

Doktori (*Ph.D.*) értekezés tézisei

# Elektromosan vezető polimerek mágneses nanorészecskékkel alkotott kompozitjai

**Janáky Csaba**

Témavezető: Dr. Visy Csaba

Egyetemi tanár

Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem  
Természettudományi és Informatikai Kar  
Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

2010



## 1. Bevezetés, célkitűzések

Ha egy laikus meghallja a vezető polimer kifejezést, akkor valószínűleg nem tudja, mire gondoljon. A legtöbb polimer ugyanis köztudottan szigetelő tulajdonsággal rendelkezik, így az elektromosságot vezető polimerek kifejezés első hallásra ellentmondásnak tűnhet. Az utóbbi évtizedek kutatómunkájának eredményeképpen kiderült, hogy a műanyagok egy – konjugált kettőskötés rendszerrel rendelkező – családjának elektromos vezetése nagyságrendekkel megváltoztatható. A félvezetőkre, vezetőkre jellemző elektromos vezetés és a műanyagokra jellemző mechanikai tulajdonságok együttes jelenléte emelte a vezető polimereket az érdeklődés középpontjába. A tudományterület fejlődését és fontosságát jelzi a 2000-ben, a vezető polimerek felfedezéséért és fejlesztéséért odaítélt kémiai Nobel-díj.

A vezető polimerek *nanokompozitjai* az 1990-es években kerültek az érdeklődés középpontjába annak köszönhetően, hogy az elektromosan vezető tulajdonságot egyre gyakrabban kombinálják valamely más hasznos vagy érdekes tulajdonsággal. Az ilyen típusú összetett anyagok esetén a nano szó arra utal, hogy valamilyen nanométeres mérettartományba eső részecske – melynek tulajdonsága jelentősen eltér a tömbfázisban tapasztaltaktól – épül be a polimer mátrixába. Ez általában szervesetlen nanorészecske beépülését jelenti, de a fordítottja is lehetséges: polimer kolloidra is választottak már le szervesetlen réteget, és szervesetlen mátrixba is építettek polimert. A variációs lehetőségek rendkívül nagyok, már kompozitok százait állították elő.

Az elmúlt évek során a mágneses nanorészecskéket tartalmazó vezető polimer alapú kompozitok előállítására és vizsgálatára egyre nagyobb érdeklődést vonz. A mágneses tulajdonságú nanorészecskék ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Co, Ni, Fe, ötvözetek) olyan, jellemzően 1-30 nm méretű részecskék, amelyek olykor ferri- vagy ferromágneses, de többségében szuperparamágneses sajátsággal rendelkeznek. Ezek vezető polimerbe történő beépítésével előállított összetett anyagokat számos alkalmazásban már felhasználják, a mágneses szeparációtól kezdve a szenzorokon át a mikrohullámú árnyékolásig.

Kutatócsoportunk 2004 óta foglalkozik vezető polimer alapú nanokompozitok előállításával és jellemzésével. Kezdetben Ag-tartalmú polipirrol- és politiofén-származékokat állítottak elő, az összetétel változtatásával hangolva elektromos vezetési és termoelektromos tulajdonságaikat. Én 2006-ban kapcsolódtam be a kompozitok kutatásába, amikor célul tűztük ki

szuperparamágneses, illetve ferromágneses vas-oxid nanorészecskék beépítését szerves vezető polimer mátrixába. A szakirodalomban túlnyomóan vizes közegű, kémiai szintéziseket alkalmaztak, jóllehet ez leszűkíti az előállítható kompozitok körét. A doktori munka elején vizsgálni kívántuk, hogy szerves közegben előállíthatók-e ilyen típusú összetett anyagok, és ha igen, milyen tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezt követően érdeklődésünk az elektrokémiai szintézisek irányába fordult. Az előállításon túlmenően céлом volt vizsgálni az elektrokémiai módszerrel előállított kompozitrétegek felhasználási lehetőségeit. Így vizsgáltam a hibrid rétegek elektrokatalitikus hatását  $O_2$ -redukációs és  $H_2O_2$ -dekompozíciós reakciókban. Célunk volt a megvilágítás hatásának vizsgálata a rendszerek fotokatalitikus aktivitásának jellemzése érdekében. Egy korábban biotechnológiai alkalmazhatóságot mutató hibrid fejlesztése céljából tanulmányoztam a B12 vitamin rögzítését a magnetit felületén, és ezen részecskék beépítését polipirrol mátrixba.

