas-oxidokat röntgendiffrakciós (**XRD**, Philips gyártmányú röntgendiffraktométert (PW 1830 generátor, PW 1820 goniométer,  $\text{CuK}\text{-}\alpha$  sugárzás:  $\lambda = 0,1542$  nm, 40kV, 25 mA) használtam),  **$\text{N}_2$ -adszorpció**s (BET-módszert használva az eredmények kiértékeléséhez) és transzmissziós elektronmikroszkópos (**TEM**) módszerekkel jellemeztem.

A liofilizált (fagyasztva szárított) magnetit és hematit minták fajlagos felületének meghatározása a Micrometrics cég által gyártott Gemini 2375 típusú automata gázadszorpció készülékkel történt.

Az elektronmikroszkópos vizsgálatokat 100 kV-os gyorsítófeszültségű, Megaview-II digitális kamerával felszerelt, Philips CM-10 típusú elektronmikroszkóppal végeztem az SZTE Anatómiai és Pathológiai Tanszékének Elektronmikroszkópos Laboratóriumában. A minták átlagos részecskeátmérőjét és a részecskeméreteloszlási függvényeket UTHSCSA Image Tool program segítségével határoztam meg.

A pH-függő egyensúlyokat, a montmorillonit szimultán H-ioncseréjét és az Al-OH helyeinek, valamint a vas-oxidok Fe-OH helyeinek protonálódási-deprotonálódási folyamatait, és a huminsav savas funkciós csoportjainak disszociációját potenciometriás **sav -bázis titrálással** vizsgáltam a tanszéken összeállított, számítógép által vezérelt GIMET1 elnevezésű titrálórendszerrel.

Az **adszorpció vizsgálatok** során a Na-Mt, a Na-Mt/Mag és Na-Mt/Hem (30:1 tömegarányú) keverékeken adszorbeált huminsav mennyiségét és a kalciumionok szilárd/folyadék (S/L) fázisok közötti megoszlását vizsgáltam állandó ~6,5 pH-n, állandó ionerősség mellett. A kalciumionok mennyisége a Na-Mt kationcsere kapacitásához (CEC) viszonyítva, annak 25, 50, 75, ill. 100 % volt.

A spektrofotometriás vizsgálatok UVIKON 930-as UV-VIS kétsugaras spektrofotométerrel történtek 25°C hőmérsékleten, 1 cm optikai úthosszúságú kvarcküvetéket használva. Az alkalmazott hullámhosszúság tartomány 200 nm-től 700 nm-ig terjedt.

Vizsgáltam a Na-Mt részecskék töltésállapotának változását a HA, ill. a  $\text{Ca}^{2+}$  koncentrációjának növelésével, a HA és  $\text{Ca}^{2+}$  együttes hatását (1-1 sorozaton belül állandó  $\text{Ca}^{2+}$  koncentráció mellett) valamint a vas-oxidok pH-függő töltésállapotát és a töltésváltozást HA, valamint HA és  $\text{Ca}^{2+}$  együttes hozzáadása mellett **zéta-potenciál** méréssel, Zetasizer 4 készülékkel (Malvern, UK),

kapilláris cellában (ZET 5104),  $25 \pm 0.1$  °C-on végeztem el Windows alatt futó PCS ZETA program segítségével (ZetaSizer 4 User's Manual).

A szerkezetképzési vizsgálatok során az adszorpciók eredményeket figyelembe véve, valamint a komponensek arányát közelítve a 30:1 arányhoz (montmorillonit/vas-oxid 24:1) állandó pH-n (~6.5) és 10 mM NaCl koncentrációnál vizsgáltam a Na-montmorillonit/magnetit (Na-Mt/Mag) és Na-montmorillonit/hematit (Na-Mt/Hem) szuszpenziók folyási tulajdonságait különböző  $\text{Ca}^{2+}$  illetve HA koncentrációjú rendszerekben **reológiai** módszerrel. A vizsgálatokat RS 150 típusú HAAKE reométerrel, kúp-lap geometriájú DC60/2 Ti jelzésű mérőfejjel végeztem,  $25 \pm 0,1$ °C-on. Reowin szoftver segítségével állítottam be a mérési opciókat és rögzítettem az adatokat.

