





## A Budapesti Kutatóreaktor a tudomány, innováció és társadalmi hasznosulás szolgálatában

A Magyar Tudományos Akadémia csillebérci kutatói kampuszán (Központi Fizikai Kutatóintézet- KFKI) 1959-ben kezdte meg működését a Budapesti Kutatóreaktor (BKR). Az atomreaktor indulása kiemelkedő jelentőségű mérföldkő volt a magyar tudomány és technológia fejlődésében: megalapozta a hazai nukleáris kultúra kialakulását, az atomenergia bevezetését, a neutronos anyagkutatás felfutását, valamint az izotópgyártás és egy számottevő nukleáris műszeripar létrejöttét. Létesítésekor a reaktor számos újdonságértékű, különféle fizikai jelenségek kutatásával kapcsolatos tevékenységet mozdított elő, különösen a neutronfizika, reaktorfizika, szilárdtestfizika, egészségügy, valamint a nukleáris kémia és sugárvédelem terén. Az itt kialakult nukleáris kultúra és szakképzési bázis alapvető szerepet játszott a hazai nukleáris energetika megteremtésében, a Paksi Atomerőmű megépítésében.

A reaktor egy olyan komplex sugárforrás, amelyet anyagmódosításhoz és elemzéshez, nanotechnológiai, műszaki, egészségügyi stb. vizsgálatok elvégzéséhez használnak. A reaktor kutatási és ipari alkalmazási palettája rendkívül színes (multidiszciplináris), viszont a BKR erőssége leginkább abban nyilvánul meg, hogy egyrészt a reaktor, mint neutronforrás „egy-helyszíni nagyberendezésként” kivételes infrastrukturális adottságokkal rendelkezik. Másrészt pedig, a szakterületen releváns összes mérés-technika (elemanalízis, diffrakció, spektroszkópia, képalkotás) valamint besugárzási kapacitás – kiegészítve a kapcsolódó interdiszciplináris kutatói/mérnöki szakértelemmel – a legnagyobb hazai koherens műszerbázist alkotja. A legismertebb tevékenység az egészségügyben és az iparban is használható radioaktív izotópok előállítására. A Budapesti Kutatóreaktor hazánkban mintegy 60 kórházat lát el az általa előállított és forgalmazott radioizotópokkal, amelyeket diagnosztikai és terápiás célokra használnak. Jelenleg nemzetközi szinten is nagy mértékben hozzájárul a radiógyógyszerek gyártásához, miután számos radioizotóp előállító reaktor leállt.

A kutatóreaktornak, mint intenzív neutronforrásnak a fő kutatási profilja a neutronokkal végezhető anyagkutatás. Ez a terület hozzávetőleg száz éves múltra tekint vissza, és töretlenül fejlődik. A neutronok – mint elektromosan semleges elemi részecskékből álló sugárzás – pótolhatatlan eszközként teszik lehetővé valamennyi természettudományi ágazatban, a mérnöki és örökségtudományban, az anyagi tulajdonságok széleskörű vizsgálatát vagy akár módosítását. A BKR 16 mérőállomásával olyan komplex kutatási programot valósít meg, amely összhangban van a hazai intelligens szakosodási stratégia (S3) fő szempontjaival. A BKR mérési lehetőséget biztosít a hazai és nemzetközi kutatói közösségnek. Az Energiatudományi Kutatóközpont kutatócsoportjai saját, 'házon belüli' tematikus kutatásokat is folytatnak. A BKR kutatói évente mintegy 100 nemzetközi tudományos publikációt jelentetnek meg. A Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal 2021-ben Magyarország „TOP 50” kiváló Kutatási Infrastruktúrája közé sorolta a BKR-t.

Az ipari szereplők igényeinek kielégítése terén a hazai innovációs prioritások élveznek előnyt: pl. a nukleáris energiatermeléssel kapcsolatos kutatások, megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos kutatások, járműipari és biotechnológiai fejlesztések és nem utolsósorban élelmiszerbiztonsági kérdések. A BKR ipari/kommerciális használatához hazai és külföldi kutatók általában költségtérítés ellenében férhetnek hozzá. Emellett számottevő a neutronos kísérleti berendezések módszertani fejlesztése, hasznosítása és értékesítése is. A reaktor besugárzásokkal és neutronnyalábos műszereivel biztosít olyan szolgáltatásokat és termékfejlesztéseket, amelyek az ipar, egészségügy, kereskedelem és oktatás különféle szektoraiban jelentős és közvetlen gazdasági hatást fejtenek ki. A tényleges gazdasági hozam



számszerű megítélése bonyolult kérdés, viszont megállapítható, hogy az izotópgyártás, csakúgy, mint az energiaszektor vagy honvédelem technikai és biztonsági támogatása több százmilliárd forint értékű ökoszisztémához való hozzájárulás. A műszeripari hozadék technológiatranszfer révén valósul meg.