## 2. Kísérleti módszerek

Kísérleti munkánk során felhasznált vegyszerek mindegyike analitikai tisztaságú volt. A vizes oldatokat MilliQ RG Millipore víztisztító berendezésben tisztított ioncserélt vízzel készítettem. A nitrobenzol víztartalmát 3A zeolit molekulaszita segítségével 30 ppm alatt tartottuk, amit coulometriás Karl-Fischer titrálással, Metrohm 684 KF Coulometer készülék segítségével ellenőriztünk.

Az elektrokémiai méréseket minden esetben klasszikus háromelektrodos elektrokémiai cellában egy potenciosztát-galvanosztát segítségével végeztük. A munkaelektrod az előállított rendszertől függően Pt vagy Au elektrod volt. Referenciaelektrodként minden esetben Ag/AgCl/3M NaCl elektrodot használtunk, melynek potenciálja 0,200 V a SHE-hez képest. Az ellenelektrod minden esetben Pt lemez vagy Pt szál volt. Az elektrokémiai kvarckristály mikromérleggel (EQCM) történő mérések során a munkaelektrod a kvarckristályra felvitt Au, illetve Pt réteg volt.

Az impedancia spektrumokat 160 Hz és 10 kHz között vettük föl 45, a logaritmikus skálán egyenletesen növekvő frekvenciaértéknél. A mérések során SR830 típusú fázisérzékeny erősítőt alkalmaztunk.

Az ultraibolya-látható fényelnyelési vizsgálatokat diódasoros spektrofotométer segítségével végeztem 25 °C hőmérsékleten. A spektrumok felvételéhez minden esetben 1 cm-es kvarc küvettát használtam. Az előállított kompozitok szerkezetét infravörös spektroszkópiával is tanulmányoztuk. Azon méréseink esetén, ahol a felület megváltozását (adszorpciót) vizsgáltuk, diffúz reflexiós módszert (DRIFT) használtunk. A nagy elnyeléssel rendelkező minták esetében fotoakusztikus detektálást alkalmaztunk.

Röntgen diffrakciós méréseink során pormintáink vizsgálatára  $CuK_{\alpha}$  sugárzásnak megfelelő hullámhosszat ( $\lambda=0,1542$  nm) használtunk. A kapott röntgendiffraktogramok értékelése során a JCPDS kártyák adatait hasonlítottuk össze a mérési eredményekkel.

A nanorészecskék beépülésének igazolására transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) felvételeket készítettünk 100 keV energiájú elektronokkal működő berendezésben. A kompozitok morfológiájának jellemzésére téremissziós pásztázó elektronmikroszkóppal, 10 kV gyorsítófeszültség alkalmazásával készítettünk képeket.

A mágneses vas-oxid minták, valamint a kémiaiilag előállított kompozitok Mössbauer-spektrumának felvétele során sugárforrásként 109 Bq aktivitással rendelkező  $^{57}\text{Co}(\text{Rh})$  forrást alkalmaztunk.

A mágnesezettségi görbéket SQUID berendezéssel (Superconducting quantum interference device) határoztuk meg. A mágneses tulajdonságok hőmérsékletfüggésének vizsgálatára 2 K és 300 K között végeztünk méréseket.

A kémiai szintézissel előállított kompozitok összetételének vizsgálatához savas feltárást követően induktív csatolású plazmaéghős atomemissziós spektroszkópiás (ICP-AES) vizsgálatokat végeztünk. Bizonyos minták esetében a termogravimetriás méréseket is végeztünk, ahol a hőmérsékletet  $10^\circ\text{C}$  / perc sebességgel, lineárisan növeltük, mind  $\text{N}_2$ -, mind  $\text{O}_2$ -atmoszférában. Az energia diszperzív röntgen spektroszkópia (EDX) vizsgálatok további, közvetlen adatokat szolgáltatnak az összetételre vonatkozóan.

### 3. Új tudományos eredmények tézisszerű összefoglalása

#### T1. Poli(3-oktiltiofén) / $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanokompozitok előállítása

1.1. Az első szerves közegű polimerizációs vizsgálataink eredményeinek értékelése során igazoltam a maghemit nanorészecskék beépülését a poli(3-oktiltiofén) mátrixába, mintegy 5 tömeg % mennyiségben. Molekulaspektroszkópai méréseim tanúsága szerint a polimerizáció során jelenlévő nanorészecskék nem befolyásolták a polimerizáció lejárásodását, a képződött polimer elektronszerkezete, oxidációs állapota nem vagy csak kis mértékben tér el a viszonyításként előállított tiszta poli(3-oktiltiofén) esetén meghatározott értékektől.