Az összetett (montmorillonitot, huminsavat, vas-oxidot és kalciumionokat tartalmazó) rendszerről pásztázó elektronmikroszkópos (**SEM**) felvételeket is készítettem a kialakuló lamella-szerkezet bemutatása céljából. A pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) képeket az SZTE TTK Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék Elektronmikroszkóp Laboratóriumában végeztem, Hitachi S-4700 típusú téremissziós pásztázó elektronmikroszkóppal.

### 3. Az értekezés tézisei

#### *T.1 A magnetit spontán változása a tárolás során.*

A magnetit röntgendiffrakciós (XRD) vizsgálatából kiderült, hogy a hosszabb idejű tárolás során a magnetit részben a stabilabb maghemit formává alakult és a felületen akagenit is képződött. A transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) felvételek részecskéinek méreteloszlás analízise alapján megállapítható, hogy a részecskeméret növekedett, amit alátámasztanak a fajlagos felület meghatározásból származó eredmények is, melyek alapján kiderült, hogy negyedére csökkent a fajlagos felület ( $95,35 \text{ m}^2/\text{g} \rightarrow 27,29 \text{ m}^2/\text{g}$ ), ami szintén a részecskeméret növekedésével magyarázható. A több éven át savas szuszpenzióban tárolt magnetit pH-függő felületi töltésének sav-bázis titrálással elvégzett vizsgálatából valamint a zéta-potenciál mérések eredményei alapján kiderült, hogy a  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  valamint a  $\text{pH}_{\text{iep}}$  értékek pH 8-ról 7-re csökkentek.

#### *T.2 A huminsav kalciumionok jelenlétében elvégzett titrálási eredménye.*

2.b A huminsav kalciumionokkal való komplexképződésének vizsgálta azt mutatta, hogy az indifferens ion (NaCl) valamint a  $\text{Ca}^{2+}$ , mint kétértékű, specifikus ionok hatása között különbség van. Kalciumionok növekvő mennyiségének hatására nagyobbak voltak a nettó felületi proton többlet értékek, vagyis kalciumionok jelenlétében a huminsav molekulák savas funkciók csoportjairól  $\text{H}^+$  ionok kerülnek az egyensúlyi vizes fázisba.

**T.3** *Az adszorpciós vizsgálatok eredményei a Na-montmorillonit, a Na-montmorillonit/magnetit és Na-montmorillonit/hematit keverékeken adszorbeált huminsav és a kalciumionok mennyiségére vonatkozóan.*

3.a Az adszorpciós vizsgálatok során a Na-Mt-on, ill. a különböző vas-oxid tartalmú keverékein adszorbeált HA mennyiségéről megállapítottam, hogy a huminsav adszorpcióját jelentősen befolyásolja a  $\text{Ca}^{2+}$  jelenléte. Állandó  $\text{Ca}^{2+}$  koncentrációnál a HA koncentrációját növelve a felületen adszorbeált HA mennyisége nő. A HA kapcsolódásnak több módja is lehetséges: egyrészt negatív töltésű funkciós csoportjaikkal az ioncsere révén a felületre került kalciumionokon keresztül (Ca-hidak) kapcsolódnak a montmorillonit lamellák lapjain, másrészt a lamellák élein lévő  $\text{Al-OH}$  csoportokhoz, valamint a vas-oxidot tartalmazó szuszpenziókban a  $\text{Fe-OH}$  helyekhez felületi komplexképződéssel kötődnek. A tiszta montmorillonit esetében a legnagyobb  $\text{Ca}^{2+}$  koncentrációnál (5,5 mM, ami 100 %-a a jelenlévő Na-Mt ioncsere kapacitásának), a felületen egy második réteg huminsav adszorpciója is bekövetkezik, az első és második réteg között lévő kalciumhidakon keresztül a huminsav nemkötő karboxil csoportjain át.

