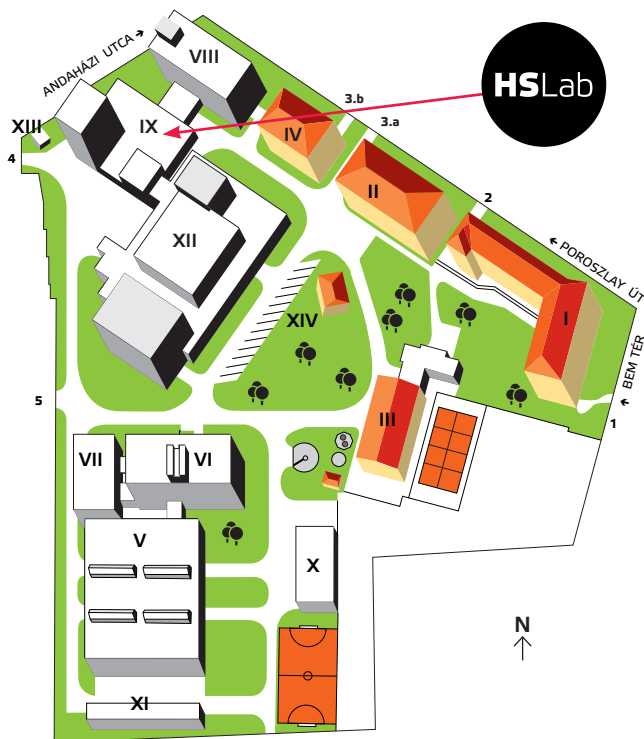




Cím / telephely: 4026 Debrecen, Bem tér 18/c

Postacím: 4001 Debrecen, Pf. 51.
GPS: N47.544116,E21.624160

Telefon: +36 52 509 200

e-mail: hslab@atomki.mta.hu

www.hslab.atomki.hu

**AZ MTA ATOMKI ÖRÖKSÉGTUDOMÁNYI
LABORATÓRIUMÁNAK KIÉPÍTÉSE
– FELKÉSZÜLÉS AZ E-RIHS SZEREPRE**

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Regionális
Fejlesztési Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE



MTA Atomki

Magyar Tudományos Akadémia
Atommagkutató Intézet
Debrecen

MTA ATOMKI

Alapítva 1954-ben

Az Atommagkutató Intézet, röviden MTA Atomki, illetve Atomki, a Magyar Tudományos Akadémia kutatóintézeti hálózatának tagja Debrecenben.

Az Atomki alaptevékenysége a természet törvényeinek megismerésére irányuló mikrofizikai kutatás, mellyel hozzájárul a világban folyó tudományos kutatások eredményeihez és a hazai tudományos és műszaki kultúra fenntartásához.



HSLAB

Az MTA Atomki Örökségtudományi Laboratóriumának kiépítése – felkészülés az E-RIHS szerepe

Az Örökségtudományi Laboratórium hazai és nemzetközi együttműködések keretében végzendő kutatások számára alakult kulturális és természeti örökség témakörében.

Az MTA Atomki Ionnyaláb-fizikai Laboratóriumának Ionnyaláb-alkalmazások Csoportja jelenleg is atom- és magfizikai módszereket alkalmaz multidiszciplináris kutatási témákban, többek között régészeti leletek és műtárgyak anyagösszetételének vizsgálatára. A Klímakutatói és Környezetfizikai Laboratórium C-14 Csoportjának fő profilja a radiokarbonos kormeghatározás. A HSLAB projekt az Ionnyaláb-alkalmazások Csoport, valamint a C-14 Csoport közös vállalkozása a meglévő kompetenciák jelentős bővítésére, új technikák bevezetésével és új berendezések beszerzésével.



Weboldal:
www.hslab.atomki.hu

ÖRÖKSÉGTUDOMÁNY – angolul HERITAGE SCIENCE

egy viszonylag új megnevezés a kulturális és természeti örökségünkkel kapcsolatos komplex kutatásokra, melyek felölelik az örökségtudományhoz kapcsolódó tárgyak kezelését, konzerválását, elemzését, az adatok interpretációját és dokumentálását

Az új tudományágban a régészet, a muzeológia, a művészettörténet, az antropológia és a paleontológia mellett egyre nagyobb szerepet játszanak az érzékeny analitikai módszerek, különösen a csaknem roncsolásmentes, fizikai alapú eljárások. Az Atomki ezen eljárások alkalmazásában, fejlesztésében több évtizedes hagyománnyal rendelkezik.

