

ÖRÖKSÉGTUDOMÁNY

Szikszai Zita, Major István, Horváth Anikó
HUN-REN Atommagkutató Intézet, Debrecen

Szikszai Zita fizikus, az ATOMKI tudományos főmunkatársa. Kutatási területe az ionnyaláb-analitika interdiszciplináris alkalmazásai, illetve az archeometria. Az Európai Örökségtudományi Kutatási Infrastruktúra (E-RHIS) magyarországi kapcsolattartója.

Major István az ATOMKI Nemzetközi Radiokarbon AMS Kompetencia- és Képzési Központ tudományos főmunkatársa. PhD-fokozatát a Debreceni Egyetemen szerezte 2017-ben, a légkörben található széntartalmú szennyezők radiokarbonos vizsgálatából. Azóta környezeti és régészeti területeken is dolgozik, mégpedig légköri aeroszolok és régészeti csontminták radiokarbonos és stabilizotópos vizsgálatával.

Horváth Anikó vegyész, munkahelye az ATOMKI Izotópklimatológiai és Környezetkutató Központ. Kutatási területe a nehéz geoelemek (stroncium, ólom) izotóparányának vizsgálata élelmiszeripari termékek és régészeti leletek azonosításában. Jelenleg védés előtt áll a DE TTK Fizika Tudományok Doktori Iskolában. Publikációi az előbbi területen kívül kiterjednek a hidrológia és geológia területére és a témával kapcsolatos ismeretterjesztésre is.

Az örökségtudomány egy viszonylag új megnevezés a kulturális és természeti örökségünkkel kapcsolatos komplex kutatásokra, amelyek felölelik az örökség kezelését, elemzését, konzerválását, interpretációját és dokumentálását. Az új tudományágban nagy szerepet játszik a természettudományos módszerek, ezen belül az érzékeny analitikai eljárások használata a régészet, muzeológia, művészettörténet, antropológia és paleontológia terén. Az ATOMKI ezen eljárások alkalmazásában és fejlesztésében több évtizedes hagyománnyal rendelkezik.

Örökségünk tárgyi emlékeit nemcsak formájuk, stílusjegyeik, hanem anyaguk és fizikai tulajdonságaiknak összessége is jellemzi, amelyből megfelelő értelmezéssel történeti jelentőségű információ is kinyerhető. Az ATOMKI-ban folyó archeometriai vizsgálatok elsősorban elem- és izotópanalitikai technikák alkalmazásával, illetve spektroszkópiai és képalkotó módszerek kombinálásával történnek. Hazai múzeumok, régészek, egyetemi kutatócsoportok és nemzetközi partnerek számára biztosítunk kutatási lehetőséget.

Roncsolásmentes analitika

Műtárgyak, régészeti leletek esetében különösen fontos, hogy lehetőség szerint roncsolásmentes technikát válasszunk a tárgyak vizsgálatához. Az ATOMKI Tandetron gyorsítójának egyik nyalábcsatornájára telepített ionnyaláb-analitikai mérőelrendezés az elemek koncentrációjának és eloszlásának meghatározására szolgál jó térbeli feloldással, mind vákuumban, mind levegőn (ez utóbbi elengedhetetlen nagyobb, illetve érzékeny tárgyak esetén). Az ionnyaláb-analitikai módszerek lényege, hogy néhány millió elektronvolt energiájú részecskékkel (legtöbbször protonokkal) sugározzuk be a mintát, és a kölcsönhatás jellegétől függően a mintára beeső részecskék szóródhatnak, lefékeződés, illetve abszorpció következhet be, miközben az atomok gerjesztődhetnek, ionizálódhatnak, továbbá atommag-átalakulások is létrejöhetnek. E folyamatok elektromágneses sugárzás (optikai, röntgen-, gamma-) vagy részecskék (elektron, proton, alfa stb.) kibocsátásához vezetnek. A fizikai folyamatok során keletkező sugárzások, illetve részecskék energiái jellemzőek az azokat kibocsátó atomokra vagy atommagokra, azaz a vizsgált anyag elemi összetevőire, míg intenzitásuk a mintában lévő elemek mennyiségétől függ. Az ún. ionmikroszkopos erős elektromágnesi fókuszálják a beeső ionnyalábot, és ha ezt a fókuszált nyalábot pásztázzuk a mintán, térképszerűen jeleníthetjük meg a mintában lévő elemek felületi eloszlását.