3.b A magnetitet és a hematitot ugyanolyan mennyiségben (1:30 tömeg arány) tartalmazó montmorillonit szuszpenziókban mért HA adszorpciós izotermák hasonló lefutásúak, az adszorbeált HA mennyiségek sem térnek el lényegesen. A csak montmorillonitot tartalmazó mintákhoz viszonyítva a vas-oxid tartalmúak a kisebb  $\text{Ca}^{2+}$  tartalom (25, 50%) mellett lényegesen több kb. kétszerannyi HA megkötésére képesek, míg a montmorillonit ioncsere kapacitásához viszonyítva 75%  $\text{Ca}^{2+}$  tartalmú minták még mindig több, viszont a legtöbb (100 %)  $\text{Ca}^{2+}$ -t tartalmazó minták már egyértelműen kevesebb HA-t adszorbeáltak. A keverék adszorbensék HA adszorpciós kapacitásának csökkenése a vas-oxid nanorészecskék által a montmorillonit lapokon elfoglalt negatív töltésű adszorpciós helyek számának csökkenésével magyarázható, amit alátámaszt az is, hogy a  $\text{Ca}^{2+}$  ionok adszorpciója átlagosan több, mint 20%-kal csökkent a vas-oxidokat is tartalmazó adszorbenséken. Ezek alapján a pozitív töltésű nanorészecskék és a cserélhető  $\text{Ca}^{2+}$  kationok közötti, a negatív felületi helyekért való versengésre következtethetünk.

3.c. A kalciumionok S/L határfelületi megoszlásának vizsgálata során kalciumion szelektív elektróddal a szabad  $\text{Ca}^{2+}$  koncentráció meghatározása HA jelenlétében nem lehetséges. Valószínűleg a HA funkciós csoportjai elektrosztatikus kölcsönhatásba lépnek az elektród membránjával, ami befolyásolja az elektródpotenciált, így zavarja a mérést.

3.d. Az oldatfázisban lévő összes (a szabad és a HA-hoz kötött)  $\text{Ca}^{2+}$  koncentrációját az egyensúlyi vizes fázisból vett minták EGTA-val való titrálásával határoztam meg. Arra a következtetésre jutottam, hogy a  $\text{Ca}^{2+}$  koncentrációjának növelésével az adszorbeált  $\text{Ca}^{2+}$  mennyisége és ezzel párhuzamosan az adszorbeált HA mennyisége is folyamatosan nő. A különböző

vas-oxid tartalmú kompozitokon kevesebb  $\text{Ca}^{2+}$  kötődik meg, feltehetőleg a montmorillonit lamellák lapjain a negatív felületi töltéshelyek (kationcsere helyek) számának csökkenése miatt, amelyeket a pozitív töltésű vas-oxid részecskék foglalnak el (heterokoaguláció). A  $\text{Ca}^{2+}$  és a huminsav adszorpciója növekszik a  $\text{Ca}^{2+}$  tartalom növekedésével, de különböző mértékben. Ha a  $\text{Ca}^{2+}$  hozzáadást négyszeresre növeljük, az egyre több, közel tízszeres mennyiségű huminsav adszorpciót eredményez, de csak háromszor akkora  $\text{Ca}^{2+}$  adszorpciót jelent. A legkisebb mértékű  $\text{Ca}^{2+}$  hozzáadására, a  $\text{Ca}^{2+}$  ~90 %-a a felületen megkötődik, a növekvő  $\text{Ca}^{2+}$  koncentrációval viszont csökken a felületen való felhalmozódás aránya.