Az örökségtudomány egy dinamikusan fejlődő terület, melynek társadalmi jelentőségét mind az EU, mind hazánk felismerte. Az európai stratégiai kutatási infrastruktúra-fejlesztések új úttervébe (ESFRI Roadmap) 2016 márciusában bekerült az európai örökségtudományi kutatási infrastruktúra (*E-RIHS – European Research*

Infrastructure for Heritage Science) kezdeményezés is, amely magas színvonalú európai laboratóriumok és múzeumok összefogása egy egyedülálló páneurópai kutatási infrastruktúrahálózat létrehozására.

A HSLAB projekt eredményeként az MTA Atomki ennek a multidiszciplináris, elosztott helyszínű kutatási infrastruktúrának egyik nemzetközileg is kiemelkedő csomópontja lesz. Az infrastruktúrahálózat kiépítését előkészítő projektben Magyarországot az MTA Atomki vezetésével az **E-RIHS.hu** konzorcium képviseli, melynek további tagjai az MTA Energia-kutató Intézet, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, valamint a Magyar Nemzeti Múzeum.

IPERION CH – E-RIHS

H2020 IPERION CH

Az E-RIHS egyik bázisa a jelenleg futó H2020 IPERION CH (*Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Culture Heritage*) projekt, amely a kulturális örökség kutatásában már most is egyedülálló együttműködést valósít meg

A résztvevő intézetek hozzá-
férést biztosítanak a kulturális
örökség tárgyú vizsgálatokban
használt mérőberendezéseik-
hez és adatbázisaikhoz külső
felhasználók számára (*TNA:
Trans-National Access*).

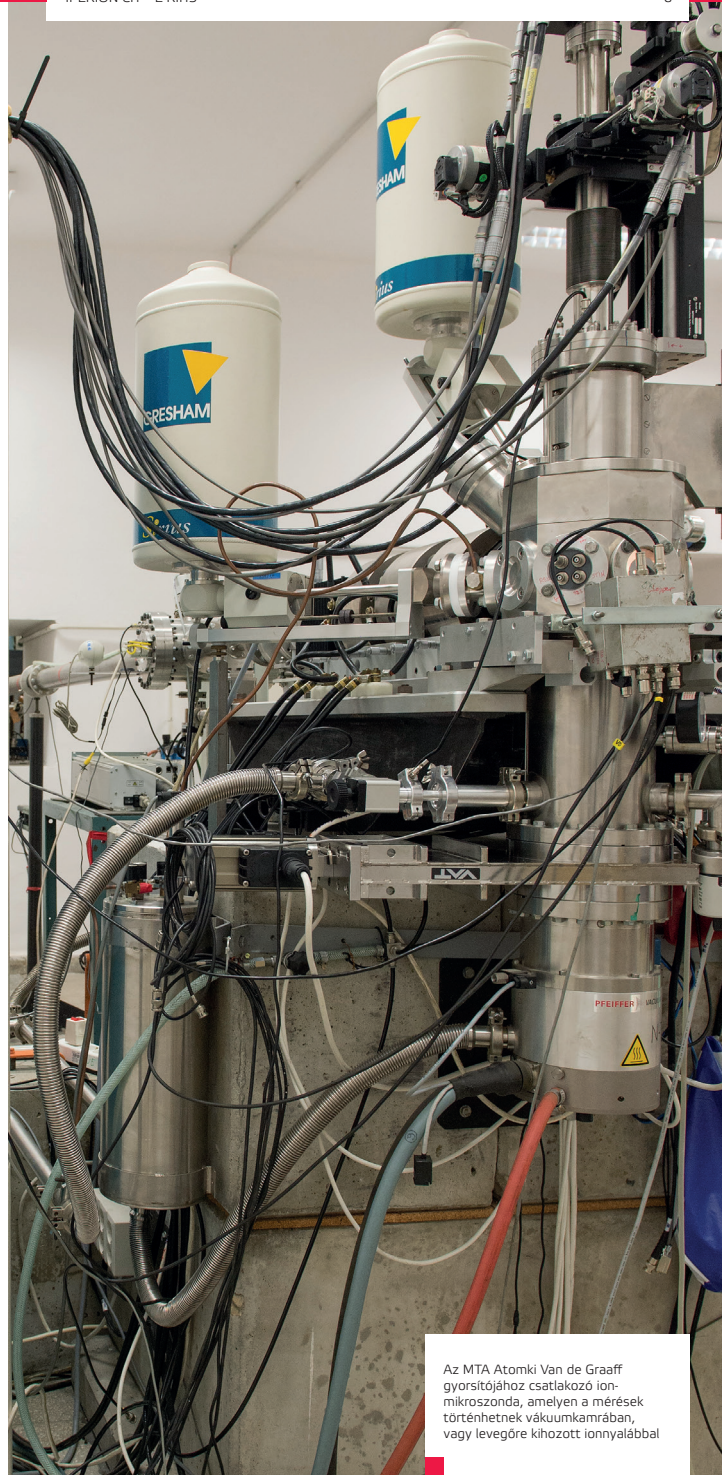
Ezt olyan közös kutatási
feladatok egészítik ki, amelyek
tovább növelik az infrastruk-
túrák teljesítőképességét.

