

Neutronkutatások Magyarországon

Rosta László

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

1121 Budapest, Konkoly Thege út 29-33.

A magyarországi neutronkutatás fő bázisa az MTA csillebérci kutatóreaktora, amely az elmúlt 20 évben – mint az egyetlen európai léptékű hazai kutatási infrastruktúra – a társadalmi hasznosulás fontos intézményévé vált, mind a tudományos, mind a nemzetgazdasági tevékenységek tekintetében. A neutron felfedezésének nyolcvanadik évfordulója alkalmából összegyűjtöttünk néhány említésre méltó példát a hazai neutronkutatások elmúlt időszakának eredményéből, valamint bemutatjuk azokat a területeket, ahol a reaktorhasználat közvetlen társadalmi haszna gyorsan és hatékonyan érvényesül.

Bevezetés

Hazánkban a neutronkutatásoknak, a nukleáris energetikának, ezek ipari társadalmi hasznosításának jelentős tradíciói, komoly nemzetközi elismertsége, valamint folyamatosan megújuló eredményei és sikerei vannak. Nemcsak a nagy elődökre gondolunk, akiknek a hatása, sőt közreműködése a mai napig inspiráló a hazai tudományos közegben. Wigner Jenő – aki már 1933-ban cikket közölt a kisenergiás neutron-proton szórásról – nevét vette fel 2012-től az MTA megújult hálózatában a fizikai kutatóközpont. Teller Ede – akinek cikke (1937) az orto és para-hidrogéneken való neutronszórás elméletéről nagyban hozzájárult a magerók spinfüggésének kimutatásához – döntő módon hozzájárult, hogy a rekonstruált kutatóreaktor a rendszerváltás után nemzetközi nyitással újra tudott indulni. 1934-ben Szilárd Leó kidolgozta és szabadalmazta a neutronok által keltett maghasadás és láncreakció elvét. Hevesy György 1936-ban kidolgozta a neutronaktivációs analízis alapjait – ma ezen a területen a hazai prompt-gamma aktivációs csoport úttörő eredményeket produkál. A múlt század közepén beindított hazai kutatásoknak, a több mint 50 éve üzemelő csillebérci kutatóreaktornak is köszönhető, hogy ezen a területen az európai élvonalba tartozunk. A jelen cikkben elsősorban a csillebérci reaktorhoz köthető kutatásokról ejtünk szót, bár jelentős neutronkutatások folynak még a debreceni ATOMKI-ban, ill. a BMGE-n és ELTE-n is.

Kutatási eredmények

A Budapesti Kutatóreaktor

A következő részben néhány tipikusnak mondható példát láthatunk a Budapesti Kutatóreaktornál (BKR) végzett kísérletek közül, amelyek az ország kutatás- és fejlesztéspolitikája által fontosnak ítélt projektekhez kapcsolódnak. A BKR egy könnyűvízzel moderált és hűtött, tank típusú reaktor [1], amelynek a mintegy 60 cm átmérőjű és magasságú aktív zónájában 228 fűtőelem (19,75 %-ra dúsított ^{235}U) 10 MWatt termikus teljesítményt fejleszt. A zóna üzemi hőmérséklete 60 °C körüli és atmoszferikus nyomáson üzemel. A vizes csapdában a maximális termikus

neutron fluxus $2,2 \times 10^{14}$ n/s/cm², a zónát körülvevő Be-reflektorból 10 vízszintes csatorna vezeti ki a neutronnyalábokat. A 10-es csatorna egy ún. hidegneutron moderátoron (fél liter cseppfolyós hidrogént tartalmazó cellán) keresztül 3 neutronvezetőt táplál, amelyek átnyúlnak a reaktorépülethez csatlakozó „hidegneutron csarnokba”, ahol jelenleg nyolc spektrométer található. Hat mérőállomás a termikus csatornákon üzemel a reaktornál, ill. az ún. repülési-idő-spektrométer (TOF) egy 2004-ben épült, különálló neutronvezetős pavilonban van. A BKR évi ~150 napos üzemideje és 15 mérőállomása összesen több mint 2000 'berendezés-nap' kísérleti lehetőséget biztosít, ezzel mintegy 180-200 vizsgálat elvégzésére kerülhet sor, ezek nagy része a nemzetközi felhasználói program keretén belül valósul meg [2].