3.e. A  $\text{Ca}^{2+}$  tartalmú adszorpciós sorozatokban a megkötődés során a kémiaiilag nem egységes huminsav frakcionálódása bekövetkezik. A különböző mennyiségű  $\text{Ca}^{2+}$  és azonos mennyiségű HA-t tartalmazó minták egyensúlyi felülűszóinak spektrális paraméterei, a  $\text{SUVA}_{254}$  (a minták aromaticitására utaló tényező),  $E_3/E_4$  valamint az  $E_4/E_6$  értékei (melyek a HA humifikációjának mértékével és a molekulatömegével változnak) az adszorpció során növekedtek ami arra utal, hogy a nagyobb, kevésbé aromás frakciók kötődtek meg az adszorpció során.

#### ***T.4 A zéta-potenciál mérések eredményei.***

4.a A montmorillonit negatív zéta-potenciál értéke huminsav hozzáadásával még negatívabbak lettek a lamellák élein megkötődő huminsav negatív töltései miatt.  $\text{Ca}^{2+}$  jelenlétében a kationok pozitív töltései miatt a potenciál értékek a kisebb negatív értékek felé tolódnak el, de a részecskék töltés előjele nem változik és a lamellák áttöltése nem következik be. Az összetett (Na-Mt/ $\text{Ca}^{2+}$ /HA) rendszer zéta-potenciál értékei jelentős változást nem mutatnak.

4.b A magnetit és a hematit a talajviszonyoknak megfelelő pH~6,5 értéken és az alkalmazott 10 mM NaCl koncentrációnál pozitív zéta-potenciálja már kis mennyiségű HA hozzáadására negatívvá válik, mivel a HA mennyiségének növekedésével részlegesen, majd teljesen beborítódnak a vas-oxid részecskék, ennek megfelelően a vas-oxidok pozitív töltéseit semlegesítik, majd áttöltik a részecskék felületét.  $\text{Ca}^{2+}$  jelenlétében pedig, hasonlóan a Na-Mt-hoz, csökkenő negatív potenciál értékek jellemzik a vizsgált rendszert.

#### ***T.5 Szerkezetképzési vizsgálatok a Na-montmorillonit, Na-montmorillonit/magnetit és Na-montmorillonit/hematit szuszpenziókban különböző $\text{Ca}^{2+}$ illetve HA koncentrációjú rendszerekben.***

5.a A viszonylag tömény Na-montmorillonit, valamint 24:1 arányban hematitot vagy magnetitet tartalmazó keverék szuszpenziók reológiai vizsgálatai azt mutatták, hogy a Na-montmorillonit lamellái laza szerkezetű kártyavár struktúrát képeznek a ~6,5 pH értéken, 6,6 mM NaCl mellett. Ezen körülmények

mellett a lapok töltésével ellentétes töltésű vas-oxid részecskéken keresztül kötésponatok létesülnek, így még ilyen kis mennyiségben is növelik a lamella hálózat nyírással szembeni ellenállását. Ez a lapok negatív és az élek, valamint a vas-oxid részecskék pozitív töltéseinek elektrosztatikus vonzása következtében kialakuló aggregált szerkezet a HA koncentrációját növelve szétesik a funkciós csoportok egyre több az éleken lévő  $\text{Al-OH}$  és a vas-oxidok felületi  $\text{Fe-OH}$  helyeit elfoglaló kapcsolódása miatt. A  $\text{Ca}^{2+}$  koncentrációját növelve a szerkezet egyre erősebb lesz a negatív felületi töltésű agyaglamellák  $\text{Ca}^{2+}$  által történő összekapcsolása miatt. A  $\text{Ca}^{2+}$  koncentráció növelésével a folyásgörbék jellege változik, a folyáshatár nélküli szerkezeti viszkózus rendszerből az egyre nagyobb folyáshatárral és tixotróp folyással bíró, pszeudoplasztikus rendszerek alakultak ki. A 6,67 mM illetve 13,3 mM  $\text{Ca}^{2+}$  koncentrációjú szuszpenziók esetében a tixotróp részecskeháló a  $\text{Ca}^{2+}$  tartalomtól függően, a nagyobb mennyiségű HA hatására fokozatosan összeomlik a HA-k diszpergáló/elfolyósító hatása miatt. A tiszta és a kis mennyiségű vas-oxidot tartalmazó montmorillonit szuszpenziók  $\text{Ca}^{2+}$  és HA koncentrációtól függő folyási viselkedésében nem volt lényeges eltérés.

