

**MTA ENERGIATUDOMÁNYI KUTATÓKÖZPONT  
IZOTÓPKUTATÓ INTÉZET**

1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29-33.; 1525 Budapest, Pf. 49.  
telefon: (1) 392 2531; fax: (1) 392 2533  
e-mail: wojnarovits.laszlo@energia.mta.hu; honlap: www.iki.kfki.hu

**I. A kutatóhely fő feladatai 2012-ben**

Az Izotópkutató Intézet feladatai négy fő kutatási irányba estek 2012-ben is: nukleáris analitikai, valamint sugárhatáskémiai módszerek fejlesztésére és alkalmazására, sugárbiztonsági kutató-fejlesztő tevékenység ellátására, továbbá felületkémiai és katalitikus vizsgálatok végzésére.

A *nukleáris analitika és kémia* vonatkozásában a kitűzött feladat a módszerek (PGAA, NAA, XRF, és Mössbauer spektroszkópia) fejlesztése és alkalmazása az anyagtudományok, a kémia, a kulturális örökség megismerése, a geológia, a biológia, a nukleáris adatok és a magfizika területén, továbbá az anyag makroszkópikus szerkezetének és a technikai eszközökben lezajló folyamatok vizsgálata volt neutron-, röntgen- és gamma-radiográfia illetve tomográfia felhasználásával. A nukleáris analitikai kutatóhely ezen kívül részt vett a Budapest Neutron Centrum (BNC) felhasználóinak kiszolgálásában az EU FP7 NMI3, az EU FP7 CHARISMA és az EU FP7 ERINDA projektekben, továbbá a NAP VENEUS08 konzorcium és egyéb pályázatok munkájában.

A *sugárhatáskémiai* területen nagyenergiájú sugárzások alkalmazásának és szennyvíz-kezelésre használható módszerek továbbfejlesztésének, vízben oldott szerves szennyezők lebontási folyamatainak, valamint polimerek sugárállóságának és sugárzásos módosításának (sugárzással iniciált ojtás) tanulmányozását tűzték ki feladatul.

A *sugárbiztonsági* kutató-fejlesztő tevékenység terén célul tűzték ki gamma spektrometria alkalmazását uránminták és reaktor üzemanyag reprocesszálságának vizsgálatára, a lumineszcencián alapuló dozimetria alkalmazási lehetőségeinek bővítését új detektoranyagok és új mérési eljárások kifejlesztésével, hosszú felezési idejű aktinidák meghatározási módszereinek kidolgozását biológiai és környezeti mintákban LA-ICP-MS technikával, Sunna doziméter film technológiai alkalmazási lehetőségeinek kiterjesztését infravörös emissziós mérésekkel, urán-oxid termékek felületi állapotjellemzőinek vizsgálatát ESCA és Auger elektron-spektroszkópiával, neutron-koincidenciás adatgyűjtő rendszer szoftverének fejlesztését és végül PuBe neutronforrások plutónium tartalma meghatározásának pontosítását.

*Felületkémiai és katalitikus* vizsgálatok terén célul tűzték ki egyrészt a C1 molekulák kémiai energiája felhasználhatóságának tanulmányozását metán száraz reformálásánál, másrészt katalizátorok fejlesztését biogázokból, illetve tüzelőanyag-cella táplálására szolgáló hidrogénből az N<sub>2</sub>O metánnal történő reakciójával, illetve a CO preferenciális oxidációjával történő eltávolítására, harmadrészt környezetvédelmi technológiák alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatát nagy szerves anyag tartalmú folyékony hulladékok nedves oxidációjában, valamint gázolajok kéntelenítésében, negyedrészt katalizátorok fejlesztését és tanulmányozását légnemű szennyezések és korom oxidációjára, ötödrészt arany tartalmú kétfémes katalizátorok alkalmazását aerob szelektív oxidációs folyamatokban, és végül növényolajokból származó olajsav katalitikus dekarboxilezésének vizsgálatát radioizotópos nyomjelzéstechnika alkalmazásával.

Az előbb részletezett feladatokon túlmenően az intézet ellátja a hosszú múltra visszatekintő műszaki szakértői háttértevékenységet is az Országos Atomenergia Hivatal számára nukleáris

biztosítéki vonatkozásokban, ill. a sugárbiztonság, a radioaktív anyagok szállítása, nyilvántartása, és ismeretlen eredetű radioaktív anyagok azonosítása terén.

## II. A 2012-ben elért kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

### a) Kiemelkedő kutatási és más jellegű eredmények

*A nukleáris analitika és kémia terén*

*Kiemelkedő kutatási eredményeket a nukleáris analitika terén ipari katalitikus folyamatok in situ & in beam PGAA módszerrel történő vizsgálata hozott.*

A műanyagipar számára fontos a nyomnyi mennyiségű alkinek eltávolítása szelektív hidrogénezéssel etilén és propilén betáplálási anyagáramból. A folyamathoz használt referencia katalizátor a palládium. *In situ & in beam* vizsgálataik szerint a reakció a felszín közeli Pd-C rétegben megy végbe és sebessége független a tömbfázis H/Pd arányától. A felületi H kötés energiája a Pd-C fázisban lecsökken, ezért a felület borítottsága alacsony. Az eredmények értelmezését DFT (Periodic density-functional theory) számítógépes szimulációk és más technikákkal (pl. in-situ XPS) végzett párhuzamos mérések támasztják alá. A Pd-al kapott eredmények nyomán sikerült előállítani olyan Al-Fe intermetallikus analóg vegyületeket, amelyek a Pd-nál jelentősen olcsóbbak, mégis összemérhető aktivitást és szelektivitást lehet velük elérni. Az eredményeket a Nature Materials folyóiratban publikálták. Egy másik, iparilag fontos folyamat a sósav oxidálásával történő klórgyártás. Ezt az ún. Deacon-reakciót ( $2 \text{HCl} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) RuO<sub>2</sub> katalizátoron vizsgálták. Az eredmények szerint a felület reakciókörülmények között csaknem telített klórral és ez nem távolítható el könnyen az oxigén arányának a betáplálási anyagáramban történő növelésével. A hőmérsékletfüggő *in-situ & in beam* mérések segítségével kimutatták, hogy a reakciósebesség a hőmérséklettől a felületi borítottságon keresztül függ, nem pedig a sebességi tagon keresztül. A mérési sorozat eredményeinek értelmezéséből cikket jelentettek meg a Nature Chemistry folyóiratban. A Deacon-reakciót vizsgálták RuO<sub>2</sub> helyett Hf, Zr, La, Y-mal adalékolt CeO<sub>2</sub> katalizátorok alkalmazásával is. CeO<sub>2</sub>-alapú katalizátorok a RuO<sub>2</sub>-hoz hasonlóan hatékonyak bizonyultak sőt, jól megválasztott Hf és Zr mennyiséggel szignifikánsan növelni lehet a CeO<sub>2</sub> aktivitását. Az adalékolt cérium-oxid a RuO<sub>2</sub>-hoz képest mintegy fele költséggel állítható elő és rövid idő alatt már eljutott az ipari alkalmazhatóságig.