Energiakutatási példák

Döntő fontosságú feladat hosszútávon kidolgozni az energiafüggőség és -ellátás kockázatai minimalizálásának módját. Magyarországon az elektromos energiatermelés 40%-a nukleáris energiából származik, és a tervek szerint az atomenergia jelenléte az ország energiaellátásában továbbra is számottevő marad. Csehország és Románia is nagyszabású tervekkel rendelkezik az atomenergia-ipar tekintetében. Számos probléma van napirenden, amelyet széles körben lehet neutron-módszerekkel vizsgálni, itt csak egy, a témában jellemzőnek mondható példát mutatunk be. A nátrium-boroszilikát üvegek jelenleg az érdeklődés középpontjában vannak, mivel radioaktív hulladék (pl. UO_3 vagy PuO_2) tárolására alkalmas befogadó közeg izolálására megfelelő anyagok. Neutron diffrakciós méréseket végeztünk [3] 6-komponensű befogadó üvegen, UO_3 hozzáadása előtt és után. A cirkónium rendkívüli hatékonyságát az üveg- és a hidrolitikus tulajdonságok stabilizálásában az jelenti, hogy a cirkónium ionoknak erős hálózatteremtő szerepe van, miközben az urán-ionokat 6-os koordinációjú oxigénatomok veszik körül az 1.6 - 3.4 Å intervallumban – a hálózatosodás miatt rendkívül stabil kötésben.

A megújuló energiák környezetvédelmi szempontokat is figyelembe vevő tiszta felhasználható energiává alakítása szintén fontos kutatási terület. Számos biológiai alapú

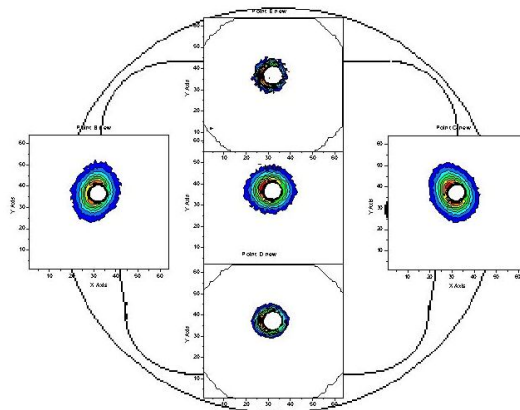
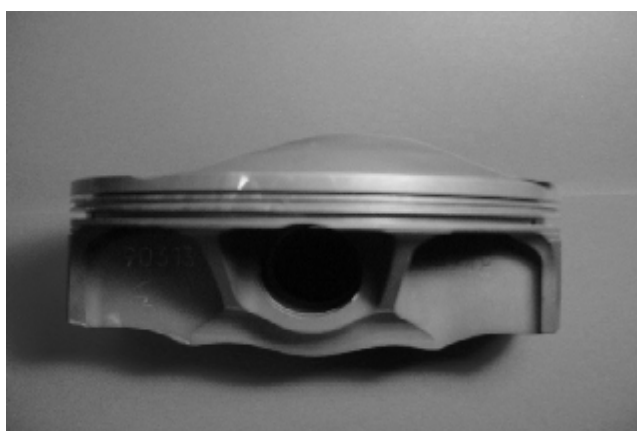
napenergia-átalakító rendszer a szilárd hordozóra kötött katalizátor rétegsor használatára épül, ahol például hidrogén vagy hidrogénben gazdag gáz termelhető. Az ilyen katalitikus reakciók energiaellátását a fotoszintézishez hasonló módon lehet megoldani. A növények kloroplaszt tilakoid membránja magasan szervezett multi-lamelláris rendszert alkot. Ezekben a fotoszintetikus rendszerekben az apparátus nagyszámú fehérjekomplexumból áll. Vizsgálatunkban a mezo-szintű szerkezetváltozásokat tanulmányoztuk működő tilakoid membránokban, a befogadó közegben (ionerő, ozmolaritás), fényerősségben és hőmérsékletben bekövetkező változások függvényében. Kiszögű szórásméréseket végeztünk [4] a periodikus lamelláris struktúrára jellemző elsőrendű Bragg-csúcs kimutatására, egy másik, nagyon enyhe csúcsot pedig a tilakoid lemezek nem-rendezett szakaszából eredő másodrendű Bragg-csúcsként értelmeztünk. A fényerő-változtatás folyamata közben szerkezetváltozások voltak megfigyelhetők, vagyis egyértelműen kimutattuk a fotoszintetikus tulajdonságokkal való kapcsolatot.