5.b A talaj összetételt közelítő sorozatokban, melyekben a huminsav mennyisége a talajokban előforduló nagyobb (~5 %) szervesanyag tartalmat közelítő mennyiségű, illetve ennek tized része volt, a tapasztalatok azt mutatták mind a csak montmorillonitot, mind a magnetitet, ill. hematitot is tartalmazó keverékek esetében is, hogy az eredeti részecske térháló huminsav hatására összeomlik, majd kalciumionok hozzáadásával, a szervesanyag mennyiségétől függően optimalizálva visszaépíthető a deformációnak ellenálló szerkezet, sőt jelentősen megerősíthető, 4-5-szörös folyáshatár növekedés érhető el főleg a nagyobb szervesanyagtartalmú szuszpenziók esetén megfelelő mennyiségű kalciumsó hozzáadással a HA-k és a  $\text{Ca}^{2+}$  ionok együttes aggregáló/szilárdító hatása miatt.

5.c A kalciumionok megfelelő mennyisége megbecsülhető a töltéssel rendelkező részecskék anyagmennyiségének töltésegyenleg mérlege alapján. A tapasztalat szerint a töltésegyenleg értéke alatt elfolyósító, felette szilárdító hatás várható. A vizsgált modell szuszpenziók esetében a montmorillonittól valamint a HA savas funkciós csoportjaitól származó negatív töltések  $\text{Ca}^{2+}$  hozzáadásával semlegesíthetők növelve a  $\text{Ca}^{2+}$  tartalmat. Az áttöltéshez szükséges  $\text{Ca}^{2+}$  mennyisége pedig jó egyezésben áll azzal a  $\text{Ca}^{2+}$  koncentrációval, ahol a szuszpenziók jelentősen szilárdulnak. A vas-oxidokat tartalmazó szuszpenziók esetében pedig a pozitív  $\text{Fe-OH}_2^+$  felületi töltéshelyek jelenléte miatt kevesebb kalciumion hozzáadása szükséges a töltések semlegesítéséhez.

A részecskék által hordozott töltésmérleg alapján az agyagásvány szuszpenziókban változó HA tartalomnál megbecsülhető a megfelelő szilárdság eléréséhez szükséges  $\text{Ca}^{2+}$  mennyisége. Ez az elv hasznos lehet az agyagásvány szuszpenziók folyási tulajdonságainak becslése, valamint összetett rendszerekben a kölcsönhatások természetének megkülönböztetése során.



