

KÜLÖNLEGES „GAGÁT” GYÖNGY EGY KÜLÖNLEGES KÉSŐ RÉZKORI SÍRBÓL

SPECIAL „JET-LIKE” BEAD FROM A SPECIAL LATE COPPER AGE GRAVE*

BONDÁR Mária^{1*}; DEMÉNY Attila^{2*}; NÉMETH Péter^{2,3}; KARLIK Máté²;
FINTOR Krisztián⁴ & †TÓTH Mária²

¹Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet, Eötvös Loránd Kutatási Hálózat,
1097 Budapest, Tóth Kálmán utca 4.

²Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, Eötvös Loránd Kutatási Hálózat,
1112 Budapest, Budaörsi út 45.

³Természettudományi Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet, Eötvös Loránd Kutatási Hálózat,
1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2.

⁴Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Közettani Tanszék, 6722, Szeged Egyetem u. 2.

*levezető szerzők: bondar.maria@abtk.hu, demeny.attila@csfk.org

Abstract

Two Late Copper Age inhumation burials were uncovered in 2005 during the large-scale rescue excavations ahead of road construction in the vicinity of Balatonlelle (Somogy County). In addition to the burial proper, both graves contained the skulls of additional individuals.

Beside the vessels, the 8–9-year-old child interred in Grave 415 had a bracelet of almost pure copper on the wrist, a black bead fashioned from jet or some similar organic material on the neck and a bead hammered from sheet copper. The burial practice and the jewellery items – currently unparalleled in the archaeological record – that were deposited in the grave clearly indicate that the child buried in the grave enjoyed a special status. The DNA analyses revealed the child’s genetic sex, and kinship ties between the boy and the other skulls placed in his burial.

The sample from the black bead was studied by means of optical microscopy, X-Ray fluorescence spectroscopy (XRF), scanning electron microscopy (SEM), Fourier Transform infrared spectroscopy (FTIR), and stable isotope mass spectrometry. The bead is a light, black material with a network of fractures, and breaks with a shiny, conchoidal surface. The inner structure shows elongated pores under an optical microscope, similarly to coalified wood textures. The XRF spectrum indicates subordinate amount of silicate material, hence a shale origin can be excluded. The FTIR spectrum of the sample differs from those of the historical jet occurrences, but resembles those of sub-bituminous coals, especially Carboniferous coals from Spain and France. Stable hydrogen and carbon isotope compositions are closest to those of the latter occurrences, while local or closer regional coal and true jet locations with their special formation conditions can be excluded. The data collectively suggest Carboniferous coals, most likely from Spain or France as a source material. However, further systematic collection and geochemical investigations are needed to resolve the provenance of the „jet-like” bead.

Kivonat

2005-ben Somogy megyében autót út építését megelőző nagyfelületű ásatáson, Balatonlelle határában két késő rézkori csontvázas sír került elő. Mindkét sírban az elhunytan kívül további koponyák maradványait is megtalálták.

A 415. sírba temetett 8–9 éves gyermek csuklóján csaknem tiszta rézből készült pántkarperec, a nyakán szerves anyagból kialakított fekete, gagát jellegű gyöngy, és egy kalapált lemezgyöngy volt az edénymellékleteken kívül. A temetkezési mód és az analógia nélküli ékszemellékletek arra utalnak, hogy a sírba különleges státuszú

* How to cite this paper: BONDÁR, M.; DEMÉNY, A.; NÉMETH, P.; KARLIK, M.; FINTOR, K. & TÓTH, M., (2021): Különleges „gagát” gyöngy egy különleges késő rézkori sírból / Special „jet-like” bead from a special Late Copper Age grave (In Hungarian with English abstract), *Archeometriai Műhely XVIII/2* 143–156.

gyereket temettek. A DNS elemzés rokonságot is ki tudott mutatni az elhunyt fiú és a sírjába tett egyes koponyamaradványok között.