Elemanalízis, illetve elemtérképezés – szükség szerint – mikro-XRF (röntgenfluoreszcencia) berendezéssel is történhet. A hagyományosabb optikai képalkotó módszerek mellett elérhető egy digitális 3D mikroszkóp, amely a kiváló képminőség mellett kvantitatív információt is nyújt a tárgyakon lévő struktúrákról. Szintén rendelkezésre áll egy alacsonyvákuum-üzemű pásztázó elektronmikroszkóp, különböző analitikai lehetőségekkel. Végül a Raman-spektroszkópia a mintára eső fény rugalmatlan szórásán alapul, ilyenkor a szórt fotonok energiája nem egyezik meg a beeső fotonokéval. A frekvencia megváltozása a közeg rezgéseitől függ, így az ún. Raman-eltolódás a minta kémiai és szerkezeti azonosítására szolgál. A nagy pontosságú elemanalízis, az ásványfázisok azonosítása, a képalkotás mikro- és nanoskálán információt nyújtanak a leletek, műtárgyak származásáról, készítési technológiájáról, a nyersanyagok eredetéről, a tárgyak állagáról. A fenti technikák bizonyos megszorításokkal roncsolásmentesnek tekinthetők, így széles körben alkalmazhatók kulturális örökség vizsgálatára.

Radiokarbonos kormeghatározás, stabil izotópok

A földi élet szempontjából egyik legjelentősebb elem a szén, amelynek 14-es tömegszámú radioaktív izotópja természetes úton van jelen a Földön. A kozmikus sugárzás a Föld felső légkörében jelentős mennyiségben hoz létre szabad neutronokat, melyek hatására a radiokarbon (^{14}C) a légköri nitrogénből egy magreakció végmagjaként keletkezik. A radiokarbon a légkörben gyorsan oxidálódik szén-dioxidá, és folyamatosan „nyomjelzi” a légköri szén-dioxidot. Az instabil ^{14}C mindeközben 5700 ± 40 év felezési idővel radioaktívan elbomlik, visszaalakul ^{14}N -né. Mivel a kozmikus sugárzás intenzitása hosszú idő óta közel állandó, és ehhez képest a ^{14}C felezési ideje rövidnek tekinthető, a Földön a kozmogénikus ^{14}C mennyisége radioaktív egyensúlyi állapotban van.

A légköri szén beépülésével formálódó képződmények létrejöttékor azok szénének fajlagos ^{14}C radioaktivitása folyamatosan követi az atmoszferikus szén fajlagos radiokarbon-aktivitását. Ekkor széntartalmukat radiokarbon-tartalom szempontjából modernnek nevezzük. A beépülési folyamat megszünte után – például egy élőlény elpusztulásával az anyagcsere leállásakor – további ^{14}C -felvétel nem történik, ezért a ^{14}C koncentrációja az adott anyagban a felezési időnek megfelelően exponenciálisan csökken a radioaktív bomlás miatt. Ez egyben a radiokarbon-kormeghatározás elve is, hiszen a kezdeti aktivitást ismerjük, és amikor később a leletben mérjük a maradék ^{14}C mennyiségét, a csökkenés mértéke megadja az eltelt időt. A módszernek nagy jelentősége van a régészetben, mivel segítségével a leletek mintegy 50 ezer évig visszamenően dátumozhatók.