*A nukleáris analitika terén elért további eredmények is többértékűek, ahogy az alábbi felsorolás is mutatja:*

A PGAA analitikai módszer továbbfejlesztése és a spektroszkópiai adatbázis tökéletesítése

A TU Braunschweiggel együttműködésben optimalizálták és alkalmazták a nyomdetektoros módszert Co-Re ötvözetek börtartalmának mérésére és a bór eloszlásának vizsgálatára. A PGAA módszer, valamint a komplementer szilárdtest nyomdetektoros (SSNTD) technika és az optikai mikroszkópia együttes alkalmazásával bizonyították, hogy az adalékolt bór térbeli eloszlása a bór mennyiségétől függően változik, a szemcsehatárokon feldúsul, és ezért alkalmas az anyag tulajdonságainak javítására.

A közvetlen PGAA módszer kimutatási határánál kisebb mennyiségű urán roncsolásmentes meghatározására kidolgozták a hidegneutron alapú neutronkoincidencia számlálás módszerét, amellyel µg-szinten tudtak mérni <sup>235</sup>U-t. Ez több nagyságrenddel alacsonyabb a jelenlegi safeguards módszerekkel elérhetőnél.

A Lawrence Berkeley Laboratóriummal együttműködve folytatták a W izotópok spektroszkópiai adatainak feldolgozását. A katalitikus mérésekhez kapcsolódóan ellenőrizték a Hf, Zr, La, Y elemek spektroszkópiai adatait és adatpontosító újraméréseket is végeztek.

A nukleáris anyagok vizsgálata PGAA-val témájában nukleáris hulladékok komponenseinek pontosabb azonosításához jülichi kutatókkal közösen újabb méréseket végeztek új,  $^{237}\text{NpO}_2$  és  $^{242}\text{PuO}_2$  mintákon az EU FP7 ERINDA projekt keretében.

Az MTA EK Fűtőelem és Reaktoranyagok Laboratórium (FRL) munkatársaival közösen E110 és E110G cirkónium fűtőelem burkolatok magas hőmérsékletű ( $1200\text{ C}^\circ$ ) vizes/gőzös kezelését követő vizsgálatát végezték el. A kezelés során a korróziós rétegben cirkónium-hidrid is képződik. A PGAA módszerrel a fűtőelem burkolatok hidrogén tartalmát mérték és hasonlították össze. Megállapították, hogy az új típusú E110G burkolatban sokkal kevesebb a hidrogén, ami alapja lehet e burkolat engedélyeztetési folyamatának.

(n,  $\gamma$ ) és ( $\gamma, \gamma'$ ) méréseket végeztek az EFNUDAT projekt keretében  $^{77}\text{Se}$  és  $^{78}\text{Se}$ , továbbá a  $^{195}\text{Pt}$  és  $^{196}\text{Pt}$  dúsított izotóppárokon a PGAA és a drezdai ELBE berendezéseken. A mérés célja olyan gamma erősségfüggvény (GEF) meghatározása volt, amely mindkét gerjesztési folyamatot egyszerre leírja, mivel az irodalomban a két módszerből meghatározott GEF nem mindig egyezik meg. Mindkét atommag párnál sikerült egy közös GEF-fel leírni a mért gamma spektrumokat, az eredményüket két cikkben adták közre.

Az Institute Laue-Langevin 46 HPGe detektoros (tíz clover és hat HPGe) EXOGAM mérőberendezésével a PFB1 neutronnyalábon egy három napos mérésorozatot végeztek (n,  $\gamma\gamma\gamma$ ) tripla koincidenziák mérésére. A mérés célja, hogy információt nyerjenek a Pigmy (neutron bőr) rezonanciáról, további cél spin és paritás információ szerzése. A mérés során összegyűjtött 1,5 Tbájt adat feldolgozása folyamatban van.

Geológiai vizsgálatok körében számos mélytengeri szerpentin kőzetminta börtartalmának meghatározásával megállapították, hogy a mélytengeri kőzetek Cl, B, Sr, U, Sb, Rb, Cs gazdagodása a szerpentinisedés átalakulási folyamatának eredménye.

MTA EK, MTA Wigner FK, MTA-ELTE geológiai kutatócsoport, ELTE, BME együttműködésben egy speciális geológiai alkalmazás, a REGARD elnevezésű müontomográf tesztelésére is sor került. A berendezést geológiai kőzetinhomogenitások, ill. hazai barlangokban ismeretlen járatok feltérképezésére használják. A mérések célja a kicsi, de ismert tömegabszorpció vizsgálata a müonbeütések számának alakulására. Abszorbensnek az alacsony háttérű mérőkamra falát (Fe és Pb), tovább nagy mennyiségű ólomtéglából épített vízszintes falat használtak különböző vastagságban ( $0\text{-}460\text{ g/cm}^2$ ). A kapott kalibrációs görbe lehetővé teszi különféle tárgyak müonradiográfiás képének értelmezését.

Összefoglaló könyvfejezetben tekintették át a nagyaktivitású radioaktív hulladékok agyagkőzetekben történő végleges elhelyezésének vonatkozásait, és ugyanott beszámoltak az EU FP7 ReCosy program keretében a Bodai Aleurolitból származó kőzetmintákon végzett négyéves munkájukról is, amely a hosszú felezési idejű anionos ( $^{99}\text{TcO}_4^-$ ,  $\text{H}^{14}\text{CO}_3^-$ ) ill. kationos ( $\text{UO}_2^{2+}$ ) komponensek szorpciós és migrációs sajátosságaival volt kapcsolatos.