A fekete gyöngyöt kombinált optikai mikroszkópos, röntgenfluoreszcens spektroszkópos (XRF), pásztázó elektronmikroszkópos, Fourier transzformációs infravörös spektroszkópos (FTIR) és stabilizotóp-geokémiai vizsgálatoknak vetettük alá. A gyöngy könnyű, hálózatosan repedezett anyag, ami meglehetősen törékeny és a törési felület fényes, kagylós törést mutat. A belső szerkezet csiszolt felületen hosszúkás, irányított pórusokat mutat, a szénült fa szerkezetéhez hasonlóan. Az XRF elemzések a szilikátok alárendelt mennyiségét jelzik, így a szervesanyag-dús üledékes kőzet (pala) kizárható. A szakirodalomban gagát/et előfordulásoktól, viszont erősen hasonlít a karbon korú kőszenekhez, különösen a francia és spanyol előfordulásokhoz. A stabilhidrogén- és -szénizotóp-összetételek a leginkább a karbon korú szenekhez állnak közel, a helyi és a közeli regionális szenek, valamint a speciális képződési környezetet jelentő gagát (jet) előfordulások elvethetőek forrásanyagként. Az adatok együttesen legvalószínűbb forrásként a spanyol vagy francia karbon korú szenekre utalnak, mint potenciális forrásközetre. Mindazonáltal további szisztematikus gyűjtés és elemzések szükségesek a „gagát” gyöngy eredetének feltárására.

KEYWORDS: LATE COPPER AGE, GAGAT, JET, FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY, STABLE HYDROGEN ISOTOPE COMPOSITION, STABLE CARBON ISOTOPE COMPOSITION

KULCSSZAVAK: KÉSŐ RÉZKOR, GAGÁT, FOURIER TRANSZFORMÁCIÓS INFRAVÖRÖS SPEKTROSKÓPIA, STABIL HIDROGÉNIZOTÓP-ÖSSZETÉTEL, STABIL SZÉNIZOTÓP-ÖSSZETÉTEL

Régészeti elemzés

2005-ben Somogy megyében a 67. sz. autót út építését megelőző nagyfelületű ásáson, Balatonlelle határában, közel egy hektárnyi területen 650 objektumot tártak fel a kaposvári múzeum régészei. Előkerült két késő rézkori különleges csontvázas sír is Molnár István ásásán, amelyek vizsgálata 2016-ban megkezdődött (Bondár 2020). Az egyik sír, a 415. számú, több szempontból is rendkívül érdekes.

Miért különleges a 415. sír?

A sírba egy gyermeket és több, töredékes koponyát temettek. A 8–9 éves gyermek vékonyka csuklóján szorosan feszült egy 2 cm széles, 3,7 cm átmérőjű 14 gramm súlyú, csaknem szintiszta rézből kalapált pántkarperec, belső oldalán bőrlenymatra utaló rajzolat. Nyakánál szintén kalapált rézlemezről készült, mállékony gyöngy és egy ismeretlen anyagú fekete gyöngy volt (1. ábra), sírjába a badeni kultúrához köthető edénymellékleteket is tettek. Az ékszereket általában nőkhöz kötik a kutatók, esetünkben genetikai vizsgálat alapján fiúgyerek volt a viselője. A halott fiú koponyájától É-ra négy, jobb alkarja alatt egy egyén koponyacsontjai is előkerültek. A leletek és a sírban rögzült kontextus a halott fiú előkelő státuszát jelzik (Bondár 2019).

A sír komplex elemzéséhez végzett eddigi antropológiai és archeometriai vizsgálatok

A különleges sírral több szempontból foglalkoztunk már, több természettudományos vizsgálatot is el tudtunk végeztetni. A rézkarperec és a rézgyöngy roncsolásmentes elemzését a Régészeti Intézetben (sztereomikroszkópos pásztázás, Mihácz-Pálfi 2019) és a Budapesti Gazdasági és Műszaki Egyetemen (XRF elemzés, Gresits 2019) végezték.