1.2. A szupramolekuláris szerkezetben ugyanakkor különbséget tapasztaltam mind a rétegek lamelláris szerkezetében, mind a polimerláncok közötti kölcsönhatásokban. A morfológiájukat megvizsgálva megmutattam, hogy míg a polimer fraktálszerűen növekedett, egy összefüggő porózus szerkezetet kialakítva, addig a kompozit anyag különálló, gömb alakú mikrorészecskékből áll. A mag-héj szerkezetű részecskék kialakulásának hátterében a szintézis során jelenlévő maghemit nanorészecskék állhatnak, melyek gócként működtek, és a képződő polimer azokra vált le.

1.3. A szerkezeti változások az elektromos tulajdonságok jelentős változásában is tettenérhetőek (véltetően a tömörebb szerkezetnek köszönhetően), mivel a kompozit anyag mintegy 20-szorosan jobb elektromos vezető, és mintegy 20-szor nagyobb kapacitással rendelkezik.

#### T2. Tiofén-3-ecetsav kemisorpciója magnetit nanorészecskék felületén

2.1 Magnetit nanorészecskéket állítottunk elő, melyek átlagos részecskemérete röntgendiffrakciós és TEM mérések adataiból 12 nm-nek adódott. Annak érdekében, hogy a nanorészecskéket diszpergálni tudjam szerves közegben, felületüket tiofén-3-ecetsavval borítottam. Az adszorpció vizsgálatára infravörös spektroszkópiás méréseket végeztem, amely során a spektrumban bekövetkező változások közvetlen bizonyítékot szolgáltattak a monomernek a felületi –OH csoportokkal rendelkező vas-oxid nanorészecskék felületén történő kemisorpciójára. Szemléletesen fogalmazva azt mondhatjuk, hogy mivel a nanorészecskék felületét magával a tiofén-3-ecetsavval, a később polimerizálni kívánt monomerrel borítottuk, „hidat” képeztünk a magnetitrészecskék és a polimer között.

### **T3. Poli(tiofén-3-ecetsav) / magnetit kompozitok előállítása kémiai oxidációval**

3.1. A fenti adszorpciós kölcsönhatást kihasználva sikerrel állítottam elő kémiai szintézissel poli(tiofén-3-ecetsav) / magnetit hibrideket. Röntgendiffrakciós és Fotoakusztikus Infravörös spektroszkópiás mérésekkel igazoltam a magnetit nanorészecskék beépülését a szerves vezető polimer mátrixába.

3.2. A kompozitok magnetittartalmának meghatározáshoz ICP-AES, TGA és Mössbauer spektroszkópiás méréseket végeztünk, amelyek alapján megállapítottam, hogy a hibridek összetétele függ a polimerizációs elegy összetételétől, és a magnetittartalom egészen 20 m/m%-ig növelhető.

3.3. A kompozitok szuperparamágneses viselkedést mutattak, a telítési mágnesezettségi értékek pedig hangolhatónak bizonyultak a kiindulási magnetit mennyiségével. Az elektrokémiai mérések során igazoltam, hogy az előállított összetett anyagok elektroaktívak, így módosított elektródok összetevőjeként alkalmazhatók.

### **T4. Poli(tiofén-3-ecetsav) / magnetit kompozitok előállítása elektrokémiai módszerrel**

4.1. A monomerrel borított nanorészecskék nitrobenzolban történő diszpergálását követően elektrokémiai módszerrel sikeresen állítottunk elő PTAA / Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kompozit vékonyrétegeket. A polimerizáció során regisztrált tömegváltozások igazolták, hogy a polimerizációs elegy magnetittartalmának változtatásával a kompozitok magnetittartalma szabályozható, és mennyisége egészen ~80 tömeg%-ig növelhető.

4.2. Az elektrokémiai vizsgálatok megmutatták, hogy a beépült nanorészecskék – a vizsgált potenciáltartományban – inaktívak, ugyanakkor nem zavarják meg a polimer jól ismert elektroaktivitását.

4.3. Megfigyeltük, hogy a nanorészecskék beépülése egy különleges – párhuzamos sávokat tartalmazó – mikrostruktúra kialakulásához vezet, amely a magnetitrészecskék önrendeződésével értelmezhető.