Egy másik, szintén az energiakutatáshoz kapcsolódó kísérlet kiválóan illusztrálja, milyen központi szerepet játszanak a neutronok hidrogénérzékenységükből adódóan. A kutatásban katalitikus anyagokat vizsgáltak a prompt gamma aktivációs analízis egyedülálló lehetőségeit kihasználva – a hidrogén jelenlétének és mennyiségének kimutatására még zárt térben elhelyezett anyagokban is. Egy speciális katalitikus reakció cellát építettek és installáltak a PGAA berendezésben in situ kémiai analízis elvégzésére. Az alkinek/alkének szelektív hidrogénezése lehetséges palládium katalizátoron. Az eredményekből világosan látható volt, hogy a nem-szelektív hidrogénezés hidrogén telített β -hidriden megy végbe, míg szelektív hidrogénezés csak a felületi események intenzív tulajdonságainak kettéválasztása után lehetséges. Következésképpen számos katalitikus anyag felülete alatti régiók is fontos szerepet játszhatnak az adott anyag komplex katalitikus funkciójában.

Autóipari példa

Közismert, hogy a gépjárműipar új technológiai fejlesztéseinek legnagyobb része a versenyautók fejlesztéséből származik. Az alábbi példa egy Formula-1-es autón elvégzett neutronvizsgálatot mutat be. A kísérletekben kiszögű neutronsórással (SANS) tanulmányoztuk a széles körben használt $AlSi_2CuNiMg$ ötvözetből készült dugattyúban előforduló, a magas hőfokú használat okozta mikrostrukturális kiválások kialakulását. A vizsgálatot a világbajnok Ferrari csapat új és használt dugattyúkoronáin végeztük. A SANS görbéket mindkét dugattyú 5 különböző pontján mértük meg (a lehetséges gócpontokon). Az új minta központi részein izotróp szórás volt megfigyelhető, a dugattyú oldalsó részein azonban a szórás anizotrópnak mutatkozott, jelezve a gyártás által előidézett textúra jelenlétét. Ezt a gyártástechnológia javításával sikerült kiküszöbölni. A használt dugattyúkon az anyagfáradást is vizsgáltuk. Ismeretes, hogy az Al-Mg-Si ötvözetek olyan mechanikai jellemzőkkel bírnak, amelyek igen érzékenyek a hőkezelésekre. A működési hőmérséklet általában nagyon közel van a gyors előregedést előidéző hőmérséklethez, és a korona egyes részein azt meg is haladja. Összehasonlítottuk a mechanikai tulajdonságok öregítési kezeléssel előidézett változásait a nano-méretű kiválások (precipitátumok) szerkezetében bekövetkezett változásokkal, és kimutatható

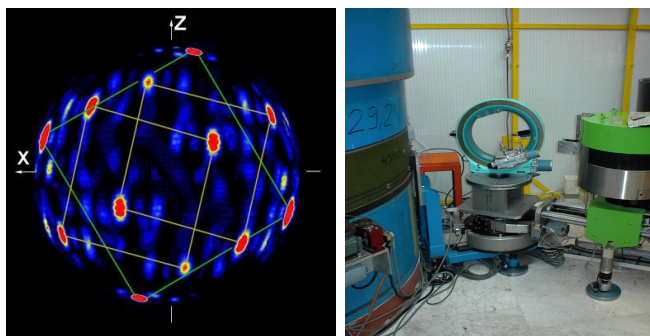
volt a korai stádiumban jelentkező mikrorepedések terjeszkedése. Az eredmények elősegítették a gyártási technológia optimalizálását, és hozzájárultak a motor élettartamának jelentős növeléséhez [5].



1. ábra: Alumínium ötvözetű dugattyú nanoszerkezeti elváltozásainak vizsgálata kiszögű neutronsórással a használat különböző stációiban. Anizotróp eloszlást és a kiválások előfordulásának erőteljes geometriai függőségét mutattuk ki.