A radiokarbon természetes radioaktivitása igen csekély mértékű, csak igen gyenge béta sugárzással jár. Az 1980-as évektől 2010-ig az ATOMKI-ban a leletek radioaktivitásának mérésével határozták meg a radiokarbonkort, ám 2010 után már lehetőség van a sokkal kisebb munkamennyiségeket igénylő és gyorsabban elvégezhető gyorsító tömegspektrométeres (Accelerator Mass Spectrometry, AMS) módszerre, ami új dimenziókat nyitott a régészeti kutatásokban is [1].

A legkülönbözőbb széntartalmú anyagokból készült használati tárgyak, ékszerek keltezése sok esetben maga a megtalálási lelőhely korának a meghatározásához is nélkülözhetetlen. Az állati, vagy a letűnt kultúrák emberi csontjaiban megmaradó kollagén segítségével meghatározható a leletek kora, míg a szén, nitrogén és kén stabilizotóp-arányok ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{34}\text{S}$) mérésével a táplálkozási szokásokról vagy a vándorlási folyamatokról is információt kaphatunk. A stabil izotópok aránya abszolút értelemben rendkívül kicsi, ezért ezeket inkább egy referenciaanyag nullának tekintett izotóparányaihoz képest szokták megadni ezrelékben kifejezve, ezt jelöljük a δ szimbólummal. Így például mikrofosszília-elemzések segítségével a növénytermesztés történetét is pontosíthatjuk. A csontokba zárt szervesen apatitfrakciót alkotó hidrogén és oxigén ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) stabilizotópok a környezeti tényezőkről tanúskodnak, míg ugyanitt a stronciummal ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) az emberi és állati vándorlási folyamatok, vagy egy-egy tárgy esetében annak származási helye vizsgálható.

Együttműködések

Az örökségtudományban a hazai együttműködések elsősorban a Kárpát-medence területén talált régészeti leletek tanulmányozására vonatkoznak, és több korszakot ölelnek át az őskortól a korai középkorig:

- A felső paleolitikum Kárpát-medencei állati- és embericsont-mintáinak izotópos vizsgálata, kultúrrétegek értelmezése, a paleokörnyezet rekonstrukciója
- Emberi népcsoportok megjelenése és eltűnése a Kárpát-medencén belül (pl. a rézkori Jamnaja kultúra, vagy a népvándorlás kora)
- A magyarországi réz-, bronz- és vaskori kultúrák életvitelével, szokásaival, eszközeivel kapcsolatos elemálitikai, izotópos és egyéb mérések
- A hajdúsági kései bronzkor fém, csont és kerámia leleteinek komplex archeometriája [2]
- Honfoglalás-kori leletek vizsgálata [3]

A Nyemija-sisak

A debreceni Déri Múzeumban őrzött, lelőhelye alapján Nyemija-sisakként ismert lelet a 10–11. századi északi kultúra emlékei közé tartozik. Vizsgálatainkkal megállapítottuk, hogy a vassisak díszítő lemezei vörösréz-ből készültek. A rézlemezek ötvözőanyagot nem, csak a rézércből származó szennyezőanyagokat tartalmaztak. A vörösréz szép színe mellett lágy, jól hajlítható, formálható anyag, a nemes- és színesfémeknél szokásos ötvös-technikákkal (poncolás, domborítás, cizellálás) kialakítható díszítésekhez ideális. Az aranyréteget tűzi aranyozással (amalgámozással) vitték fel a felületre, amiről a jelentős higanytartalom tanúskodott.