### **T5. Polipirrol / magnetit vékonyrétegek előállítása és a magnetit beépülésének mechanizmusa**

5.1. Felderítettem a magnetit polipirrolba kálium-tetraoxalát jelenlétében történő beépülésének mechanizmusát. Infravörös spektroszkópiás mérésekkel igazoltam, hogy a nanorészecskék



felülete – a képződő vas-oxalátoknak köszönhetően – negatív töltésűvé vált, és ennek révén a töltéskompenzáció során épülnek be az oxidatív polimerizáció alatt. A polimerizáció során regisztrált EQCM adatok szerint ~27 tömeg% magnetitet sikerült rögzítenünk a polipirrol mátrixában.

#### **T6. Polipirrol / magnetit vékonyrétegek tulajdonságai és katalitikus aktivitása az O<sub>2</sub>-redukciós reakcióban**

6.1. Az elektrokémiai módszerrel előállított PPy / magnetit rétegek voltammetriás vizsgálata során O<sub>2</sub> jelenlétében aszimmetriát tapasztaltunk. Ezen töltésaszimmetria vizsgálata során igazoltuk a kompozit elektrokatalitikus aktivitását az O<sub>2</sub>-redukciós reakcióban.

6.2. Tapasztalataink szerint megvilágítás mellett lényegesen nagyobb (stacionárius körülmények között közel kétszeres) katódos áramok mérhetőek. A részletes vizsgálatok igazolták a fotonhatást, és a fotokatalitikus redukciónak a megvilágítás nélküli folyamatétól eltérő mechanizmusát jelezték.

6.3. A H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-nak mint az O<sub>2</sub>-redukció köztitermékének elektrokémiai redukcióját is vizsgálva felderítettük, hogy ebben a reakcióban a kompozit elektród a polipirrolhoz képest ~ 7,5-szeres katalitikus aktivitást mutat. Ezen túlmenően a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> jelenlétéhez köthető áram – igen kis koncentrációk esetén is – egyenesen arányos annak értékével, így felmerül a szenzorként történő alkalmazás lehetősége.

#### **T7. B12 vitamin adszorpciója magnetit nanorészecskék felületén, és a borított nanorészecskék beépítésével előállított polipirrol / magnetit / B12 hibridek tulajdonságai**

7.1. Vizsgáltam a B12 vitamin magnetit felületén megvalósuló adszorpcióját. A B12 vitaminnal borított magnetit beépíthető a polipirrol szerves vezető polimer mátrixába, ezáltal feldúsítható az elektroaktív rétegben. Az EQCM adatok szerint mintegy 15 tömeg%-nyi B12-t sikerült rögzítenünk.

7.2. Az így előállított hibrid kompozit rétegek jelentősen nagyobb elektroaktivitást mutattak a polipirrolhoz és a polipirrol / magnetit kompozitához képest: kis ciklizálási sebességek mellett a hibrid töltéskapacitása kétszerese a polimerének. A filmek redoxi átalakításai során mért tömegváltozások igazolták az anioncserélő sajátságot, és egyúttal jelezték a kompozitrétegek, illetve a tiszta polipirrol eltérő hidrofil / hidrofób tulajdonságait is.

## 4. Tudományos közlemények

### Az értekezés témájában megjelent tudományos dolgozatok

1. **C. Janáky, C. Visy:**  
*Synthesis and characterization of poly(3-octylthiophene)/ $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite -A promising combination of superparamagnetic-thermoelectric-conducting properties*  
Synthetic Metals, 158 (2008), 1009-1014  
**IF=1.962**
2. **C. Janáky, C. Visy, O. Berkesi, E. Tombácz:**  
*Conducting polymer based electrode with magnetic behavior: electrochemical synthesis of poly(3-thiophene-acetic-acid) / magnetite nanocomposite thin layers*  
Journal of Physical Chemistry C, 113 (2009) 1352-1358  
**IF<sub>2008</sub>=3.396**
3. **C. Janáky, B. Endrődi, A. Hajdú, C. Visy:**  
*Synthesis and characterization of polypyrrole–magnetite–vitamin B12 hybrid composite electrodes*  
Journal of Solid State Electrochemistry, 14 (2010) 339-346  
**IF<sub>2008</sub>=1.597**
4. **C. Janáky, B. Endrődi, K. Kovács, M. Timko, A. Sági, C. Visy:**  
*Chemical synthesis of poly(3-thiophene-acetic-acid) / magnetite nanocomposites with tunable magnetic behaviour*  
Synthetic Metals, 160 (2010) 65-71  
**IF<sub>2008</sub>=1.962**
5. **C. Janáky, B. Endrődi, O. Berkesi, C. Visy:**  
*Electrochemical synthesis of polypyrrole / magnetite hybrid modified electrodes for photo-electrocatalytic O<sub>2</sub>-reduction*  
Előkészületben