Atomi felbontású neutron holográfia

Egy háromdimenziós tárgy kétdimenziós képként való tárolását, majd ennek oly módon való rekonstruálását, hogy a tárgy eredeti alakjában legyen látható, holográfiának nevezzük (Gábor Dénes, Nobel-díj 1962). A holográfia felbontását elsősorban a nyáláb hullámhossza és a forrás vagy detektor mérete határozza meg. Szőke Ábrahám javaslatát követve az atomi felbontás úgy érhető el, ha egy atomot használunk forrásnak vagy detektornak a mintán belül. Szőke eredeti elképzelése elektronokra vonatkozott.



2. ábra: Ólom-kadmium egykristályról készült atomi felbontású neutron hologram és a BKR 8-as csatornájánál üzemelő termikus háromtengelyű spektrométer, mint holográfiai mérőhely.

A neutron holográfia koncepcióját először Cser László (BNC) vetette fel 2000-ben és ő dolgozta ki az atomi felbontású neutron holográfia elméletét és kétféle kísérleti megvalósítást is [6]. Az atomi felbontású neutron holográfia egy olyan különleges eljárás, amely közvetlenül mutatja a detektor-, vagy forrásatom körüli térben elhelyezkedő atomokat. Például képes direkt módon mérni a helyi ráctorzulásokat a kristályrácsban, vagy fel tudja térképezni a mágneses rendet. Könnyedén előrejelezhető, hogy a nem is olyan távoli jövőben a neutron holográfia mintázat-felismerő eljárásokkal kombinálva egy nagyon ígéretes eszközzé fog válni – a neutronok hidrogén-érzékenységének köszönhetően – például a biológiai szerkezet-analízisben. Egy Cser László vezette nemzetközi csapat végezte el az első sikeres kísérletet, bizonyítva, hogy egy Pb-Cd egykristályról leképezhető az ún. belső detektoros hologram (3. ábra, baloldali kép – 12 ólomatom háromdimenziós képe a kadmium mag körüli 0,35 nm sugarú gömbön). Ez a kísérlet azt is igazolta, hogy a neutron holográfia egyedülálló módszer a helyi ráctorzulások mérésére pikométer alatti pontossággal. A Budapesti Kutatóreaktornál üzemelő holográfiai eszközt mutatja a 3. ábra jobboldali képe – ez a világon az első dedikált neutron holográfiai berendezés. A Cser László vezette kutatócsoport az elmúlt években már több sikeres holográfiai kísérletet végzett és kanadai, japán, svájci csoportok is bekapcsolódtak a holográfiai kutatásokba.

Vizsgálatok a kulturális örökség témakörében

A BNC 2009 óta vesz részt az EU-FP7 CHARISMA elnevezésű projektben, amely Európa legjelentősebb múzeumait (British Museum, Louvre, National Gallery London, Louvre, Prado stb.), valamint természettudományi kutatóközpontokat, nevezetesen analitikai kutatási infrastruktúrákat egyesít. Mi azért kaptunk meghívást ebbe a projektbe, hogy a Budapesti Kutatóreaktornál üzemelő neutron spektrométerek segítségével kutatói felhasználói szolgáltatás formájában, nemzetközi csoportokkal közösen a kulturális örökség különböző tárgyain végezzünk roncsolásmentes vizsgálatokat. A nemzetközi együttműködésnek köszönhetően számos rendkívül érdekes vizsgálati tárgy és probléma került így hozzánk [7]. Példaként az igen szerteágazó területekről származó archeológiai tárgyak vagy történelmi vonatkozású kérdések tekintetében érdemes megemlíteni a Kárpát-medencei kőkori leletek (horvát, szerb, romániai múzeumokból), különböző európai reneszánsz üvegek (belga, lengyel, német múzeumokból), középkori fegyverek (angol, olasz, magyar gyűjteményekből) eredetének és korabeli előállítási technológiáinak vizsgálatát. Több szakmai fórumon és népszerűsítő előadásban is