Archeometriai kutatások keretében folytatták a pattintott és csiszolt kőeszközök nyersanyagainak eredetmeghatározását. A vizsgált kőeszköz nyersanyag típusok a pattintott kőeszközök esetében az obszidián, kovakőzetek, szeletai kvarcporfír, a csiszolt kőeszközök esetében zöldpala, nagynyomású metamorfit voltak. Az európai obszidiánok körét lengyelországi és romániai mintákkal bővítették. A lengyelországi mintákról megállapították, hogy egyértelműen „Kárpáti 1” típusúak, a romániai minták „Kárpáti 1” vagy „Kárpáti 2” típusúak, esetükben a méloszi eredet a PGAA-mérések alapján nem valószínűsíthető. A kutatást a K 100385 sz. OTKA pályázat, ill. a CHARISMA FP7 pályázat is támogatta. Ez utóbbi projekt keretében végzett másik esettanulmányban az olaszországi Caput Adrié területén felfedezett „Ljubljana típusú” rézkori csiszolt kőbalták nyersanyagának eredetét vizsgálták. Vizsgálataik megerősítették azt a feltevést, hogy a kőeszközök nyersanyaga közeli szlovéniai területekről származik.

A CHARISMA FP7 keretében zajló görög együttműködésben módszertani vizsgálatokat végeztek Kr.e. 16-13. sz-i műkenéi üvegeken. Az értékes leletek korrózióját, ill. lehetséges származási helyét vizsgálták. A tömbi PGAA elemösszetételt összehasonlítva a felületi PIXE és mikroszkopikus tartományra vonatkozó SEM-EDS eredményekkel meghatározták, hogy mely kémiai összetevők mennyisége változik az üvegek korróziója során.

Kr. e. 3200-ból származó korrodált egyiptomi fémgyöngyöket vizsgáltak ToF-ND, PIXE, PGAA és radiográfia módszerével. A fémgyöngyök a mérések szerint valószínűsíthetően meteorit eredetűek és bizonyíthatóan tűnik, hogy ezek a legkorábbi ismert, ember által megmunkált vastárgyak.

Bolíviában feltárt régészeti lelőhelyekről, ~Kr. u. 1200-1500-ból származó inka kerámiákat vizsgáltak. A különböző analitikai módszerekkel (PGAA, INAA, XRF) az összetétel változásán keresztül jól nyomon követhető volt a felhasznált nyersanyagok, ill. a készítési technikák változása a Késő Átmeneti Kortól (Kr.u. 1000/1200-1438) a Klasszikus Inka Korig (1438-1535).

Dinamikus Neutron Radiográfia (DNR) vizsgálatokhoz szuperkritikus vízzel hűtött reaktor fűtőelem hűtő csatornáját tervezték és építették meg. A modellberendezésben a hőmérséklet elektromos fűtéssel változtatható a meleg ágon, a hideg ág pedig hűthető, így a zárt rendszerben megvalósul a víz keringése. A beépített 16 hőmérő, négy abszolút nyomásmérő, két differenciális nyomásmérő és egy tömeg-áramlásmérő lehetővé teszi a rendszer termodinamikai állapotának a nyomon követését. A mérőeszközök által mért értékeket egy számítógép olvassa ki és tárolja 0,2 másodpercenként. A DNR segítségével nyomon követhető a víz / szuperkritikus víz átalakulás és az esetleges buborékképződés. A rendszerrel végzett mérések hozzájárulnak a szuperkritikus hűtés folyamatának megértéséhez.

Mössbauer-spektroszkópiás módszerrel vizsgálták fém-szerves (MOF) vázak kialakulását. Megállapították, hogy a szintézis komponenseinek kis módosítása más-más kialakuló szerkezethez vezethet, pl. MIL-100(Fe) helyett MIL-45(Fe) keletkezik, ha a szintéziselegyenben az 1,3,5-trikarboxi-benzoésav és FeCl<sub>3</sub> mellett a víz komponens helyett aceton-víz 1:1 elegyét használják. N<sub>2</sub>O bontására, ill. ammónia redukálására használt Mg/Al/Fe réteges szerkezetű kettős hidroxidokból készített katalizátorokat vizsgáltak *in-situ* technikával. Megállapították, hogy a katalitikus hatás kialakításában az Fe-O-Fe-O-Fe láncok stabilizálódásának és méretének jelentős szerepe van. Ehhez hasonlóan, MCM-41 és SBA-15 hordozós kobalt ferrit katalizátorokat hasonlítottak össze toluol teljes oxidációjában. *In situ* mérésekkel kimutatták, hogy a hatékonyabb katalizátoron (CoFe-MCM-41) a vas nagyobb diszperzitásban található és így nagyobb hányada vesz részt a redox reakciókban.

*Sugárhatáskémiai vizsgálatok* is több irányban folytak.

Vízben oldott szerves szennyezők nagyenergiájú sugárzással történő lebontása terén gyógyszer alapanyagok, intermedierek: 2,6-diklóranilin, acetovanillon, ketoprofen és klóramfenikol sugárzással indukált lebontását vizsgálták híg, vizes oldatban. Eredményeik azt bizonyították, hogy víz radiolízise során keletkező hidroxilgyök mindegyik vegyület esetében a benzol gyűrűt támadta meg. A keletkező köztitermék hidroxil-ciklo-hexadienil gyök, amely oxigénmentes oldatban 2,6-diklóranilin esetén anilino gyökké, acetovanillon esetében fenoxil gyökké alakul át. Oxigénnel telített oldatokban a hidroxil-ciklo-hexadienil gyökből peroxi gyök keletkezik, ez láncreakcióban bomlik és a bomlás mineralizációhoz vezet. A kis dózisoknál keletkező köztitermékek gyakran toxikusabbak, mint az alapvegyület, a dózis növelésével azonban a köztitermékek is lebomlanak, ezzel az oldat toxicitása is csökken.

Polimerek sugárállósága és sugárzásos módosítása terén gamma-sugárzással iniciált ojtással glicidil-metakrilát (GMA) monomerrel funkcionizálták a pamut-cellulózt, hidrofóbbá téve a

cellulóz felületét. Az ojtást előzetes besugárzás után (PIG) és a besugárzással egy időben (SG) is végrehajtották. A PIG módszerrel készült minták homogénebbek voltak, az SG módszerrel azonban nagyobb ojtási hatékonyságot kaptak, bár itt a homopolimer keletkezését nem sikerült elkerülniük. A reakció paraméterek (ojtási módszer, dózis, monomer koncentráció, oldószer összetétel) hatását pásztázó elektronmikroszkóppal, gravimetriásan és FTIR spektroszkóppal követték nyomon. A minták vízfelvétele csökkent, míg a peszticid molekulák adszorpciója vizes oldatukból növekedett az ojtási hatékonysággal. Az adszorpció tovább növekedett, amikor az SG módszer alkalmazásakor ciklodextrint adagoltak ojtás előtt a monomer oldathoz. A módszer továbbfejlesztésével mezőgazdasági szennyvizek tisztításához adszorbens állítható elő.