Az MTA Atomki Ionnyaláb-
alkalmazások Csoport elem-
analitikai vizsgálatokkal vesz
részt a TNA programban,
fő kutatási feladata pedig a
sugárzás hatásának vizsgálata
érzékeny anyagok esetében.

Az MTA Atomki az IPERION CH
projektben betöltött szerepéhez
képest még hangsúlyosabban
jelenik majd meg az E-RIHS
infrastruktúrában. Ezt egyrészt
az intézetben alkalmazott gyor-
sító elemanalitikai technikák
legkorszerűbb képalkotó-anali-
tikai módszerekkel történő ki-
egészítése biztosítja, másrészt
pedig az európai keretben zajló
vizsgálatok körének kibőví-
tése a régészetben alapvető
jelentőségű radiokarbonos
kormeghatározással, amit az
MTA Atomki és az Isotoptech Zrt.
által közösen üzemeltetett
világszínvonalú gyorsító
tömegspektrométer (AMS)
teszt lehetővé.



IPERION CH



Az MTA Atomki Van de Graaff
gyorsítójához csatlakozó ion-
mikroszkóp, amelyen a mérések
történhetnek vákuumkamrában,
vagy levegőre kihozott ionnyalábbal

ÚJ INFRASTRUKTÚRA

A GINOP PROJEKT KERETÉBEN ÉRKEZŐ ESZKÖZÖK

A projekt egyik pillére egy világszínvonalú analitikai-képző eszközpark összeállítása, amely széles mérettartományban ad információt a vizsgált tárgyakról

A kulturális örökség tárgyainak vizsgálatánál első lépés az optikai képző. Erre a célra egy **digitális 3D mikroszkóp** beszerzése van tervbe véve, amely a tárgyon lévő struktúrák méreteiről is kvantitatív információt nyújt, nemcsak horizontális, hanem vertikális skálán is, ami nagy segítséget nyújt pl. vésetek vagy kiemelkedő díszítő elemek mélységének, illetve vastagságának a meghatározásában.

Az MTA Atomkiban jelenleg alkalmazott gyorsító elem-analitikát kiválóan egészíti ki a beszerzendő **mikro-XFR** berendezés (*XFR: röntgenfluoreszcencia*), mivel a vizsgálandó tárgytól és a meghatározandó elemektől függően vagy az egyik, vagy a másik

vizsgálati módszer az optikai. A kulturális örökség tárgyainál gyakran lényeges szempont, hogy az alkalmazott technika roncsolásmentes legyen. A nanoskálán is informatív hagyományos elektron-mikroszkópia ezért sokszor nem használható.

A beszerezni kívánt pásztázó elektronmikroszkóp (*SEM: scanning electron microscope*) kamrájában változtatható lesz a nyomás, így vákuumra érzékeny, illetve szigetelő minták natív vizsgálatára is alkalmas lesz.