A radiokarbon korhatározásra a 8–9 éves halott és a 2. számmal jelölt koponya volt alkalmas, a vizsgálatokat a Scottish Universities Environmental Research Centre Laboratóriumában (Glasgow) végeztettük (SUERC 93338 és SUERC 93339). Mindkét vizsgált maradvány kora a IV. évezred közepére keltezhető. Külön tanulmányban vizsgáltuk a koponyatemetkezés problematikáját és késő rézkori előfordulásait. Köhler Kitti antropológiai elemzése a gyermek és a további koponyák alapján meghatározható egyének (négy gyermek és egy felnőtt nő) halálkorát, a Régészeti Intézet Archeogenetikai Laboratóriumában elvégzett aDNS elemzések a genetikai nemet határozták meg. Egy új módszerű genetikai vizsgálat anyai ágon tudott rokonsági kapcsolatokat kimutatni az eltemetett fiú és két további Inf. I. korú gyermek koponyája között, valamint a sírba helyezett két másik, szintén gyermekhez tartozó fejmaradvány között is (Bondár & Szécsényi-Nagy 2020). Az antropológus megfigyelései szerint rituális gyilkosságra utaló sérülés nem látható a maradványokon, így a halottakkal való időszakonként ismétlődő kapcsolattartás emlékeit láthatjuk a koponyatemetkezésben. Régészeti és antropológiai feldolgozásban összegeztük a sír különböző vizsgálatának eddigi eredményeit is (Bondár 2020, Köhler 2020).

A leletek közül azonban a fekete gyöngy anyagának azonosítása és a lelet párhuzamai még nyitott kérdések maradtak annak ellenére, hogy korábban már készültek XRF és Raman vizsgálatok, valamint sztereomikroszkópos felvételek is a gyöngyről, amelyek szerint szerves anyagból készült a tárgy. A továbbiakban a fekete gyöngy régészeti jelentőségével, analógiájával és anyagának meghatározásával foglalkozunk.



1. ábra: Balatonlelle-Rádpusztza, 67/5. lelőhely 415. sír (Bondár 2020, 8. kép).

Fig. 1.: Balatonlelle-Rádpusztza, site 67/5, grave 415 (Bondár 2020, Fig. 8).

A különleges fekete gyöngy jelentősége, kontextusa

A gyöngy első ránézésre szénült, feltekert falevélre emlékeztet. Fényes felületű, kemény anyagból készült párhuzamosan vagdalt(?), repedezett(?), ovális alakú, lapos, két oldalán teljesen átfűrt gyöngy, hossza: 2,5 cm, szélessége: 2 cm, vastagsága kb. 0,8 cm.

Késő rézkori lelőhelyről nem ismerünk ilyen anyagból készült tárgyat. A sztereo-mikroszkópos felvételek alapján merült fel, hogy gagát (angolul jet) – vagy más néven fekete borostyán (R. Facsády 2003, Gutierrez Blanco et al. 2008) – lehet az ismeretlen anyag. A hazai szakirodalom (R. Facsády 2003, 2009) elsősorban gagátnak nevezi a fekete, szerves anyagból készült ékszereket, míg a nemzetközi szakirodalom a jet megnevezést használja. Annak érdekében, hogy mindkét szóhasználatot jelezzük, a továbbiakban a gagát/jet megnevezést alkalmazzuk (kivéve, ahol az adott tanulmány kifejezetten gagátról vagy jetről szól). A *sensu stricto* gagát/jet anoxikus üledékbe behordódott uszadékfát jelent, ami az üledéken belül zárt rendszerben, bitumenes anyaggal átitatva alakult át homogén, jól polírozható, fekete anyaggá (Allason-Jones & Jones 2001, Bechtel et al. 2001). Ugyanakkor a hazai szakirodalom a nem azonosított eredetű, fekete, szerves anyagból készült tárgyakat is gagátnak nevezi. A félreértés elkerülésére az utóbbi esetben a „gagát” jelölést alkalmazzuk, így a balatonlellei „gagát” ékszer esetében is ezt követjük.