Az elektron-ion ikerrekombinációra korábban kidolgozott elméletüket sikerrel alkalmazták folyékony és szuperkritikus ammóniára; a modellt klasszikus töltéshordozó párokra is kiterjesztették.

*A sugárbiztonsági kutató-fejlesztő tevékenység körében az alábbi eredmények születtek:*

#### Gamma spektrometriai vizsgálatok keretében

- végzett  $^{232}\text{U}$  meghatározás során néhány lefoglalt, továbbá etalon uránminta is reprocesszált anyagot tartalmazónak bizonyult, amit az ezzel korreláló  $^{236}\text{U}$  tömegspektrometriai mérések is megerősítettek. Az eddig megvizsgált paksi reaktor-üzemanyag nem tartalmaz reprocesszált anyagot. A  $^{232}\text{U}$  izotóp a természetes uránban nem található meg, azonban minden dúsított (és szegényített) uránt tartalmazó anyagban található  $^{232}\text{U}$  minimális, de kimutatható mennyiségben. Ez valószínűleg a dúsítómű reprocesszált anyaggal való szennyezettségére utal.
- A paksi atomerőművi friss fűtőelem-kazetták dúsításának verifikálása folytatódott. Ennek keretében meghatározták az újabb szállítmányokból vett profilírozott kazetták szélső és belső üzemanyag-pálcáinak dúsítását gamma-spektrometriai módszerekkel és MCNP szimulációk segítségével.
- Kiemelkedő eredmény, hogy az atomerőművi fűtőelem-kazetták Pakson számítással meghatározott és deklarált kiégésének mérésére gamma spektrometriai módszert dolgoztak ki. A kiégett fűtőelemek sugárzásának MCNP modellezésével határozták meg a különböző mélységben lévő pálcák járulékait. A mérések 3-4 %-os (1 STD) hibája alapján az eddigi kiégés-számítások 13 %-osra becsült bizonytalansága csökkenthető, ezáltal nő a biztonsági határig fennmaradó tartalék, így végső soron a kiégés ill. kampányhossz növelhető.
- A BOOSTER (FP-7 EU program) keretében elvégezték az érkezett Canberra műszerek kalibrálását bio- (vér- és vizelet-) mintákkal, továbbá a CEA által kifejlesztett CdZnTe-os gamma kamera tesztelését különféle sugárforrásokkal.
- A SCINTILLA (FP-7 EU program) témájában a SYMETRICA brit cég NaI(Tl) és plaztik szcintillációs detektorai teszteléséhez próbapad készült és tesztmérések történtek. Kialakították egy teszt- és oktatólaboratórium koncepcióját, amely a nukleáris és radioaktív anyagok detektálására és analizálására alkalmas detektorok fejlesztésére, tesztelésére és használatuk oktatására szolgál, és az ehhez tartozó alap infrastruktúra is elkészült.
- Urán-oxid minták felületi rétegeit vizsgálták röntgen-fotoelektron és Auger-elektron spektroszkópia módszerével. Megállapították, hogy az uránium, oxigén és szén csúcsok jól azonosíthatók és a kémiai eltolódások is detektálhatók az egyes csúcsokon. Nukleáris biztosítéki célú alkalmazásokhoz a vizsgált minták körének bővítése szükséges.

Neutronkoincidenziás vizsgálatok körében A NAÜ magyar támogatói program keretében az intézetben kidolgozott PTR-32 neutron koincidenziás adatgyűjtő rendszert továbbfejlesztették. A NAÜ igényeire tekintettel korszerűsítették a készülék vezérlő és adatgyűjtő szoftverét, elősegítendő a berendezés nukleáris biztosítéki célú nemzetközi elterjedését és használatát. Ugyanezzel a PTR-32 berendezéssel tesztelték a Passive Scrap Multiplicity Counter (PSMC) neutron detektort az ITU Nuclear Safeguards and Forensics részlegében. A mérések során hiteles hasadóanyag minták és magas dúsítási fokú fém plutónium minták sikeres vizsgálatára is sor került.

Pu-Be neutronforrások plutónium-tartalmának meghatározását a fajlagos neutronhozamok pontosabb számításával és mérésével, továbbá a töltetek radiografálásával végzett sűrűség-meghatározás alapján pontosították.

Dozimetriai anyagok és módszerek fejlesztése körében a retrospektív dozimetria terén optikailag stimulált lumineszcencia (OSL) módszerrel vizsgálták felületszerelt (SM) ellenállások dozimetriai szempontból hasznosítható tulajdonságait különböző gyártóktól származó elektronikus eszközökben. Megállapították, hogy OSL eljárással szélesebb tartományba eső utólagos dózis becslésére nyílhat mód, mint TL módszerrel. Ugyanakkor az ellenállások információvesztése az OSL technikával végzett mérések során a vártnál gyorsabbnak mutatkozott. A besugárzott ellenállások lumineszcenciájának spektrális elemzésével megállapították, hogy az irodalomban leírt kísérleti összeállítás nem ideális a célra. Megkezdték egy, az elektronikai eszközökből származó SM ellenállások OSL elven alapuló vizsgálatán alapuló dózisbecslésre szolgáló készülék kifejlesztését, mely a terepi viszonyok között is alkalmazható.

Doziméter alapanyag vizsgálatokat is végeztek kettősen, rézzel együtt-szennyezett  $\text{CaSO}_4:\text{Tm,Cu}$  ill.  $\text{CaSO}_4:\text{Dy,Cu}$  doziméter alapanyagokat alkalmazva. Ezek a rézmentes anyagokétól eltérő dozimetriai jellemzőkkel (szélesebb lineáris dóziszválasz tartomány, kedvezőbb kifutási görbe, kisebb érzékenység) rendelkeznek. Szisztematikus méréssorozattal magyarázatot találtak a réz hatására: megmutatták, hogy a réz beépülése koncentrációtól függően lecsökkenti a besugárzás során keletkező szabad töltéshordozók csapdába fogódásának valószínűségét. A méréssorozat lehetővé tette a legkedvezőbb összetétel meghatározását is. Egy másik, potenciális doziméter alapanyag, a szennyezett litium-tetraborát spektrálisan felbontott TL emissziójának vizsgálata során megállapították, hogy a TL emisszió egyértelműen az adalékanyagokra ( $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ) jellemző hullámhosszakon történik. Tehát a szennyezők lumineszcencia centrumként vesznek részt a TL folyamatban.