A berendezés egy beépített Raman-mikroszkópot is tartalmazni fog, így korrelatív mikroszkópiára alkalmas **SEM-Raman mikroszkópként** is lehet majd használni.

A projekt másik pillérének az eddig is világszínvonalon működő **gyorsító tömegspektrométer (AMS)** laboratóriumban a vizsgálható régészeti leletek körének jelentős bővítése van tervbe véve

A szerves régészeti minták tiszta, jól reprodukálható, gyors előkészítése érdekében egy **automatizált grafitizáló berendezés** beszerzése van folyamatban. Mivel a hamvasztott csontok a kollagén kiegészítés miatt hagyományos AMS módszerrel nem vizsgálhatók, ezeknél a mintáknál szervesetlen bioapatitból határozható meg

a C-14 kor. Az ilyen típusú minták előkészítéséhez beszerzünk egy **karbonátfeltáró egységet**. A régészeti szempontból fontos csontmintáknál a pontos eredmények eléréséhez stabilizatóp-mérések is kellenek, melyekhez szükség van egy **speciális mintaelőkészítő berendezésre**. Ez a műszer már meg is érkezett az MTA Atomkiba.

LABORATÓRIUM

IONNYALÁB-ANALITIKAI CSOPORT

A laboratóriumban jelenleg alkalmazott analitikai módszerek nagy energiájú ionok különféle anyagokkal történő fizikai kölcsönhatásain alapulnak

A kölcsönhatás jellegétől függően a mintára beeső részecskék szóródhatnak, lefékeződés, illetve abszorpció következhet be, miközben az atomok gerjesztődhetnek, ionizálódhatnak, továbbá atommag-átalakulások is létrejöhetnek.

Ezen folyamatok elektromágneses sugárzás (optikai-, röntgen-, gamma-) és/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.

Mérésükkel lehetővé válik a minta (elemi, ill. esetenként kémiai) összetételének kvalitatív és kvantitatív meghatározása.



A Van de Graaff gyorsító
nyalábcsonatjai

A LEGELTERJEDTEBBEN ALKALMAZOTT IONNYALÁB-ANALITIKAI TECHNIKÁK A KÖVETKEZŐK:

- Részecske-indukált röntgen-emissziós analízis (*Particle Induced X-ray Emission: PIXE*), amely a minta atomjai (pontosabban az elektronhéj) által kibocsátott, az adott elemre (rendszámról) jellemző energiájú, ún. karakterisztikus röntgensugárzás mérésén alapszik. Az alkalmazott detektorok típusától és a kísérleti berendezéstől függően a módszer általában a széntől vagy a magnéziumtól kezdődően egészen az uránig terjedő elem-tartományra alkalmazható.
- Rutherford-féle visszaszórási analízis (*Rutherford Back-scattering Spectrometry: RBS*). Az ionnyaláb részecskéinek egy része az atom elektronhéj-burkán áthatolva magáról az atommagról szóródik vissza rugalmasan. A visszaszórt ion energiája a visszaszóró atommag tömegének függvénye.

A módszer különösen alkalmas a mintában lévő elemek mélységi eloszlásának meghatározására a minta felületi rétegeiben. Emiatt az RBS elsősorban a mintát ért külső behatások, korróziós jelenségek, bevonatok tanulmányozására használható.

- Töltött részecskék által indukált gamma-emissziós analízis (*Particle Induced Gamma-ray Emission: PIGE*). A töltött részecske-nyaláb egy része kölcsönhatásba lép az atommaggal és magreakciót hoz létre. Az eredő gamma- vagy részecskesugárzás a minta elemi összetevőin túlmenően elvileg az izotópösszetevőkről is információt ad. A PIGE módszer elsősorban kis és közepes rendszámú elemek (lítiumtól kénig) mennyiségi meghatározására alkalmazható, elemtől függően erősen változó érzékenységgel.