A gagát a Kárpát-medencében a római korban gyakori ékszer alapanyag. Nevét, *gagates*, amelyet minden hasonló tulajdonságú fekete vagy barnásfekete szerves anyagra használnak, a Kr.e. I. században élt id. Plinius az ókori Lukia, a mai Törökország területén található Gages folyó illetve város nevéből származtatta. Az antik szerzők mágikus vagy gyógyító erőt tulajdonítottak ennek az anyagnak. A gagát összefoglaló név több, hasonló tapintású és tulajdonságú fekete anyagra, amelyek szénszarmazékok. Megkülönböztetésük csak szerves-közöttani/geokémiai és vitrinitreflexiós vizsgálatokkal lehetséges. A római korban a legfontosabb bányák Nagy-Britanniában voltak, de Franciaországból, Németországból, Spanyolországból, Törökországból és Oroszországból is kerültek elő különböző szénfajtákból készült fekete ékszerek (R. Facsády 2009). Római kori, Szentendréről és Bátaszékről származó, gagátként azonosított ékszerek esetében vitrinitreflexiós mérések alapján Hámorné Vidó (2010) ausztriai vagy balkán-félszigeti eredetet valószínűsített.

A fekete féldrágaköböl készült leletek vizsgálatára a kilencvenes években – a roncsolásmentes anyagvizsgáló módszerek előretörésével –

Skóciában kutatási program jött létre, amelynek előzetes eredményeit 2002-ben az *Antiquity*-ben megjelent cikkben mutatták be röviden (Sheridan et al. 2002). A Skót Nemzeti Múzeum projektjében – Scottish Archaeological Research Framework (ScARF) – a vaskor előtti összes jet leletet összegyűjtötték (Downes 2012). A ScARF archeometriai vizsgálatok apropója egy látványos, fekete gyöngyökből készült többsoros nyaklánc és karkötő volt, amely East Kinwhirrie (Angus, Skócia) lelőhelyen került elő. A két tárgyon végzett számtalan anyagvizsgálat nyomán évek óta vita folyt arról, hol is készülhettek ezek a presztizs ékszerek és honnan származhat a fekete gyöngyök alapanyaga. A program keretében összegyűjtött vaskor előtti leleteket egy illusztrált kötetben kívánják közreadni a szerzők, anyagvizsgálatokkal, proveniencia meghatározással és a készítési folyamatot is feltáró elemzésekkel. A cikk megjelenéséig 170 skóciai leletet tartott számon a projekt, amely Skócián kívül kibővült Wales-i és néhány angliai lelettel is. A szerzők szerint a jet és a hasonló (jet-like) anyagok legkorábbi használata a Kr. e. 4. évezred második felére tehető. Ebből a korai időszakból négy, esetleg öt tárgy ismert. A legkorábbi a Cairnholyban talált fekete gyöngy volt, amely ugyancsak sírból került elő (Piggott & Powell 1949, Fig. 9. 2). A fekete anyagból készített ékszeremlékek (különböző típusú gyöngyszemek, gombok, stb.) száma jelentősen megnőtt a 3. évezred utolsó évszázadaiban, elsősorban a sírokban. A program keretében összehasonlító elemzéseket is végeztek, hogy megbízhatóan elkülönítsék a jetet és a hozzá hasonló egyéb anyagokat. A leletek elemösszetételét összevetették különböző helyeken előforduló forrásokkal. Módszerükkel elkülöníthető az angliai Whitbyben bányászott nyersanyag a többi lelőhelytől. Whitby a római korban válik igazán jelentőssé, innen szállítják a kontinensre a borostyánhoz hasonló tulajdonságokkal bíró gagátot.