kitértünk többek között a viking kardok vizsgálata során tett megállapításainkra. Mint ismeretes, Szent István király testőrsége viking zsoldosokból állt, így a Kárpát-medence a viking fegyverek gazdag lelőhelye, sőt feltehetően maga István is viking kardokat használt – így külön érdekesség a kiváló tulajdonságú acélok ezer év előtti előállítási technológiáinak tanulmányozása; a kovácsolás, edzés körülményeinek felderítése neutron diffrakciós spektrumokból. Ugyancsak kiemelendő eredmény egy londoni gyűjteményből származó, „az emberiség legrégebb vaseszközének” feltételezett egyiptomi lelet bevizsgálása. A neutron- és röntgen-analitikai mérések alátámasztották azt a feltételezést, hogy a „vasgyöngyök” anyaga meteorit eredetű; sőt neutron-tomográfiai átvilágítással először sikerült egy olyan felfedezést tenni, amely kimutatta egy rendkívül korrodált, 5500 éves „vasdarabról”, hogy az egy lemez-szerű kiindulási anyag összehajtogatásával, vagyis a meteoritdarab tudatos megmunkálásával készült.

A neutronkutatások társadalmi haszna

Ebben a fejezetben néhány olyan szempontot szeretnénk felsorolni, amelyek rávilágítanak arra, hogy milyen közvetlen hatása, ill. hasznosulása van a neutronkutatásoknak a társadalom, a nemzeti fejlődés tekintetében.

Neutron mérőeszközök fejlesztése és technológiai transzferje

Metodikai fejlesztések mindig is a BNC tevékenységének homlokterében voltak. A 70-es, 80-as években a devizahiány, a 90-es években a források szűkössége miatt a berendezéseink kiépítése alapvetően saját fejlesztéseken alapult, vagyis a drágán beszerezhető külföldi eszközök helyett saját fejlesztésű berendezéseket építettünk. Így a szegénységből erényt is sikerült kovácsolni, ez a fejlesztési készség és ennek „technológiai transzferje” jelentősen hozzájárult ahhoz, hogy ma a világ egyik vezető neutron műszergyártó kapacitása a KFKI-ban, a reaktor bázisán létrejött spin-off cégek révén épült ki.

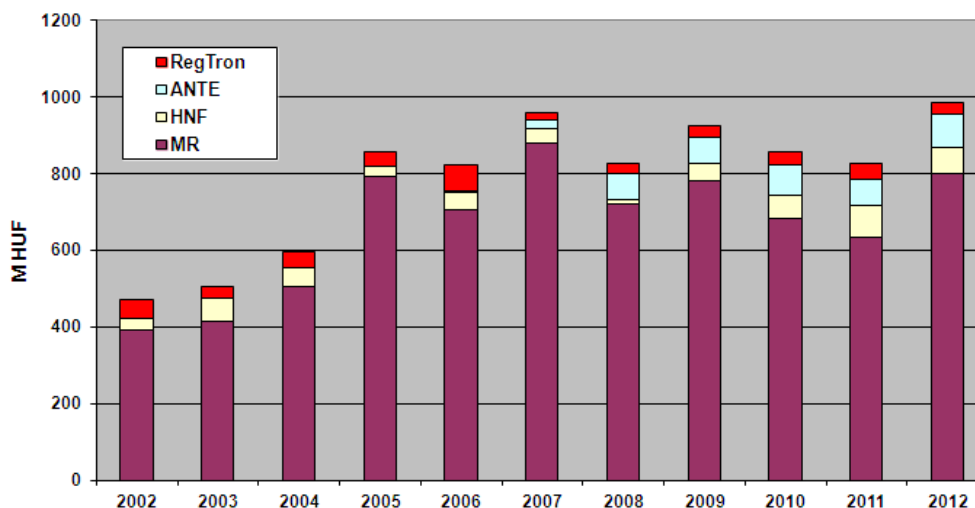
Példaként az egyik friss fejlesztést mutatjuk be. Ez az új típusú neutronforrásokhoz, a gyorsító alapú spallációs forrásokhoz kapcsolódik. Mezei Ferenc az ún. hosszú-impulzusú koncepció előterjesztésekor egyúttal a neutronok repülési idő technikájának átfogó kutatását is javasolta. Ilyen például az ún. „időablak többszöröző repülési-idő monokromátor” koncepciójának optimalizált szupertükrös neutronvezetőkörből és egy nyalábszaggató tárcsa rendszerből álló berendezésként megvalósítható terve. Az első ilyen kísérleti berendezést a Budapesti Kutatóreaktor egyik termikus neutronnyalábjában valósítottuk meg. A Monte-Carlo szimulációs vizsgálataink és a neutron mérések eredményei azt mutatják, hogy ennek a fajta mérőeszköznek a teljesítménye messze meghaladja a hagyományos kristály monokromátorral működő por-diffraktométerek teljesítményét. Ennek az elvnek a megvalósításával építettük meg az előzőekben már említett nagyfelbontású TOF spektrométerünket.