Nagy méretű, vagy vákuumba érzékeny tárgyak a kihozott nyalábos elrendezésben vizsgálhatók

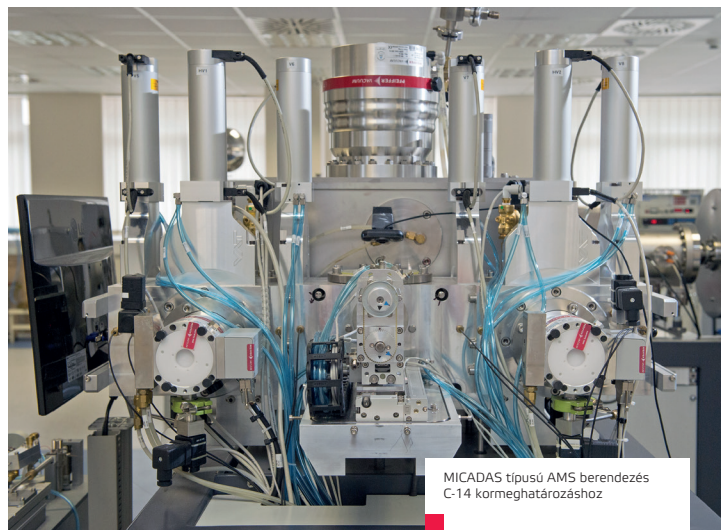
AMS C-14 CSOPORT RADIOKARBONOS KORMEGHATÁROZÁS



Mintaelőkészítés
C-14 kormeghatározáshoz
az MTA Atomkiban

A radioaktivitás csökkenésének mérésén alapuló kormeghatározás mögött a radioaktív bomlástörvény áll, amely szerint zárt rendszerben a minta adott izotópjának radioaktivitása exponenciálisan csökken az adott izotópra jellemző bomlásállandó mellett.

A földi élet szempontjából egyik legjelentősebb elem a szén, amelynek 14-es tömegszámú radioaktív izotópja (^{14}C) természetes módon van jelen a Földön. A kozmikus sugárzás a Föld felső légkörében jelentős mennyiségben hoz létre szabad neutronokat.



MICADAS típusú AMS berendezés
C-14 kormeghatározáshoz

Ezen neutronok hatására a ^{14}C radiokarbon a légkörben főként nitrogénen végbemenő magreakció végmagjaként keletkezhet. A ^{14}C 5730 ± 40 év felezési idővel a nitrogén 14-es tömegszámú izotópjába (^{14}N) bomlik. Számítások szerint másodpercenként 2-2,5 ^{14}C atom keletkezik a Föld felületének minden egyes négyzetcentiméterére vonatkoztatva. A radiokarbon a légkörben

gyorsan oxidálódik szén-dioxiddá, és folyamatosan „nyomjelzi” a légköri szén-dioxidot. Mivel a kozmikus sugárzás intenzitása hosszú idő óta közel állandó, és ehhez képest a ^{14}C felezési ideje rövidnek tekinthető, a Földön a kozmogenikus ^{14}C radioaktív egyensúlyi állapotban van.

A légköri szén beépülésével formálódó képződmények létrejöttékor azok szénének fajlagos radioaktivitása folyamatosan követi az atmoszférikus szén fajlagos radiokarbon-aktivitását. Ekkor széntartalmukat radiokarbon-tartalom szempontjából modernnek nevezik. A beépülési folyamat megszűnte 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 módszernek nagy jelentősége van a régészetben, mivel segítségével a leletek mintegy 50 ezer évig visszamenően dátumozhatók. A mérési módszert az 1980-as években honosítottuk meg az Atomkiban, és azóta szolgáljuk ki az egyre növekvő számú hazai és külföldi mérési igényeket.



Graftizált minták
AMS C-14 kormeghatározáshoz

MINTA TÍPUSA	SZÉNTARTALOM (%)	AMS C-14 KORMEGHATÁROZÁSHOZ SZÜKSÉGES ANYAGMENNYISÉG
faszén, tőzeg	50-90	1-50 mg
fa	2-10	10-125 mg
szövet, vászon	10-50	2-25 mg
üledék, talaj	0,2-5	20 mg -1 g
csont, fog	1-5	20-300 mg
korall, cseppkő	10	25 mg
talajvíz, rétegvíz	0,01	50-200 ml
levegő	0,04	2-3 liter