Hasonlóan nagy gyűjtést és anyagvizsgálatokat végzett Portugáliában J.T. Thomas (Thomas 2014). Nagy-Britannián kívül az Ibériai-félszigeten (Caramé et al. 2011, Jorge 2014, Thomas 2014), Franciaországban, Németországban és Hollandiában (Brasser 2015), Olaszországban (Viola et al. 2019) és Ausztriában is előfordulnak a fekete anyagból készült kisméretű gyöngyök, csüngők a neolitikumtól a középkorig, jellemzően a későneolitikum–korai bronzkorban, valamint a római korban. Az őskori leletek döntő többsége temetkezésekből került elő, olykor nagy távolságra a nyersanyag forrásának helyétől. E távoli leletek időrendjének és kontextusának behatóbb elemzése egy következő tanulmány tárgya lesz, most a balatonlellei fekete gyöngyöt mutatjuk be.

Archeometriai elemzés: a fekete gyöngy anyagának meghatározása

A fekete gyöngy anyagának meghatározására és az esetleges származás kiderítésére az ásványtan-közvetlen és geokémia eszköztárából az optikai mikroszkópos megfigyelés mellett pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokat, Fourier transzformációs infravörös spektroszkópiás és stabilizotóp-geokémiai elemzéseket is alkalmaztunk. Mivel ez utóbbi vizsgálatok a hidrogénnek és a szénnek csak a stabilis, radioaktív bomlást nem mutató izotópjaival (^2H , ^1H , ^{13}C , ^{12}C) foglalkoznak, ezért a továbbiakban a stabil jelzőt elhagyva csak hidrogén-, illetve szénizotóp-összetételekként hivatkozunk az adatokra.

Az első kérdés a gyöngy anyagának meghatározása volt. A fényes, fekete felszín, a kőzet- vagy üveggyöngyökhöz viszonyított kis sűrűség, a könnyű karcolhatóság és meleg tapintási érzet mind gagát jellegű anyagra utal, így a továbbiakban „gagát”-nak nevezzük a kéziratban. Mint már említettük, a gagát/jet definíció szerint olyan megkövesedett fát jelent, aminek a darabjai üledékes anyagba hordódtak, majd szénhidrogénnel itatódtak át a közzetté válás során. Ennek az átítatódnak és az üledék betemetődése és diagenezise során bekövetkező termikus érésnek a következménye, hogy az eredeti faanyag fényes, fekete, kagylósan törő, de a fényreflexiók mérések során termikus átalakulással arányos reflexiónövekedést mutató anyaggá válik. A gagát/jet jó megmunkálhatósága és polírozhatósága miatt kedvelt az ékszerkészítésben, amint azt a római kortól számos lelet bizonyítja. Gagát vagy jet jellegű anyagot a történelmi korokban is bányásztak és használtak, a leghíresebbek az angliai (Whitby) lelőhelyen (Allason-Jones & Jones 2001) vagy a hasonlóan híres, spanyolországi (Asztúria) előfordulásokban (Gutierrez Blanco et al. 2008) található, de ismert ékszerkészítési alkalmazás dél-franciaországi, németországi (Holzmaden) (Allason-Jones & Jones 2001), illetve a középkortól ausztriai (Gosau terület) lelőhelyeken is (Bechtel et al. 2001), hogy a legfontosabbakat említsük Európa területén. Törökország keleti részén, az Erzurum-i Oltu lelőhelyen fejtettek gagátot, amelyről geokémiai adatok is rendelkezésre állnak (Kara-Gülbay et al. 2018). A publikált adatokat így össze tudjuk vetni a saját elemzési eredményeinkkel.