A BKR-nél 1992 óta kiépült neutronkutatási infrastruktúra, a 15 mérőállomást tartalmazó berendezés-együttes szinte kivétel nélkül mind egyedi tervezés és kivitelezés alapján valósult meg hazai vállalkozások részvételével. A szériagyártású kereskedelmi komponenseket leszámítva a beruházási érték mintegy 90 %-a magyarországi beszállítások

révén realizálódott, vagyis összértékben a beszerzés/kivitelezés 70-80 %-ban hazai terméknek tekinthető. A megvalósításban közvetlenül szerződött vállalkozások száma – a gépészet, elektronika, számítástechnika, finommechanika, vákuumtechnika, optika stb. területén – az elmúlt 10 évben kb. 20-25.

Másfelől a BKR kutatási/technológiai bázisán kifejlődött és stabilan működik egy specializált neutronkutatási műszergyártó kapacitás, amely jelentős export árbevételt produkál. Ezek a spin-off cégek a KFKI telephelyen működnek, a BKR-t fejlesztő és minőségellenőrző bázisként napi szinten használják.

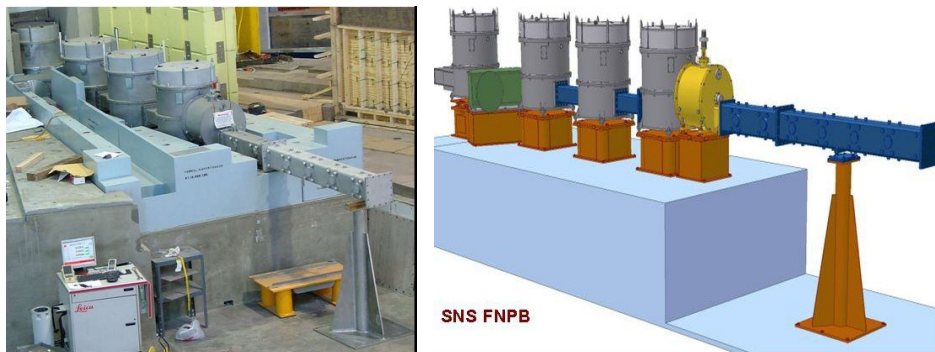
Hazai neutronkutatási eszközgyártók forgalma



3. ábra: A hazai neutronkutatási eszközgyártók forgalma

A fenti ábrán annak a négy kisvállalkozásnak az elmúlt 10 évi árbevételi eredményét mutatjuk be, amelyek összforgalmanak minimum 90 %-át a neutron műszerexport képezi. Az egy évtizednyi teljes forgalom 8.6 milliárd forintot

tesz ki. A Hidegneutron Forrás (HNF) Kft. ú.n. kriogén neutron moderátorok fejlesztésére és szállítására specializálódott. Az ANTE és RegTron Kft. neutron komponensek, ill. spektrométerek vezérlésére szakosodtak.



4. ábra: Neutron nyálábszaggatók az SNS egyik berendezésénél (Oak Ridge, USA).

A MIRROTRON Kft. fő profilját a hazai felfedezésen és technológiai fejlesztésen alapuló ú.n. szupertükrös neutronvezetők gyártása képezi. Monokromátorok, polarizáló eszközök, detektorok, sugárvédelmi komponensek is a gyártási palettán vannak – sőt ezek összeépítésével komplett neutron spektrométerek „kulcsrakész” szállítására is sor került. A MIRROTRON termékei a világ szinte minden jelentős neutronkutatási laboratóriumában (Ausztráliától Kínán, Japánon, Indián, Amerikán át természetesen az európai centrumokig) megtalálhatók [8]. A high-tech komponensek (minőség és technológia szempontjából kritikus egységek) gyártására jelentős „házon belüli” gyártókapacitás épült ki. A 4. ábra egy MIRROTRON műszer-együttest mutat az SNS-nél. Az itt bemutatott négy kisvállalkozás közel 50 munkatárssal dolgozik. Az elmúlt 10 évben az alvállalkozásban foglalkoztatott cégek száma elérte