Technológiai doziméter fejlesztést is végeztek a Li-halogenid ( $\text{LiF}$ ) tartalmú (un. „Sunna”) doziméterek körében. Ezen eszközök érzékenységi tartománya 1 – 200 kGy dózistartományba esik. Az érzékenységi tartomány alsó határát kiterjesztették az 1 kGy alatt dózisokra az emittált sugárzás infravörös tartományban történő mérésével. A felismerésre alapozva 50 – 1000 Gy besugárzási tartományban meghatározták a  $\text{LiF}$  doziméter alapanyag 1040 nm hullámhosszon adott közel lineáris optikai válaszjelét.

Tömegspektrometriai mérések kapcsán biológiai minták vizsgálatával foglalkoztak. Kis mennyiségű radioaktív anyag-tartalom gyors és pontos meghatározása fontos lehet esetleges terrorcselekményeket, vagy nukleáris baleseteket követően a sérültek belső szennyezettségének meghatározásához. Ehhez kapcsolódóan vér és vizelet mintákban hosszú felezési idejű aktinidák (elsősorban urán) mennyiségének LA-ICP-MS módszerrel történő gyors meghatározási eljárását dolgozták ki és kalibrálták a minta mátrix-hatásának figyelembe vételével. Az urán alsó kimutathatósági határa vérben 4,2 pikogramnak, vizeletben 8,5 pikogramnak adódott. A lézerablációs elemzések mellett egy kémiai elválasztásos,

folyadékokat alkalmazó pontosabb és érzékenyebb analitikai módszert is kidolgoztak a biológiai minták tömegspektrometriai elemzéseikhez.

Hasonló célból lézer indukált plazma spektrometriás (LIBS) módszert is fejlesztettek biológiai folyadékok elemzéséhez, amely módszert alkalmazva a cézium mennyisége pontosan meghatározható egy cseppnyi vérből, vagy vizeletből. Sor került egy hordozható LIBS berendezés beszerzésére is. A célkitűzések szerint a készüléket alkalmassá teszik arra, hogy megfeleljen az Országos Atomenergia Hivatal és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség elvárásainak és igényeinek, azaz legyen alkalmazható hatósági elemzések kiegészítéseként terepi mérésekre, nukleáris anyagok helyszíni azonosítására, urán-tartalmú minták dúsítási fokának meghatározására.

### *A felületkémi és katalízis kutatások terén elért főbb kutatási eredmények*

#### Hidrogén előállítás és tisztítás kapcsolatos kutatások

A hazai nagy CO<sub>2</sub> tartalmú metán kutak, ill. a biogáz hasznosításának egyik lehetősége a metán katalitikus száraz reformálása ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 = 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2$ ). A folyamatban aktív és széndepozitum képződéssel szemben ellenálló katalizátor fejlesztésével kapcsolatos kutatások során megállapították, hogy az egyfémű Ni/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> minták katalitikus tulajdonságai függetlenek a preparálási módszertől, ha a nikkeltartalmuk és a részecskeméretük megegyezik. A MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> hordozós, szol módszerrel kialakított kétfémű NiAu fázis a magas hőmérsékletű előkezelések és katalitikus folyamat során átstrukturálódik. A hozzáadott arany negatív hatással volt a katalizátor stabilitására és a szénlerakódás eltávolíthatóságára.

A N<sub>2</sub>O bontásában és az N<sub>2</sub>O + CH<sub>4</sub> reakcióban extra aktivitású, korábbiakban kifejlesztett többfunkciós M/Ga/H-ZSM-5 (M: Fe, Co, Ni, Mo, Ru, Pd, Ag, Ir, Pt, Au) katalizátorok két csoportra oszthatók: a metán jelenléte Pt és Pd esetén növelte a N<sub>2</sub>O konverziót, a többi fém esetén nem volt hatása. A N<sub>2</sub>O eltávolítása a szén-monoxidot is tartalmazó biogáz hasznosítása esetén is fontos lehet, ezért a katalizátorrendszer alkalmazhatóságát megvizsgálták N<sub>2</sub>O + CH<sub>4</sub> + CO elegyben is. Megállapították, hogy a 0,5 % CO tartalom a Pt reverzibilis dezaktiválódását okozza, Fe esetén csökkenti az N<sub>2</sub>O + CH<sub>4</sub> reakciót. Ez azzal magyarázható, hogy a Pt esetén a versengő N<sub>2</sub>O + CH<sub>4</sub> és CO + CH<sub>4</sub> reakciók különböző aktív centrumokon mennek végbe.

A hidrogén tüzelőanyagcellák táplálására szolgáló hidrogénből az elektródkatalizátort mérgező szén-monoxid eltávolítására a katalitikus preferenciális oxidáció (PROX) a legígéretesebb folyamat. Kétfémű PtSn katalizátorok vizsgálatában kimutatták, hogy az oxigénnel, majd hidrogénnel végzett kezelés hatására nagyobb a Pt koncentráció a felületközeli rétegekben, mint a csak hidrogénben történt kezelés után, s ez nagyobb CO konverziót eredményezett a PROX reakcióban. *In situ* XPS vizsgálatok alapján az alkalmazott körülmények között fémes Pt és Pt<sub>3</sub>Sn ill. Sn-oxid jelenléte, víz és felületi hidroxidok feldúsulása jellemző a PROX folyamatban.

Nemesfém mentes oxidkatalizátorokat is vizsgáltak a PROX folyamatban. E célból oxálsavas lecsapással és azt követő hőmérséklet programozott oxidációval állítottak elő jelentős fajlagos felülettel (>50 m<sup>2</sup>/g, MnO<sub>x</sub>>Mn<sub>m</sub>CoO<sub>x</sub>>CoO<sub>x</sub>) rendelkező Mn- és Co-oxid valamint mangánnal promoveált kobalt-oxid (Mn/Co=5/95 ill. 12/88 atomarányú) mintákat. XRD vizsgálatok szerint a MnO<sub>x</sub> kb. 25% Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> mellett amorf fázist, a CoO<sub>x</sub> jól kristályosodott Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-t, a egyes oxid mangánnal szubsztituált Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> fázist tartalmazott. Figyelemreméltó a egyes oxid minta a CoO<sub>x</sub>-ét jelentősen meghaladó stabilitása a szintereléssel szemben. TPR-TPO vizsgálatok kimutatták, hogy a Mn beépülés módosította a Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> redox tulajdonságait. A PROX reakcióban a katalitikus tulajdonságok (aktivitás, CO oxidációs szelektivitás) az MnO<sub>x</sub><Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub><Mn<sub>m</sub>Co<sub>3-m</sub>O<sub>4</sub> sorrendben javultak ugyanakkor a folyamat során a katalizátorok különböző mértékben redukálódtak, ami a CO oxidációs aktivitást

csökkentette. Reoxidációval a minták többé-kevésbé regenerálhatók. A  $\text{Co}_3\text{O}_4$  redukciója hatására az ismételt hőmérséklet programozott PROX ciklusokban egyre növekszik a metánképzési hajlam, ami a CO oxidációnál kedvezőtlenebb. Ez a hajlam nem lépett fel a többi mintán. A katalizátorminták fajlagos felületét is figyelembe véve a vegyes oxid mintán szinergikus hatást tapasztaltak, ami feltételezhetően a vegyes oxidban az oxigén kötési energiája kedvező módosulásának következménye.