Módszerek

A mintavételezés változtatható fordulatszámú Proxxon fűrével történt, a fűrés során kinyert, <1 mm-es szemcséket vizsgáltuk pásztázó elektronmikroszkóppal, majd porítást követően elemeztük infravörös spektroszkóppal és stabilizotópmérő tömegspektrométerrel. A limitált

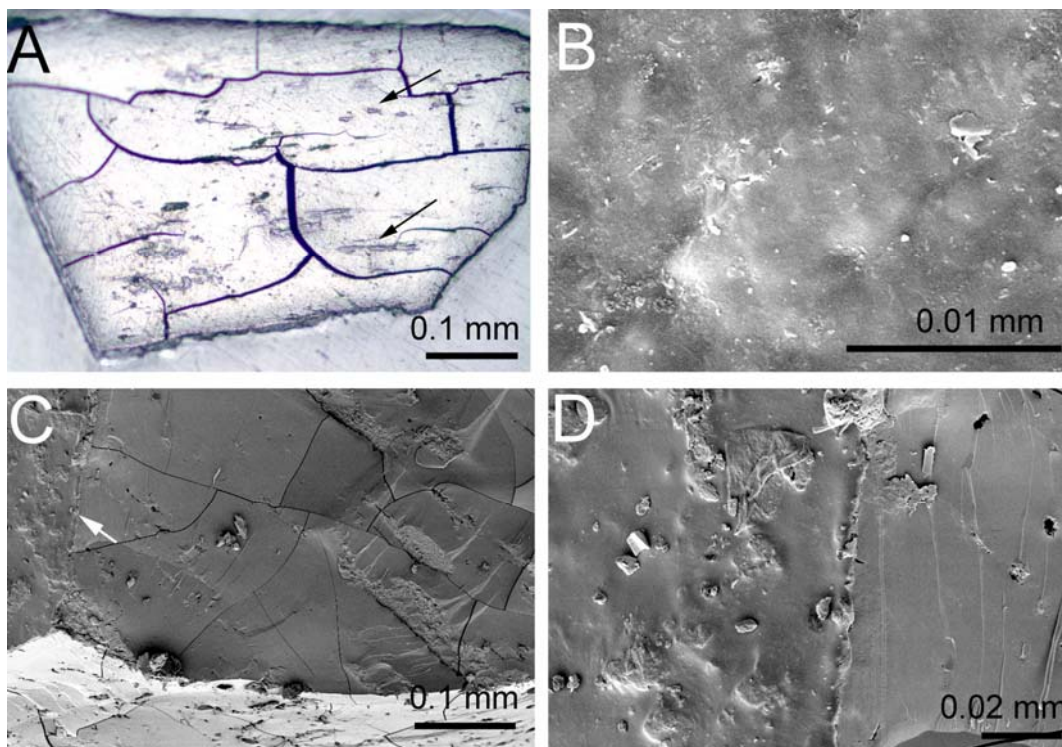
mintavételezésből következően hagyományos petrográfiai vizsgálatra nincs lehetőség. Az elemzéseket a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálaton kívül (ami a TTK Anyag- és Környezetkémiai Intézetben történt) a Földtani és Geokémiai Intézet műszerparkjával végeztük.

A morfológiai megfigyeléseket egy Zeiss EVO 40 pásztázó elektronmikroszkóppal 20 és 5 keV gyorsítófeszültség alkalmazásával, a Fourier transzformációs infravörös spektroszkópos méréseket Bruker Vertex 70 spektrométerrel, Bruker Platinum ATR egységgel végeztük. Minden mintából három darab átlagminta mérése történt, ezzel garantálva a mérés reprezentativitását. A mérés 400 cm^{-1} től 4000 cm^{-1} közötti tartományban valósult meg 4 cm^{-1} -es felbontással, DTGS detektorral. A leolvasás száma mérésenként a háttér és a minta esetén is 64 volt. A kiértékeléshez a Bruker OPUS programját alkalmaztuk. A „gagát” minta kémiai elemzését egy Jobin-Yvon Horiba XGT 5000 mikro röntgenfluoreszcens spektrométerrel végeztük (50 kV feszültség, $100\text{ }\mu\text{m}$ nyalábméret; 300 mp adatgyűjtés, 0,220 mA nyalábáram). A műszer ródium (Rh) röntgensugárforrással dolgozik, és a Na-nál nehezebb elemek kimutatására alkalmas.