a 120-at. Ezek zömében szintén kisvállalkozások, de van közöttük jelentős multinacionális nagyvállalat is, mint a General Electric (pl. nagyméretű vákuumtartó tartályok gyártója), ill. egyszemélyes egyéni vállalkozás is (pl. precíziós csomagolásra). A beszállítók listája közel 30 olyan céget tartalmaz, amelynek az alvállalkozói beszállítói volumene lényegesen meghaladta a millió forintos nagyságrendet.

A reaktorhasználat hozadéka

A BKR-nél az utóbbi évek néhány kiemelkedő eredményéből néhányat fent bemutattunk. Évente 110-120 nemzetközi publikáció születik. A különböző pályázatokkal, ill. megbízásokkal kapcsolatos tevékenységek beszámolóinak, jelentéseinek száma 20-25. Számottevő oktatói tevékenység is kapcsolódik a kutatásokhoz: 10-12 PhD munka készül

folyamatosan, hazai és nemzetközi szakmai kurzusok biztosítják az utánpótlást. Az elmúlt 10 év főbb, a neutronkutató, ill. reaktor-felhasználás gazdasági adataira vonatkozó számadataiból itt csak néhányat emelünk ki. Foglalkoztatás: 250 fő az a létszám, amely a reaktor üzemeltetése nélkül nem létezne. A hazai kutatási pályázatok száma folyamatosan 30-40 közötti, a nemzetközietké 15-20. A pályázatok kumulált összege 10 év alatt közel 3 milliárd Ft. A kapcsolódó gazdasági tevékenység (izotópgyártás, forgalmazás, műszergyártás stb.) évi árbevétele ~ 1,2 milliárd Ft, azaz a reaktor üzemeltetésének (beruházás és fűtőelem nélkül) kb. kétszerese.

A neutronkutatók mai helyzete

A következő 20 évre a neutron-kutatók nagymértékű fejlődése vetíthető előre. Világszerte jelentős beruházások folynak új neutronforrások (kutatóreaktorok és spallációs források), ill. mérőállomások/spektrométerek létesítésére – ezek közül a legjelentősebb projekt az ESS. Ma Magyarországon ebben a szektorban mintegy 40 intézmény (kutatóhely, egyetem, iparvállalat) érintett, a hazai neutron-felhasználók száma ~200 kutató, a kapcsolt tevékenységekben (reaktorüzem, kutatás, műszergyártás) közvetlenül dolgozók létszáma mintegy 250 fő. A nemzetközi statisztika szerint a világban mintegy 11-12 ezer kutató foglalkozik rendszeresen neutronkutatóval, Európában ez a szakmai közösség kb. 6000 főt számlál. Magyarország pozicionálása Európában a második Svájc mögött van a neutron-felhasználás arányát illetően (létszámra és/vagy GDP-re normálva). Külön figyelmet érdemlő magyar vonatkozása a neutronkutatók jelen áttekintésének az a szembeötlő jelenség, miszerint Mezei Ferencnek, az MTA rendes tagjának 40 év alatt ezen a területen kifejtett munkássága folyamatosan, ill. korszakos újításokkal a szakma szinte minden ágában meghatározó és iránymutató szerepként jelenik meg. Csupán néhány kulcseredményt említenék:

Az 1972-ben felfedezett neutron spin-echo (NSE) jelenségén alapuló módszert, a világ számos laboratóriumában működő NSE berendezéseket kutatók százai használják a biológiától a mágnességig a legszélesebb tudományos alkalmazásokban; a konferenciákon külön NSE szekciók vannak stb. Az 1974-ben ugyancsak Budapesten demonstrált szupertükrös elven működő neutronoptikai eszközök (neutronvezetők, tükrök, polarizátorok, benderek stb.) nélkülözhetetlen kellekei a mai neutron spektrométereknek. A spallációs forrásokra 1995-ben javasolt hosszú-impulzusú megoldása (Acta Phys.Hun.) ma az új-generációs neutronforrások létesítésének alaptétele, és az ezzel összefüggésben az általa kidolgozott új repülési-idő

technikák pedig a nagyfelbontású neutronspektroszkópia új irányát jelentik. Mezei Ferenc, aki kétségkívül a nemzetközi tudományosság kiemelkedő egyénisége, a neutronkutatói szakmai közösség egyes számú vezető személyisége, rangos nemzetközi díjak, valamint a Wigner Jenő Díj 1999-es kitüntetettje éppen 10 évvel fiatalabb, mint a neutron felfedezése.