#### Alternatív energiával kapcsolatos kutatások

Triglicerideket és zsírsavakat tartalmazó növényi olajokból történő biodízel előállításához kapcsolódóan olajsav dekarboxilezését vizsgálták hidrogénező kezelés során szulfidált alumínium-oxid hordozós NiMo (P tartalommal) és NiW katalizátorokon. Speciális mikroanalitikai reaktort hoztak létre az aktivitás és szelektivitás vizsgálatára, valamint a folyamat mechanizmusának és a katalizátorból történő kénkioldódás  $^{14}\text{C}$ - és  $^{35}\text{S}$ -nyomjelzéssel történő vizsgálatára. A kifejlesztett katalitikus berendezés és mérőmódszer alkalmas különböző katalizátorok növényi olajok hidrogénes kezelésében történő összehasonlító vizsgálatára.

#### Környezetvédelmi katalitikus technológiákkal kapcsolatos kutatások

A katalitikus nedves oxidáció szükséges és elégséges mértékét határozták meg szennyvíztisztításban, amely biztosítja a kezelt szennyvíz biodegradálhatóságát a szerves széntartalom teljes eltávolítása nélkül. Modell vegyületek vizes oldatai katalitikus oxidációjának hőmérséklete  $180^\circ\text{C}$ -ról szobahőmérsékletre volt csökkenthető besugárzás alkalmazásával. Monolit katalizátorokat minősítettek valós szennyvizek nedves oxidációjában.

Üzemanyagok kéntelenítésével kapcsolatban tiofén modell vegyület alumínium-oxid hordozós Ni, Mo és NiMo katalizátorokon végzett hidrodészulfurálásában (HDS)  $^{35}\text{S}$ -nyomjelzéssel vizsgálatokkal bizonyították, hogy a HDS folyamattal egyidejűleg a tiofén reciklizációja is megtörténik. Butadién és a katalizátor kéntartalma kölcsönhatásának eredményeképpen, heterociklizáció révén keletkezik a tiofén. A katalizátorok heterociklizációs aktivitásának sorrendje hasonló a tiofén hidrodészulfurálása során tapasztaltnak. A reakció konverziójának növekedése az aktiválási energia növekedésével párosul. Ebből következik, hogy a katalizátorok aktív helyei és a reagáló molekula közötti kisebb aktivitású katalitikus helyek számának növekedése túlkompenzálja a katalizátor és a reagáló molekula közötti gyengébb kölcsönhatásból következő sebességcsökkenést.

#### Nagyszелеktivitású katalitikus folyamatokkal kapcsolatos kutatások

Kétfémes aranyalapú katalizátorok szelektív oxidációs alkalmazhatóságát feltérképező kutatások keretében, amelyet glükóz és benzil alkohol modell vegyületek és  $\text{O}_2$ , mint reaktáns alkalmazásával végeznek, folytatták a hordozós AuAg rendszer tanulmányozását. Ezüst nitrát vizes oldatban, stabilizátor jelenlétében végzett redukciójával előállított Ag szolban  $\text{HAuCl}_4$  redukciójával ötvözet jellegű kétfémes részecskék jöttek létre az UV-vis, HRTEM és XPS vizsgálatok szerint. Különböző Ag/Au atomarányú kétfémes szolokat adszorbeáltak  $\text{SiO}_2$  hordozón. A szerves maradványok eltávolítását szolgáló kalcinálás hatására Au- $\text{Ag}_2\text{O}$  szerkezet keletkezett, amint az XPS eredmények mutatták. Optimalizált körülmények között mind a kétfémes, mind az analóg egyfémes minták 100%-os szelektivitással képeztek glükonsavat glükóz szelektív oxidációjában. Szinergikus hatás volt tapasztalható az  $\text{Ag}/\text{Au} \leq 0,5$  összetételek esetén. Fordított arányosságot tapasztaltak az aktivitás és az XPS-szel meghatározott felületközeleli Ag/Au atomarányval. Az  $\text{Ag}_2\text{O}$  jelenléte az Au mellett vagy felületén valószínűleg megnöveli az  $\text{O}_2$  adszorpciót ezzel növelve az aktivitást, azonban a



glükóz adszorpciójához szükséges kiterjedt Au felületek számát csökkenti, ami aktivitáscsökkenést okoz.

Megkezdődött az AuCu kétfémes katalizátorok szelektív oxidációban történő vizsgálatához különböző szerkezetű kétfémes minták előállítása. Ötvözet és mag/héj szerkezetű AuCu nanorészecskéket állítottak elő vizes szolokban és adszorbeáltak  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  hordozókon. A szolokat UV-vis spektroszkópiával és TEM-mel jellemezték, a hordozós mintákat nagyfeloldású TEM-mel is tanulmányozták.

Tanulmányozták az aszimmetrikus heterogén katalitikus hidrogénezést, az aszimmetrikus indukció katalitikus és molekuláris feltételeit heterogén katalitikus hidrogénezésekben. 2- és 3-metilciklohexanon (S)-prolin redukív alkilezésével végzett kinetikus rezolválását és 3,5-dimetil 2-ciklohexénon aszimmetrikus hidrogénezését vizsgálták. Megállapították, hogy a 2-metil származék esetében tapasztalható számottevő enantioszelektivitás, de ez is elmarad a trimetilciklohexanonéhoz képest. A ciklohexénon származék hidrogénezése egy sztereoiszomert (mezo) eredményez.