## Az értekezés témájában megjelent tudományos közlemények

### Folyóiratban

1. E. Tombácz, Zs. Libor, E. Illés, **A. Majzik** and E. Klumpp: The role of reactive surface sites and complexation by humic acids in the interaction of clays mineral and iron oxide particles  
*Org. Geochem.* 35: 257-267 (2004)  
IF<sub>2004</sub>: **1,896**
2. E. Tombácz, **A. Majzik**, Zs. Horváth, E. Illés: Magnetite in aqueous medium: coating its surface and coated with it  
*Romanian Reports in Physics*, 58(3): 281-286 (2006)
3. **A. Majzik**, E. Tombácz: Interactions between humic acid and montmorillonite in the presence of calcium ions I. Interfacial and aqueous phase equilibria: adsorption and complexation  
*Organic Geochem.* 38: 1319-1329 (2007)  
IF<sub>2006</sub>: **2,331**
4. **A. Majzik**, E. Tombácz: Interactions between humic acid and montmorillonite in the presence of calcium ions II. Colloidal interactions: charge state, dispersing and/or aggregation of particles in suspensions  
*Organic Geochem.* 38: 1330-1340 (2007)  
IF<sub>2006</sub>: **2,331**
5. E. Tombácz, E. Illés, **A. Majzik**, A. Hajdú, M. Szekeres, Ageing in inorganic nanoworld: an example for magnetite nanoparticles in aqueous medium,  
*Croatia Chemica Acta*, 80: 503-515 (2007)  
IF<sub>2006</sub>: **0,778**
6. E. Tombácz, D. Bica, A. Hajdú, E. Illés, **A. Majzik**, L.Vékás: Surfactant double layer stabilized magnetic nanofluids for biomedical application,  
*Journal of Physics - Condensed Matter* (submitted)  
IF<sub>2006</sub>: **2,038**

Összes impakt faktor: 9,374

## Proceedings

1. E. Tombácz, E. Illés, **A. Majzik**: *Humic acid adsorption on oxides: a meaningful comparison of data* In: Humic Substances and Soil and Water Environment (Eds. L. Martino-Neto et al.) Proc. 12<sup>th</sup> International Conference of International Humic Substances Society, Embrapa, Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil, 2004. pp. 52-54.
2. **A. Majzik**, E. Tombácz: *Elastic network of lamellar particles formation and rheological characterization*, Rheofuture Conference, July 1-2, Karlsruhe, Germany, 2004,  
<http://www.rheofuture.de/papers2004/index.htm>
3. **A. Majzik**, E. Tombácz: *Joint effect of humic acids and calcium ions on particle interactions in composite aqueous suspensions of clay and iron oxides*, poster, lecture in 3 min, Proc. 13<sup>th</sup> International Conference of International Humic Substances Society, July 30-Aug 4, Karlsruhe, Germany, 2006. pp. 705-708.

## Abstracts

4. **A. Majzik**, E. Tombácz: *Elastic network of lamellar particles formation and rheological characterization*, poster, 2<sup>nd</sup> Mid-European Clay Conference, Sept 20-25, 2004. Miskolc, Hungary, Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series 4, Szeged, 2004. p.70.
5. **Majzik A.**, Tombácz E.: *Interfacial and colloidal interactions in soil modeling complex systems*, lecture, The VIII<sup>th</sup> International Symposium Romania – Serbia – Hungary, May 11-12, 2006. Temesvar, Romania, Abstracts, Temesvar, 2006. p. 53.
6. Tombácz, E.; **Majzik, A.**; Czibulya, Zs.; Kovács, K.: *Particle network formation in soils: is there aggregating or dispersing effect of humic substances?* IAP 2006, IV International Conference on Interfaces Against Pollution, June 4-7, 2006. Granada, Spain, Book of Abstracts, p.36-37.
7. **A. Majzik**, E. Tombácz: *Dispersing and aggregating effect of humic acids and calcium ions in mixed suspensions of montmorillonite and hematite*, poster, 20<sup>th</sup> ECIS and 18<sup>th</sup> ECIC, Sept. 17-22, 2006. Budapest, Hungary, Book of Abstracts, p.419.
8. **A. Majzik**, E. Tombácz: *Dispersing/aggregating effect of humic acids and calcium ions in mixed suspensions of montmorillonite and hematite*, 13<sup>th</sup> Symposium on Analytical and Environmental Problems, September 25, 2006. Szeged, Hungary
9. E. Tombácz, D. Bica, A. Hajdú, E. Illés, **A. Majzik**, L. Vékás: *Surfactant double layer stabilized magnetic nanofluids for biomedical application*, 11<sup>th</sup> International Conference on Magnetic Fluids ICMF 11, July 23-27, 2007. Košice, Slovakia