A gáztöltésű proporcionális bétaszámlálós (GPC) módszer lassúsága miatt egyre kevésbé tudta kiszolgálni az igényeket. 2009-től elindult egy gyorsító tömegspektrométeres technikára (AMS) alapuló C-14 laboratórium kiépítése az intézetben. Ennek keretében felépült egy új, célirányosan fejlesztett és felszerelt AMS mintaelőkészítő laboratórium, valamint a svájci ETHZ (Zürich) lonnyaláb-analitikai Laboratóriumával közösen kifejlesztésre került egy MICADAS típusú, egyedi gázionforrással ellátott tömegspektrométer. Ezt a kompakt célberendezést, amely a maga nemében

a harmadik ilyen műszer volt a világon, 2011 nyarán telepítették az Atomkiba. Az új eszköz adta páratlan lehetőségek kiaknázására az Arizona Egyetem elismert radiokarbon laboratóriumának vezető kutatója, Prof. A. J. Timothy Jull vendégkutatóként csatlakozott az Atomkiban folyó kutatómunkához, majd teljes állású kutatóként átvette az AMS C-14 csoport vezetését.

Az elmúlt évek intenzív infrastrukturális fejlesztései együtt jártak számos, sokszor világviszonylatban is újnak mondható eszköz- és módszerfejlesztéssel.



0,2 MV terminálfeszültségű gyorsító az AMS berendezésben

ICP-MS LABORATÓRIUM

NAGY ÉRZÉKENYSÉGŰ ATOMSPEKTROSKÓPIA

Az ütközésireakció-cellával felszerelt Agilent 8800 típusú induktív csatolású plazma tömegspektrométerrel (ICP-MS) megvalósítható az elemek akár nyomnyi koncentrációinak meghatározása, valamint izotóparányainak a mérése is. Az ütközési cella és a tandem

tömegspektrometriai mód interferenciamentes méréseket tesz lehetővé. 2015-ben a mintavételi rendszer egy nagyteljesítményű lézeralblációs berendezéssel bővült, így alkalmassá vált a kulturális örökség tárgyainak vizsgálatára is.

EGYÜTTMŰKÖDÉSEINK

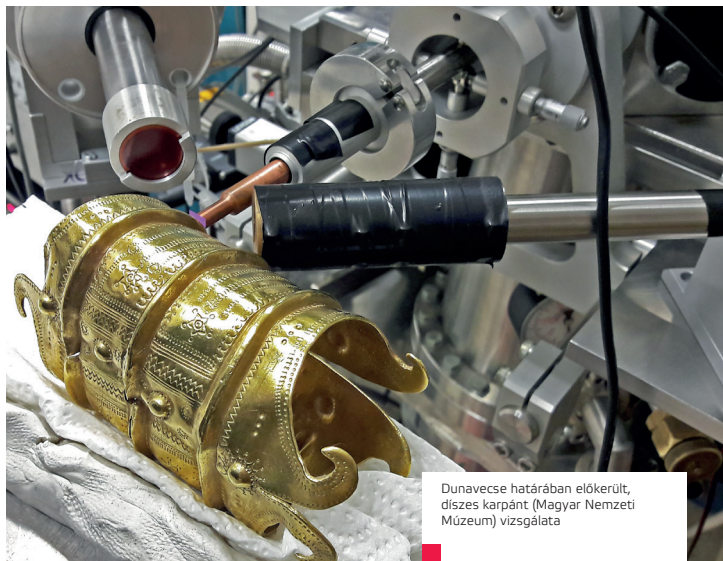
BRONZKORI ARANYTÁRGYAK VIZSGÁLATA AZ E-RIHS.HU KEZDEMÉNYEZÉS KERETÉBEN

Az általában presztíztárgyként értelmezett – kincsleletekből, sírokból, ritkábban telepekről előkerült – arany ékszerek a régészeti kutatás számára fontos forráscsoportot jelentenek