A hidrogén- és szénizotóparányok meghatározása egy Thermo Finnigan Delta V Advantage típusú tömegspektrométerrel történt, a hidrogénizotóp-összetételek esetében egy High Temperature Conversion Elemental Analyser (TC/EA), a szénizotóp-összetételek esetében egy Flash 2000 elemanalizátor segítségével. A hidrogénizotóp-összetétel mérése előtt a mintákat 110°C -ra fűtöttük a TC/EA készülékhez kapcsolt fűthető mintaadagoló készülékben folyamatos vákuumra szívás mellett, ami az abszorptívan kötött vizet eltávolította. Ezzel ugyan nem a szerves anyagban levő nem-lecserélhető hidrogén összetételét határoztuk meg (lásd Mastalerz & Schimmelmann 2002-es, a nem-lecserélhető hidrogén izotópösszetételével foglalkozó munkáját), viszont a korábbi adatokkal (Redding et al. 1980) összehasonlítható eredményeket kaptunk. Az eredményeket a hagyományos $\delta^2\text{H}$ és $\delta^{13}\text{C}$ értékben fejezzük ki:

$$\delta = (R_{\text{minta}}/R_{\text{sztenderd}} - 1) \cdot 1000,$$

ahol az R érték a $^2\text{H}/^1\text{H}$ és a $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ arányokat jelenti. Az 1000-rel történő szorzás jelzésére a $\delta^2\text{H}$ és $\delta^{13}\text{C}$ értékek dimenziója ‰. A $\delta^2\text{H}$ és $\delta^{13}\text{C}$ értékek sztenderdizálása az NBS-22 és IAEA-CH-7 ($\delta^2\text{H}$), valamint az IAEA-CH-6 és IAEA-CH-7 ($\delta^{13}\text{C}$) nemzetközi sztenderdek felhasználásával, kétpontos kalibrációval történt. A $\delta^2\text{H}$ és a $\delta^{13}\text{C}$ elemzések reprodukálhatósága $\pm 1,5\text{ ‰}$ -nél, illetve $\pm 0,1\text{ ‰}$ -nél jobb.



2. ábra: **2a:** Száradási repedésekkel átjárt, mállott „gagát” szemcse polírozott, reflexiók optikai mikroszkópos képe. A felvétel száraz objektívvel, normál ráeső fényben készült. A nyilak irányított, hosszúkás pórusokat jeleznek. **2b:** A csiszolt külső felület pásztázó elektronmikroszkópos képe. **2c:** Törött felület (jobbra) és külső csiszolt felület (balra) találkozására. **2d:** a 2/c ábrán fehér nyíllal jelölt rész nagy felbontású képe.