### Az értekezés témájához nem kapcsolódó tudományos dolgozatok

6. C. Visy, **C. Janáky**, E. Kriván:  
*Solvation/desolvation during the redox transformation of poly(3-methylthiophene)*  
Journal of Solid State Electrochemistry, 9 (2005) 330-336  
**IF=1.158**
7. G. Bencsik, **C. Janáky**, E. Krivan, Zs. Lukács, B. Endrodi, C. Visy:  
*Conducting polymer based multifunctional electrodes*  
Reaction Kinetics and Catalysis Letters, 96 (2009) 421-428  
**IF<sub>2008</sub>=0.610**

8. E. Krivan, G. Bencsik, **C. Janáky**, P.S. Tóth, B. Roósz, G. Sós, C. Visy:  
*Study on the electrodeposition of organic and inorganic thermoelectric materials for composite preparation*  
 Reaction Kinetics and Catalysis Letters, 96 (2009) 429-436  
**IF<sub>2008</sub>=0.610**
9. **C. Janáky**, G. Cseh, P.S. Tóth, C. Visy:  
*Application of classical and new, direct analytical methods for the elucidation of ion movements during the redox transformation of polypyrrole*  
 Journal of Solid State Electrochemistry, DOI 10.1007/s10008-009-1000-5  
**IF<sub>2008</sub>=1.597**
10. **C. Janáky**, G. Bencsik, Á. Rácz, C. Visy, NR. de Tacconi, W. Chanmanee, K. Rajeshwar:  
*Electrochemical Grafting of Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Into a Titanium Dioxide Nanotube Host Network*  
 Langmuir, közlésre benyújtva  
 $\Sigma_{IF}=12.892$

#### **Konferencia részvételek (előadások, posztterek)**

1. **C. Janáky**, C. Visy: Szóbeli előadás  
 Studies on solvation/desolvation of poly(3-methyl-thiophene) film by EQCM technique  
 2<sup>th</sup> European Student Conference on Physical, Organic, and Polymer Chemistry, Vienna 2004
2. **C. Janáky**, C. Visy: Szóbeli előadás  
 Studies on solvation/desolvation of poly(3-methyl-thiophene) film by EQCM technique  
 The 9<sup>th</sup> International Symposium for Students in Chemistry, Timisoara 2004
3. **C. Janáky**, C. Visy: Szóbeli előadás  
 The role of solvent during the preparation of conducting polymers and its participation in the redox transformations  
 Frühjahrssymposium, 7<sup>th</sup> Young Scientists Conference on Chemistry, Berlin 2005
4. **C. Janáky**, C. Visy: Szóbeli előadás  
 The role of solvent during the preparation and redox transformation of conducting polymers  
 IV. Hungarian Scientific Conference of Vojvodinian Students, Subotica 2005
5. **C. Janáky**, C. Visy: Poszter  
 Preparation of a poly(3-octylthiophene) /  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite  
 Frühjahrssymposium, 8<sup>th</sup> Young Scientists Conference on Chemistry, Konstanz 2006
6. **C. Visy**, E. Pintér, P. Makra, Z. A. Fekete, **C. Janáky**, G. Bencsik, Á. Patzkó:  
 Conducting Polymer Based Transition Metal Containing Composites  
 International Workshop on the Electrochemistry of Electroactive Materials, Saint-Petersburg 2006