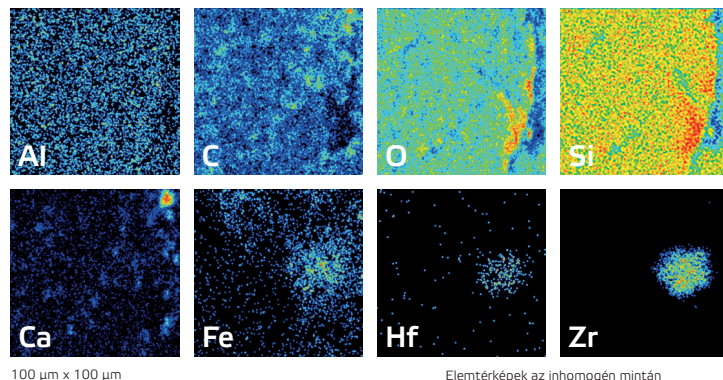
Az európai őskori arany ékszerek nyersanyagának elsődleges forrásai a hegységekben előforduló aranyérc-kibúvások voltak, míg az ezekben a hegyekben eredő folyók hordaléka szolgálhatott másodlagos forrásként, mivel a rendelkezésre álló adatok alapján az arany bányászata csak a vaskortól kezdődött. A bronzkorban (i.e. 2600/2500 és 800 között) megelénkült európai kapcsolatok nyomónkövetése szempontjából fontos kérdés, hogy a Magyarországon előkerült

aranytárgyak nyersanyagát milyen ércforrásokból szerezhették be a korszak fémművesei.

Az Atomki roncsolásmentes PIXE vizsgálat sorozat keretében elemzi a hazai múzeumokban őrzött bronzkori aranytárgyak anyagösszetételét és ezáltal nyersanyagát, együttműködve az MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont Régészeti Intézet Lendület Mobilitás kutatócsoportjával, a Magyar Nemzeti Múzeummal és a debreceni Déri Múzeummal.



Dunavecse határában előkerült, díszes karpánt (Magyar Nemzeti Múzeum) vizsgálata



100 μm x 100 μm

Elem térképek az inhomogén mintán
(ChertPIXE / Marta Sánchez de la Torre)

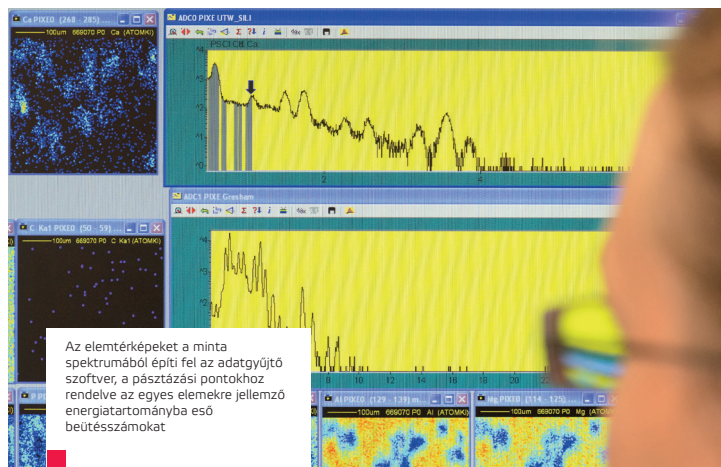
KOVAKÖVEK A PIRENEUSOKBÓL – IPERION CH PROJEKT

Ásványok esetében fontos, hogy elkülönítsük a minta mátrixát és a zárványokat. Az ionnyaláb pásztázásával elem térképeket tudunk felépíteni

Az IPERION CH EU H2020 projekt keretében a Pireneusok területén talált őskori kovakövek, illetve a környékről származó ásványminták elemösszetételét vizsgáltuk. Az ion-mikroszkop segítségével nemcsak az elemek koncentrációját, hanem azok eloszlását is meg tudjuk adni.

Az elem térképeken tetszőleges területet jelölhetünk ki, ahol további méréseket végezhetünk.

A minták mátrixában, illetve zárványaiban talált nyomelemek segítenek összekötni az őskori leleteket a szóba jöhető nyersanyagforrással.



Az elem térképeket a minta spektrumából építi fel az adatgyűjtő szoftver, a pásztázási pontokhoz rendelve az egyes elemekre jellemző energiatartományba eső beütésszámokat

AMS RADIOKARBON KORMÉRÉSEL AZONOSÍTOTTÁK SZENT ASZTRIK MARADVÁNYAIT AZ MTA ATOMKIBEN

A Kalocsa-Kecskeméti Főegyházmegye honlapján jelentette be, hogy azonosították a Szent Koronát I. István királynak hozó Asztrik kalocsai érsek relikviáit

Korábban úgy vélték, hogy az 1911-ben megtalált vörösmárvány szarkofág a XIII. század elején elhunyt Győr nembeli Saul érsek sírja volt.