**Az értekezés témájához közvetlenül nem kapcsolódó gyűjteményes kötetben megjelent angol és magyar nyelvű tudományos közlemények:**

10. **A. Majzik**, E. Tombácz: *ZnO/Zn(OH)<sub>2</sub> composites on synthetic layer silicate support*, 9<sup>th</sup> International Symposium on Particle Size Analysis, Environmental Protection and Powder Technology, Balatonfüred, Hungary, (PORANAL 2004), Sept 5-7, 2004. Balatonfüred, Abstracts p. 80-81.
11. **Majzik A.**, Tombácz E.: *Új típusú fluoreszcens látványkozmetikumok formálása*, XXVI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Április 14-16, 2003. Budapest ELTE, Program és összefoglalók, p. 109.
12. **Majzik A.**, Tombácz E.: *Szintetikus rétegszilikát hordozóra vitt ZnO/Zn(OH)<sub>2</sub> kompozitok*, XXVII. Kémiai Előadói napok, Október 24-25, 2004. Szeged, Program és előadás-összefoglalók, p. 147.
13. **A. Majzik**, E. Tombácz: *Photocatalytic effect of ZnO/Zn(OH)<sub>2</sub> composites on organic dirt from urban air*, 8<sup>th</sup> International Symposium on Interdisciplinary Regional Research, Hungary-Roumania-Serbia and Montenegro (ISIRR-8), 19-21 April, 2005. Szeged, Hungary, EEP08 presentation on CD of ISIRR-8

**Az értekezés témájában megjelent magyar nyelvű tudományos közlemény:**

1. **A. Majzik**, E. Tombácz: *Kölcsönhatások montmorillonit, magnetit, huminsav és kalcium-ion tartalmú összetett vizes diszperziókban*, XXVIII. Kémiai Előadói napok, Október 24-25, 2005. Szeged, Program és előadás-összefoglalók, p. 87.

**Az értekezés témájában bemutatott magyar nyelvű előadások:**

*Tanszéki előadás:*

**Majzik A.:** *Kölcsönhatások montmorillonit, magnetit, huminsav és kalciumion tartalmú összetett vizes diszperziókban*, 2005. október 4. Kolloidkémia Tanszék, Szeged

*MTA Munkabizottsági előadás:*

**Majzik A.:** *Határfelületi és kolloid kölcsönhatások montmorillonit, vas-oxid, huminsav és kalcium-ion tartalmú szuszpenziókban*, MTA Kolloid- és Anyagtudományi Munkabizottság, 2006. május 25-26-i ülés, Mátrafüred

*Országos szakmai fórumon előadás:*

**Majzik A.**, Tombácz E.: *Huminsavak diszpergáló-aggregáló hatása agyagásvány/fémoxid (montmorillonit/magnetit) rendszerekben*, előadás, IHSS/HCh-4, 2005. november 19. Budapest

## Társszerzői (ill. első szerzői) lemondó nyilatkozat

Alulírott nyilatkozom, hogy a jelölt téziseit ismerem, a tézisekben foglalt tudományos eredményeket fokozat megszerzéséhez nem használtam fel és azokat ilyen célból a jövőben sem fogom.

.....  
Prof. Dr. Tombácz Etelka  
(Folyóiratban: 1-6)

.....  
Libor Zsuzsanna  
(Folyóiratban: 1)

.....  
Nyergesné Dr. Illés Erzsébet  
(Folyóiratban: 1,2,5,6)

.....  
Erwin Klumpp  
(Folyóiratban: 1)

.....  
Horváth Zsolt  
(Folyóiratban: 2)

.....  
Dr. Szekeres Márta  
(Folyóiratban: 5)

.....  
Hajdú Angéla  
(Folyóiratban: 5,6)

.....  
Doina Bica  
(Folyóiratban: 6)

.....  
László Vékás  
(Folyóiratban: 6)