A tudomány népszerűsítése

Az archeológiai vagy autóiipari eredmények bemutatása nemcsak rangos nemzetközi szakfolyóiratokban, hanem népszerűsítő fórumokon is történik. Az a tapasztalatunk, hogy pl. a kulturális örökség kutatási témái igen közel állnak, ill. kiválóan hozzájárulnak a hazai társadalmat foglalkoztató kérdések megválaszolásához. A laikusok számára is könnyen érthető módon lehet a nukleáris technikákról alapvető tudományos ismereteket tolmácsolni (pl. fémtárgyak „átvilágíthatósága” vagy eredet-azonosítás elemösszetétel alapján) és ez által a kutatóval nem foglalkozók érdeklődését is könnyen fel lehet kelteni a természettudományos munka iránt, sőt szemléletes magyarázattal lehet szolgálni az egyébként elvontnak és költségesnek vélt reaktoros kutatókról is.

Összefoglalás

Némileg szubjektív módon – megállapíthatjuk, hogy az elmúlt 80 évben a neutronok kutatása, ill. a neutronokkal való kutatás két fő korszakra osztható. Az első 40 év elsősorban a neutron tulajdonságainak felderítéséről, valamint atomreaktorok energiatermelés, ill. neutronforrás célú megalkotásáról szólt, míg az utóbbi 40 évben a neutronok anyagkutatási felhasználása dominált. Az egyre nagyobb fluxusú források lehetővé tették az eleinte csak szilárdtestfizikai vizsgálatokra használt neutronszórás módszerek széleskörű elterjedését a kémia, biológia, anyagtudomány, archeológia stb. körében, vagyis a neutronkutató igen széles multidiszciplináris kutatási és innovációs ágazattá fejlődött. Magyarországon főként az utóbbi időszakban születtek számottevő eredmények. Leginkább az elmúlt 20 év (a reaktor rekonstrukció utáni nemzetközi nyitás) tapasztalata mutatja, hogy a nukleáris energiatermelés felépítése, a reaktorok megbízható, gazdaságos és biztonságos üzemeltetésének segítése mellett, a felfedező kutatások eredményei, a gazdasági hasznosulásba gyorsan forduló alkalmazások, a műszergyártás támogatása nemcsak az ország tudományos presztízsét és általános kulturális színvonalát emelik, hanem közvetlen gazdasági hasznot is hajtanak.

Irodalomjegyzék

- [1] Tózsér S, Full-scale reconstruction and upgrade of the Budapest Research Reactor. *Research Reactor Modernization and Refurbishment (IAEA-TECDOC-1625)*. IAEA, August 2009. pp. 83-94
- [2] Rosta L, Baranyai R, Budapest Research Reactor – 20 years of international user operation, *Neutron News*, 22, 31 (2011)
- [3] Fábrián M, Urántartalmú boroszilikát üvegek szerkezetvizsgálata..., *Fizikai Szemle*, 61, 145 (2011)
- [4] Nagy G, Posselt D, Kovács L, Jens Kai Holm, Szabó M, Ughy B, Rosta L, Peters J, Timmins P, Garab G: Reversible membrane-reorganizations during photosynthesis in vivo - by small-angle neutron scattering, *Biochem. J Plant*: 436, 225 (2011)
- [5] Rogante M, Lebedev VT, Nicolae F, Rétfalvi E, Rosta L, *Physica B*, 358, 224 (2005)
- [6] Cser L, Krexner G, Török Gy, Atomic resolution neutron holography, *Europhysics Letters*, 54, 747 (2001)
- [7] Kasztovszky Zs, Rosta L, How can neutrons contribute to Cultural Heritage research? *Neutron News*, 23, 25 (2012)
- [8] „Világszínvonalú neutronkutató eszközök” *Gazdasági Tükörcsoporthoz*, 2011. November, 8.szám 15. oldal (www.gtm.hu)