7. C. Visy, I.Csízi, **C. Janáky**, Z. Fekete, G. Bencsik, Á. Patzkó, E. Pintér:  
Nanoscale composites of conducting polymers: characterization and possible applications  
ICSM Meeting, Dublin 2006
8. **C. Janáky**, C. Visy, P. Makra: Szóbeli előadás  
Poly(3-octylthiophene)/ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite: synthesis and characterization  
1<sup>st</sup> European Chemistry Congress, Budapest 2006
9. C. Visy, **C. Janáky**, G. Bencsik: Poszter  
Conducting polymer based nanocomposites: characterization and possible applications  
Nanotech Northern Europe, Helsinki, 2007
12. **C. Janáky**, C. Visy: Poszter  
Preparation of conducting polymer / magnetic iron-oxide nanocomposite materials  
Frühjahrssymposium, 9<sup>th</sup> Young Scientists Conference on Chemistry, Chemnitz 2007
13. E. Kriván, **C. Janáky**, G. Bencsik, C. Visy:  
Characterization and application possibilities of conducting polymer composites  
211th ECS Meeting - Chicago, Illinois, 2007
14. C. Visy, E. Kriván, **C. Janáky**, G. Bencsik:  
Synthesis and characterization of iron group element compound containing conducting polymer  
composites  
58th ISE Meeting, Banff, 2007
15. **C. Janáky**, G. Bencsik, E. Peintler-Kriván, C. Visy: Poszter  
Elektromosan vezető összetett anyagok, kombinált tulajdonságok, új lehetőségek  
Ipari Kapcsolatok Napja, Szeged, 2007
16. C. Visy, E. Kriván, **C. Janáky**, G. Bencsik:  
Conducting polymer composites as new electrodes for clean energy technologies  
6th Spring Meeting of ISE, Foz do Iguaçu, 2008
17. **C. Janáky**, C. Visy: Poszter  
Preparation of a polythiophene / magnetic iron-oxide nanocomposite  
1st International Conference on Functional Nanocoatings, Budapest, 2008
18. C. Visy, E. Kriván, **C. Janáky**, G. Bencsik:  
Conducting polymer based multifunctional composites  
CONPOEX EU6 Meeting, Borovets, 2008
19. **C. Janáky**, C. Visy: Szóbeli előadás  
Chemical and electrochemical synthesis of poly(thiophene-3-acetic-acid) – magnetite  
nanocomposite  
59th ISE Meeting, Seville, 2008
20. **C. Janáky**, C. Visy: Poszter  
Conducting polymer based magnetic nanocomposites – synthesis and characterization -  
2<sup>nd</sup> European Chemistry Congress, Torino, 2008

21. **C. Janáky**, C. Visy: Szóbeli előadás  
Magnetic nanocomposites based on conducting polymers – synthesis and characterization  
Szeged International Workshop on Advances in Nanoscience (SIWAN), Szeged, 2008
22. G. Bencsik, **C. Janáky**, C. Visy:  
Electrochemically synthesized conducting polymer based composite thin layer electrodes with photocatalytic and magnetic behaviour  
VI. International Workshop on Electrodeposited Nanostructures, Berndorf, 2008
23. **C. Janáky**, G. Bencsik, E. Kriván, A. Patzkó, E. Pinter, C. Visy:  
Conducting polymer based multifunctional nanocomposites  
Zing Nanomaterials, Playa del Carmen, 2008
24. G. Cseh, **C. Janáky**, G. Galbács, C. Visy, M. Rodriguez:  
Single shot thickness determination of thin layers by LIBS  
5th International Conference on LIBS (LIBS 2008), Berlin, 2008
25. **C. Janáky**, B. Endrődi, C. Visy: Poszter  
Chemical and electrochemical synthesis of conducting polymer based magnetic nanocomposites  
Frühjahrssymposium, 11<sup>th</sup> Young Scientists Conference on Chemistry, Essen, 2009
26. **C. Janáky**, O. Berkesi, E. Tombácz, C. Visy: Poszter  
Conducting polymer based electrode with magnetic behaviour: electrochemical synthesis of poly(3-thiophene-acetic-acid) / magnetite nanocomposite thin layers  
7th ISE Spring Meeting, Szczyrk, 2009
27. **C. Janáky**, G. Bencsik, E. Kriván, Á. Patzkó, E. Pintér, C. Visy:  
Multifunctional nanocomposites of conducting polymers  
First International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials, Tours, 2009
28. **C. Janáky**, B. Endrődi, E. Kriván, C. Visy:  
Properties of a polypyrrole/magnetite/vitamin B12 hybrid: a conducting polymer based electrode for bioelectrocatalysis  
216th ECS Meeting - Vienna, 2009
29. **C. Janáky**, B. Endrődi, C. Visy: Szóbeli előadás  
Synthesis, characterization and application of conducting polymer based magnetic electrodes  
216th ECS Meeting - Vienna, 2009