© MTI Fotó: Ujvári Sándor

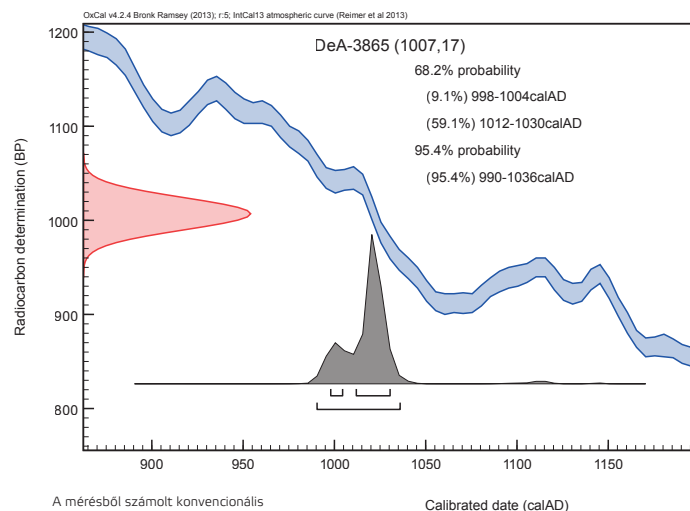
Asztrik néhai kalocsai érseket ábrázoló festmény a Kalocsai Érseki Kincstárban

Az AMS Laboratóriumban (Isotoptech Zrt – MTA Atomki) a maradványokból vett ujjcsontokon végzett radiokarbon mérések lezárultával, 2014 áprilisában az Isotoptech Zrt. és az MTA Atomki munkatársai bejelentették, hogy a lelet kora i.sz. 1001 és 1030 közé tehető. A dátum egyértelműen Asztrik kalocsai érsekre utal, aki az írásos emlékek szerint ebben az időszakban hunyt el. Bár nagy pontosságú régészeti radiokarbon méréseket több évtizede végeznek az MTA Atomkiben, ennek a mérésnek az elvégzéséhez korábban legalább 200 gramm csontmintára lett volna szükség a nagybecsű leletből. Hogy immár egy 2 gramm oszlop is elegendő volt az érseki sír radiokarbonos kormeghatározásához, az a legmodernebb gyorsított tömegspektrométeres mérés-technikának köszönhető.



Bábel Balázs érsek bemutatja a kalocsai Nagyboldogasszony Főszékesegyházban folyó régészeti feltárást 2014. április 23-án

© MTI Fotó: Ujvári Sándor



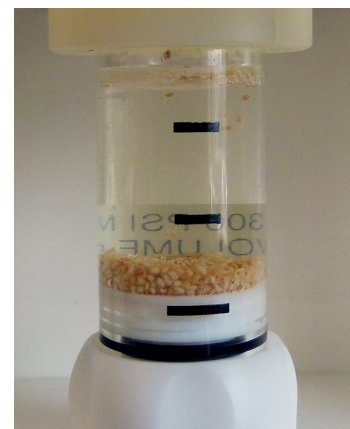
A mérésekből számolt konvencionális radiokarbon kor (BP) a kalibrációs görbére illesztve adja meg a naptári kort (calAD)



Fotó: Orsovski Judit

Az AMS radiokarbon mérésre felhasznált érseki ujjcsont darabja

A korábbi, hagyományos radiometrikus (aktivitásmérésen alapuló) technikákkal (folyadék szcintillációs számláló [LSC], gáztöltésű proporcionális számláló [GPC]) szemben az AMS tömegspektrometriás módszer esetén a mintában lévő szén $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ izotóparányát közvetlenül mérjük. Ez az izotóparány a 10^{-12} nagyságrend tartományába esik a ma élő szervezetekben, s ennek ezred részére is lecsökken egy többtízezer éves mintában. A módszerrel mérhető maximális kor 50-60 ezer év, mert ennél régebbi leletekben már mérhetően kevés marad az 5730 éves felezési idejű, 14-es tömegszámú kozmogén radioaktív szénből (^{14}C).



Csontminták kémiai előkészítése zártrendszerű reakciócellákban a debreceni AMS mintaelőkészítő laboratóriumban