A korábban a Magyar Tudományos Akadémia égisze alatt működő kutatóintézetek konzorciuma hozta létre - a Kutatóreaktor tudományos hasznosítására - a Budapesti Neutron Centrumot (BNC). A BNC együttműködésai 20 hazai és 6 határon túli magyar egyetemet, az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat (ELKH) 8 intézetét és számos ipari kutatóhelyet ölelnek fel. A BKR működése és a kapcsolódó neutronos tevékenység közvetlenül mintegy 140-160 teljes hazai munkahelyet tart fenn. A külföldi, elsősorban régióbeli felhasználók száma is 200 körüli. Összegezve az 1992-es rekonstrukció óta eltelt 30 év főbb kutatási eredményeit: 4000 kísérlet, 3000 publikáció, kb. 800 kutatási jelentés (projekt, ipari megbízás), 75 PhD dolgozat. A kutatóreaktor használatát, eredményeit néhány ismertebb példával is szemléltetjük: 1972-ben itt fedezték fel a neutron-spin-echó elvét. Ezt módszerré fejlesztve számos spin-echó-spektrométer épült a világ szinte valamennyi neutronkutató laboratóriumában, melyekkel számos kiemelkedő kutatási eredmény született. A roncsolásmentes neutronos anyagvizsgálatok eredményei is hozzájárultak az olasz Ferrari versenyautó motorjának fejlesztéséhez és Michael Schumacher világbajnoki címéhez. A boroszilikát üveges anyagok neutron-diffrakciós szerkezetvizsgálatai nemcsak kiemelkedő nemzetközi publikációkat eredményeztek, hanem ezek az anyagok jelentik az igazi perspektívát a nagyaktivitású radioaktív hulladékok biztonságos tárolására. A Budapesti Kutatóreaktorban végzett gyorsított besugárzásos öregítés és elemzés révén alapoztuk meg a Paksi Atomerőmű reaktortartályainak élettartam-hosszabbítását. A Magyar Honvédség helikopter állománya jelentős részének üzemidő hosszabbítási problémáját oldotta meg a forgólapátok neutron radiográfiás minőségbiztosítási átvilágítása – számottevő nemzetgazdasági megtakarítást eredményezve. Többféle neutronos módszerrel vizsgáltuk az „emberiség legrégebbi vastárgyait”, amelyek egy londoni múzeumból érkeztek a BKR-hez. Egyiptomi fáraósírból származó 5000 éves „vasgyöngyökről” sikerült megállapítani, hogy meteorit eredetűek és emberi kéz által megmunkálva alkották egy nyaklánc részét. Ugyancsak a kulturális örökségi vizsgálatok részeként került sor a Szépművészeti Múzeum egyik legnagyobb presztízsű tárgyának neutron-tomográfiás átvilágítására. A Leonardo da Vincinek tulajdonított lovasszobor belső szerkezetének részletes analitikai és topográfiai felderítése megerősítette a kisbronz származásáról kialakított véleményeket. A kutatóink által készített neutron-tomográfus video-klipet a budapesti Leonardo-kiállítás mintegy 60 ezer látogatója tekintette meg.

A Budapesti Kutatóreaktor működése/működtetése nyomán olyan szaktudás és biztonsági kompetencia alakult ki, ami révén, a reaktort üzemeltető Energiatudományi Kutatóközpont (és jogelődje a KFKI Atomenergia Kutatóintézet) méltán lett tudományos bázisintézménye a Paksi Atomerőműnek és műszaki-szakértői partnerintézete az Országos Atomenergia Hivatalnak.

A BKR a hat évtizeddel ezelőtti indítása óta több ízben esett át felújításon, bővítésen; ezek célja – az aktuális műszaki korszerűsítéseken és a nukleáris biztonság növelésén túl – mindig a jobb üzemi paraméterek elérése és a kapacitások bővítése volt. A csillebérci reaktor eredetileg 2.5 MW teljesítménnyel indult, amit 1967-ben 5 MW-ra emeltek. Az 1986 és 1992 közötti - nagy - rekonstrukció keretében – hazai tervezéssel, kivitelezéssel és nyugati komponensek beépítésével – 10 MW-ra növelték a teljesítményt és megduplázták a kísérleti állomások számát. Ebből is látszik, hogy egy kutatóreaktor hőteljesítménye kicsi, pl. egy paksi erőművi blokkhoz képest kevesebb, mint 1%. Viszont a maghasadás kompaktabb zónában



zajlik, így a kutatási és besugárzási feladatokra alkalmas neutronok sűrűsége és fluxusa jóval nagyobb, a korszerűsítések is leginkább ennek jobb kihasználására irányultak.

2000-ben egy ú.n. hideg-neutronforrás és három szupertükrös neutronvezető felépítésével mintegy 20-60-szorosára lehetett növelni a neutronhozamot a mérőberendezéseken. Ezzel a BKR belépett a világranglista 'TOP-20'-as neutronforrások kategóriájába.

2009-2013 között a BKR átállt a nemzetközi norma szerint elvárt 20%-os (alacsony) dúsítású urán fűtőanyag használatára, és egyúttal visszaszállításra került Oroszországba az addig felhalmozódott összes kiégett nagyaktivitású fűtőelem. A hazai nukleáris kompetencia hosszútávú fenntartására, azaz versenyképes kutatásokhoz és hatékony társadalmi szolgáltatásokhoz 2020-ban a reaktor egy jelentős modernizációját is célzó, a következő évtizedre vonatkozó „útiter” készült, amelynek irányelvei összhangban vannak a reaktor üzemidő hosszabbítási szándékával, a hazai Kutatási, Fejlesztési és Innovációs (röviden: KFI-s) prioritásokkal, energetikai fejlesztésekkel, valamint az európai kutatási infrastruktúra törekvésekkel. Ugyanebben az évben a Kormány 4 milliárd forint támogatást biztosított fűtőelembeszerzésre, ezzel a készlettel a reaktor 2027-ig üzemeltethető.