1. ábra. A Nyemija-sisak vizsgálata az ATOMKI Tandetron Laboratóriumában kihozott nyalábos mikro-PIXE módszerrel (PIXE: részecskeindukált röntgenemisszió)

A kagán lovása

A Déri Múzeum munkatársai 2017 tavaszán egy lovával és fegyverzetével elhantolt avar kori harcos sírját tárták fel a Hajdú-Bihar megyei Derecske délnyugati határában. Az átfogó régészeti és természettudományos vizsgálatok keretében intézetünk is kapott mintákat mind a harcos, mind pedig a lova csontvázából. Ezeket ^{14}C -kormeghatározást végeztünk, illetve meghatároztuk a táplálkozási szokásokra utaló stabil szén- és nitrogénizotóp-arányokat, valamint a környezeti viszonyoktól függő, és így az esetleges helyváltoztatásra utaló stronciumizotóp-arányokat. A stronciumeredmények alapján a lovas ezen a vidéken született és nőtt fel, jelentős vándorlás lehetősége nem volt kimutatható [4]. A lovas táplálkozására az utolsó pár évében a nagyobb mennyiségű állati fehérje bevitele, illetve a köles gabonanövény alkalmankénti fogyasztása volt a jellemző, amit ebben az időben már elterjedten használtak a Kárpát-medencében [5]. A radiokarbonos kormeghatározás alapján a lovast és a lovát valamikor Kr. u. 580 és 650 között temethették el közvetlenül egymás mellé.



2. ábra. Az avar kori harcos életnagyságú rekonstrukciója (Fotó: Déri Múzeum, Debrecen)

Kitekintés, jövőkép

A partnerekkel végzett közös kutatásokon túl módszertani kutatásokat valósítunk meg, ide tartoznak a mérések, illetve az adatkiértékelés optimalizálása az általunk vizsgált anyagcsoportokra, a kimutathatósági határ csökkentése, a pontosság növelése, új területek feltérképezése, illetve a területen nagyon fontos szempontként az anyagvizsgálati módszerek biztonságos határainak kijelölése.

Az ATOMKI 2009 óta részese olyan európai projekteknek, amelyek keretében a résztvevők hozzáférést biztosítanak műszerparkjukhoz vendégkutatók számára a kulturális örökség témakörében [6]. E projektek alapot szolgáltattak egy új, ún. elosztott székhelyű európai infrastruktúra létrehozásához. Az Európai Örökségtudományi Kutatási Infrastruktúra (European Infrastructure for Heritage Science, E-RIHS) jelenleg megvalósítási szakaszban van. Az infrastruktúra magában foglalja majd az E-RIHS központot és a tagállami csomópontokat, rögzített és mobil infrastruktúrákat, fizikailag hozzáférhető archívumokat és virtuálisan elérhető adatbázisokat. Célunk, hogy intézetünk legyen ennek az infrastruktúrának az egyik pillére [7].

Irodalom

1. Molnár M. (2012): A radiokarbon ezer arca. *Természet Világa*, 143/5, 236–238.
2. Angyal A., et al.: A második hajdúböszörményi szitula elemanalitikai vizsgálata. In: V Szabó, Gábor; Bálint, Marianna; Váczi, Gábor (szerk.) A második hajdúböszörményi szitula és kapcsolatrendszere. Budapest, Magyarország, Hajdúböszörmény, Magyarország: ELTE BTK Régészettudományi Intézet, Hajdúsági Múzeum 278 (2017) 69–77.
3. Ilés-Muszka A., Angyal A. (2021): Négyzet alakú övveretek a 10. századi Kárpát-medencében : Régészeti és archeometriai vizsgálatok. *Magyar Régészet*, 10/2, 24–37.
4. Horváth A., Palcsu L.: Az avar lovas eredetének vizsgálata stroncium izotóparány-méréssel. In: Dani, János; Hága, Tamara Katalin (szerk.) A kagán lovasa Debrecen, Magyarország : Déri Múzeum (2021) pp. 135–138.
5. Major I., et al.: Miről árulkodik az avar lovas stabil szén- és nitrogénizotópos vizsgálata. In: Dani János, Hága Tamara Katalin (szerk.) A kagán lovasa Debrecen, Magyarország. Déri Múzeum, (2021) 129–134.
6. Szikszai Z. (2012): A rejtélyes baltakő. *Természet Világa*, 143/5, 234–235.
7. <https://e-rihs.hu>