#### Reaktorbiztonsággal kapcsolatos korróziós kutatások

Cirkónium és víz normális üzemi hőmérséklet feletti ( $> 900$  °C) reakciója a nukleáris fűtőelemek burkolatának felgyorsult degradációját eredményezi. ATWS típusú balesetek esetén megnövekedhet a nyomás (pl. 150 bar alakulhat ki egy órán át is). Egy hőmérséklet és nyomásszabályozóval ellátott speciális autoklávot tartalmazó kísérleti berendezést építettek az oxidációs sebesség nyomásfüggésének tanulmányozására különböző Zr alapú burkolatanyagokon  $1000^\circ\text{C}$ -ig és 150 bar nyomásig. Zircaloy-4 és Zr-1%Nb (E110) mintákon kapott kezdeti eredmények a 30 perc alatt mért átlagos oxidációs sebesség exponenciális nyomásfüggését mutatták. Az oxidációs sebesség E110 mintán tapasztalt nagy szórását inkubációs periódus jelenlétével magyarázták, amelynek időtartama statisztikusan változik.

### **b) Tudomány és társadalom**

Az ELTE-n rendezett „80 éves a neutron” című megemlékezésen, valamint az MTA Tudomány Ünnepe rendezvénysorozat keretében laborlátogatással egybekötött összefoglaló előadást tartottak a PGAA analitika alkalmazásairól.

Az egykori Központi Fizikai Kutatóintézetbe (KFKI) látogatott Farkas Erika „A hely” új sorozatában március 19-én (MR1 Kossuth rádió). A csillebérci kutatóparkban először a kutatóreaktort és a hozzá tartozó különleges nukleáris analitikai munkákat mutatták be. A felvétel során készített kép és hanganyag a

[http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=SQYy6HL7KcA](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=SQYy6HL7KcA)  
címen tekinthető meg.

Április 6-án a MOL Downstream portfólió kutatás-fejlesztés vezetői látogatást tettek az intézetben. Az intézet munkatársai előadásokon ismertették az esetleges közös érdeklődésre számot tartó, rendelkezésre álló módszereket és eljárásokat. Az előadásokat konzultáció követte.

### **III. A kutatóhely hazai és nemzetközi kapcsolatai 2012-ben**

A nukleáris analitika terén a hazai kapcsolatok között kiemelkedően fontosak a Magyar Nemzeti Múzeummal, a Budapesti Neutron Centrum tagintézményeivel (Wigner FK RMI és SzFI) és kutatócsoportjaival, a MTA CSFK, az ATOMKI, valamint az ELTE Középtan-Geokémiai Tanszék munkatársaival fennálló együttműködések. A nagyaktivitású nukleáris

hulladékok elhelyezése geológiai vonatkozásaiban a Mecsekérc Zrt-vel fennálló kapcsolatok fontosak.

Nemzetközi kapcsolataik keretében számos együttműködés folyik a DG JRC IRMM (Belgium), az FZ Jülich, a HZ Drezda, a LBNL (USA), a Károly Egyetem (Csehország), a NAÜ nukleáris adatok és fizika osztálya, a Fritz-Haber Intézet és a TU München FRM-II, valamint a ljubljani Kemijski Institut munkatársaival.

Létrejött egy TANDEM elnevezésű együttműködési szerződés a TU München, az FZ Jülich, a LBNL és az MTA EK között a nukleáris hulladékok karakterizálása témakörében.

A *sugárhatáskémia területén* dolgozó kutatók oktatási tevékenységet is végeznek a BME Vegyész-mérnöki és Biomérnöki Karán, a Szegedi Egyetemen, az Óbudai Egyetemen, és a Pannon Egyetemen, anyagtudomány, környezetvédelem, és víztisztítás témakörökben. Hazai kapcsolataik a Bay Zoltán ATI-val, PEMÜ-vel és a Corvinus Egyetemmel épültek ki.

Nemzetközi kapcsolataik elsősorban a pályázati együttműködésekre épülnek (EUREKA, Magyar-Indiai TÉT, Nemzetközi Atomenergia Ügynökség).

A *sugárbiztonság területén* elsősorban a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséggel (NAÜ) vannak kapcsolatban. Az intézet részt vesz az OAH ún. nemzeti támogatási programjában, mely nukleáris analitikai módszerek fejlesztését célozza a NAÜ részére a PTR-32 neutron koincidenziás adatgyűjtő rendszer továbbfejlesztése („A1667: Development and Evaluation of a Multiplicity Spectrometer Prototype”), valamint a hordozható lézer indukált plazma spektrométer (LIBS, Laser Induced Breakdown Spectroscopy) nukleáris biztosítéki és nukleáris törvényszéki analitikai célokra történő használata („A1597: Support for Novel Technologies”) témák keretében.

Két EU-s Joint Research Centre-vel (JRC) is van együttműködésük. Az ITU (Institute for Transuranium Elements) megbízásából tartottak két hetes nukleáris törvényszéki témájú tanfolyamot, valamint az intézeti PTR-32 neutronos adatgyűjtő rendszerrel tesztelték az ITU-s a Passive Scrap Multiplicity Counter (PSMC) neutron detektort. A másik, Ispra-i kutatóintézetben ugyancsak a PTR-32 rendszer tesztelését végezték el.

Dozimetriai fejlesztési témákon vannak kétoldalú együttműködések az amerikai Pacific Northwest National Laboratories, a Horvát Akadémia „Ruder Boskovic” intézetével, a Szerb Akadémia Vinca Nukleáris Kutatóintézetével és az Ukrán Akadémia Felületkémiai Intézetének munkatársaival.

A tömegspektrometriai csoport a francia „Triskem International” céggel dolgozik együtt nukleáris analitikai fejlesztési témákon.

A *felületkémia és katalízis terén* a hazai kapcsolatok közül az oktatási tevékenység említendő ki, amely a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemmel alakult ki, ahol az intézet kutatói rendszeres előadásokat, ill. laborgyakorlatokat is tartanak, ill. BSc vegyész-mérnök szakdolgozat témavezetését biztosítják. Parafált, ill. informális kutatási együttműködésekben is részt vesznek, az előbbieket a Pannon Egyetemmel, míg az utóbbiakat az MTA TTK MFA, az MTA Wigner kutatóközpont, az MTA TTK AKI kutatóival közösen végzik.

Nemzetközi kétoldalú együttműködések svájci (École polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL), osztrák (Institute of Materials Chemistry, Vienna University of Technology), belga (Université Libre de Bruxelles, ULB) valamint olasz (CNR, Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturali, CNR, Palermo) kutatókkal alakultak ki.

#### **IV. A 2012-ben elnyert fontosabb hazai és nemzetközi pályázatok rövid bemutatása**

*OTKA K 100385*, "Kárpát-medencében fellelt kőszeközök nyersanyagainak roncsolás mentes eredetvizsgálata": A pályázat fő célkitűzése pattintott- és csiszolt kőszeköz leletek

nyersanyagainak (obszidiánok, kovaközetek, stb.) eredetvizsgálata. A kutatás összehasonlító geológiai minta gyűjtését (terepi munka), főként PGAA- és más, lehetőleg roncsolás mentes anyagvizsgálatokat (Optikai Mikroszkóp, SEM-EDS, XRF, INAA) foglal magába. Magyarország és a szomszédos országok, valamint Lengyelország és Olaszország területén terveznek mintákat gyűjteni főleg a már meglévő tudományos együttműködési kapcsolatok (CHARISMA, TÉT) alapján. A kapott eredményeket egy internetes, nyílt hozzáférésű köztes nyersanyag adatbázis indításához is fel kívánják használni.

*Magyar-Marokkói TÉT*: A projekt keretében az intézet kutatói a hazai tapasztalatok átadásával a Marokkóban létesült kutatóreaktor komplexumában kialakítandó PGAA laboratórium kialakítását segítik elő. A továbbiakban közös kutatási projektek indítását is tervezik.

*OTKA NK 105802*, „Gyógyszermaradványok degradációja vizes oldatban, ionizáló sugárzással előállított hidroxil gyökökkel”: A pályázat célja a vízben oldott szerves szennyeződések ionizáló sugárzásos lebontása, ill. a lebomlás mechanizmusának leírása. Az ú.n. „nagyhatékonyságú oxidációs eljárások” (AOP) egyik fajtája az ionizáló sugárzásos technika, amely lehetőséget ad a gyökös reakciók követésére (gyökkoncentráció időbeli változásának mérésére), kinetikai együtthatók meghatározására és a mechanizmus felderítésére. Az eredmények általánosíthatók az egyéb AOP technológiákra is.

*TET\_09\_IN\_DST - PIEZOFIB*, „Flexibilis szál-alapú nanogenerátorok fejlesztése, jellemzése és modellezése”: A pályázat célja piezoelektromos jellemzőkkel rendelkező szálak szerkezetek kidolgozása, melyekben a „nemszött” (vlies) struktúrát képező szálak felületén ZnO nanoszálak találhatók. A nemszött szálakat az EK kutatói sugárzással iniciált ojtással módosítják, ezzel göcöket képeznek, amelyekre a BAY ATI (a pályázat külső részt vevője) munkatársai elektrokémiai eljárással ZnO nanoszálakat alakítanak ki.

*OTKA 101854*, (2012-2016), „Aerob szelektív oxidáció aranytartalmú kétfémes katalizátorokon”: Hordozós Au-M (M: Ag, Cu, Ru, Ir) kétfémes katalizátorokat fejlesztenek, vizsgálnak és hasonlítanak össze hidroxil-aldehidek, alkoholok és szénhidrogének szelektív oxidációjára, glükóz, benzil-alkohol és toluol, mint modell vegyületek alkalmazásával. A preparálási módszer és a két fém atomarányának hatását vizsgálják a katalizátor szerkezetére, aktivitására, szelektivitására és stabilitására. A hordozó sav-bázis tulajdonságainak hatását is tanulmányozzák hatékony új típusú többfunkciós katalizátor kialakításának reményében.

*ERACHEMISTRY, OTKA NN 107170*, 2012-2015, „Száras reformálás: út az elemi lépésektől a hatékony katalizátorig”: A kutatás célja új típusú nagy aktivitású és stabilitású Pt, Ni katalizátorok fejlesztése a száras reformálás ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 = 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2$ ) céljára. Ennek érdekében a száras reformálás és a mellékfolyamatai, különös tekintettel a katalizátort mérgező szénképződésre, elemi lépéseinek és a katalizátorszerkezettel való összefüggéseinek feltárására törekszenek. A kutatások a Münchener és a Bécsi Műszaki Egyetemmel együttműködésben folynak.

Az Országos Atomenergia Hivatal „*Műszaki Megalapozó Tevékenység*” pályázatai közül hat projektet nyertek.

*Osztrák-magyar Tudományos és Oktatási Kooperációs Akció Alapítvány, 84öu5*, 2012-2013, „Oxid indukált promóciós hatás CO oxidációban nemesfém katalizátorokon”: Oxidokkal promoveált arany katalizátorok katalitikus aktivitása és az aktív Au-oxid határfelület szerkezete összefüggéseinek megismerése a kutatás célja.

Az *EU FP-7 Scintilla* „Scintillation detectors and new techniques for nuclear security” projekt konzorciuma is pályázatot nyert, melyben az intézet is résztvevő.

## V. A 2012-ben megjelent jelentősebb tudományos publikációk

1. Teschner D, Novell-Leruth G, Farra R, Knop-Gericke A, Schlögl R, Szentmiklósi L, et al. (11): In situ surface coverage analysis of RuO<sub>2</sub>-catalysed HCl oxidation reveals the entropic origin of compensation in heterogeneous catalysis. *Nature Chemistry*, 4: 739-745 (2012)
2. Armbrüster M, Kovnir K, Friedrich M, Teschner D, Wowsnick G, Hahne M, Gille P, Szentmiklósi L, et al. (14): Al<sub>13</sub>Fe<sub>4</sub> as a low-cost alternative for palladium in heterogeneous hydrogenation. *Nature Materials*, 11: 690-693 (2012)
3. Birsa Celic T, Rangus M, Lázár K, Kaucic V, Zabukovec Logar N: Spectroscopic evidence for the structure directing role of the solvent in the synthesis of two iron carboxylates. *Angewandte Chemie International Edition*, 51: 12490-12494 (2012)
4. Guczi L, Erdőhelyi A (szerk.): *Catalysis for Alternative Energy Generation*. New York, Springer, 536 pp. (2012)
5. Hosseini AM, Tungler A, Schay Z, Szabó S, Kristóf J, Széles É, Szentmiklósi L: Comparison of precious metal oxide/titanium monolith catalysts in wet oxidation of wastewaters. *Applied Catalysis B: Environmental*, 127: 99-104 (2012)
6. Illés E, Takács E, Dombi A, Gajda-Schranz K, Gonter K, Wojnárovits L: Radiation induced degradation of ketoprofen in dilute aqueous solution. *Radiation Physics and Chemistry*, 81: 1479-1483 (2012)
7. Almási I, Nguyen CT, Zsigrai J, Lakosi L, Hlavathy Z, P. Nagy P, Buglyó N: Verification of <sup>235</sup>U enrichment of fresh VVER-440 fuel assemblies. *Appl. Radiat. Isot.*, 70: 2403-2408 (2012)