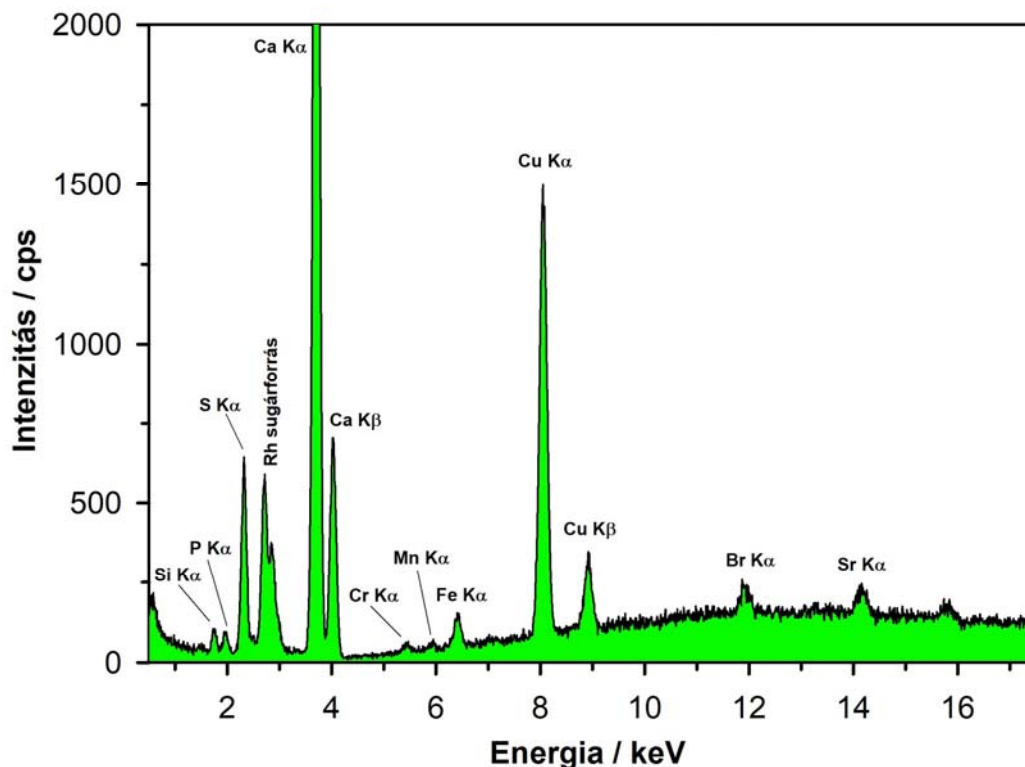
Fig. 2.: **2a:** Optical microscopic image of the „jet-like” sample. The sample is weathered, with ubiquitous drying cracks. The image was taken with dry objective, in reflected light. Arrows indicate elongated pores. **2b:** Scanning electron microscopic image of the outer, originally polished surface. **2c:** Scanning electron microscopic image of the outer surface (to the right) and broken surface (to the left). **2d:** Higher resolution image of the part marked by white arrow in Fig. 2/c.

Eredmények és értelmezés

A balatonlellel „gagát” erősen mállott, törékeny és ennek megfelelően töredezett képet mutat mind a külső felületen (**1. ábra**), mind a mintavétel során kinyert szemcse belső szerkezetében (**2a ábra**). A szemcse műgyantába történő beágyazását, elvágását és felpolírozását követően a belső szerkezetben irányított, hosszúkás pórusok válnak megfigyelhetővé (**2a ábra**), ami hasonló a szenekben megfigyelhető szövetekhez (Cardott & Curtis 2018). A pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételeken a külső, csiszolt felületen felhős, lencsés szerkezet látható (**2b ábra**), ami elmosódottan emlékeztet a lignitekben még megmaradt szerkezetre (lásd a 8. ábrát Hunter et al. 1993 munkájában). A törött felület SEM képe (**2c és 2d ábra**) szépen mutatja a kagylós törési

felületet, ami az érettebb szenekre, pl. antracitra jellemző.

A mintából röntgenfluoreszcens spektrométeres (XRF) mérés is készült, ami mutatja a detektált elemek előfordulását és relatív mennyiségét (**3. ábra**). A szilícium (Si) és a vas (Fe) mennyisége csekély, így a „gagátban” a szilikátos anyag mennyisége elhanyagolható és a pirit hozzájárulása is alárendelt. Ez arra utal, hogy az ékszerkészítésben használt szervesanyagdús pala (Allason-Jones & Jones 2001) kizárható (Pollard et al. 1981). Ugyanakkor a „gagát” jelentős mennyiségű ként (S) tartalmaz, ami a kis Fe csúcs miatt valószínűleg a szén szerves kéntartalmához kapcsolódik (Hámor-Vidó & Hámor 2007, Körmös et al. 2020). A jelentős réztartalom (Cu) a sírban elhelyezett rézészter mállásából származhat.



3. ábra: A balatonlelle „gagát” röntgenfluoreszcens spektruma

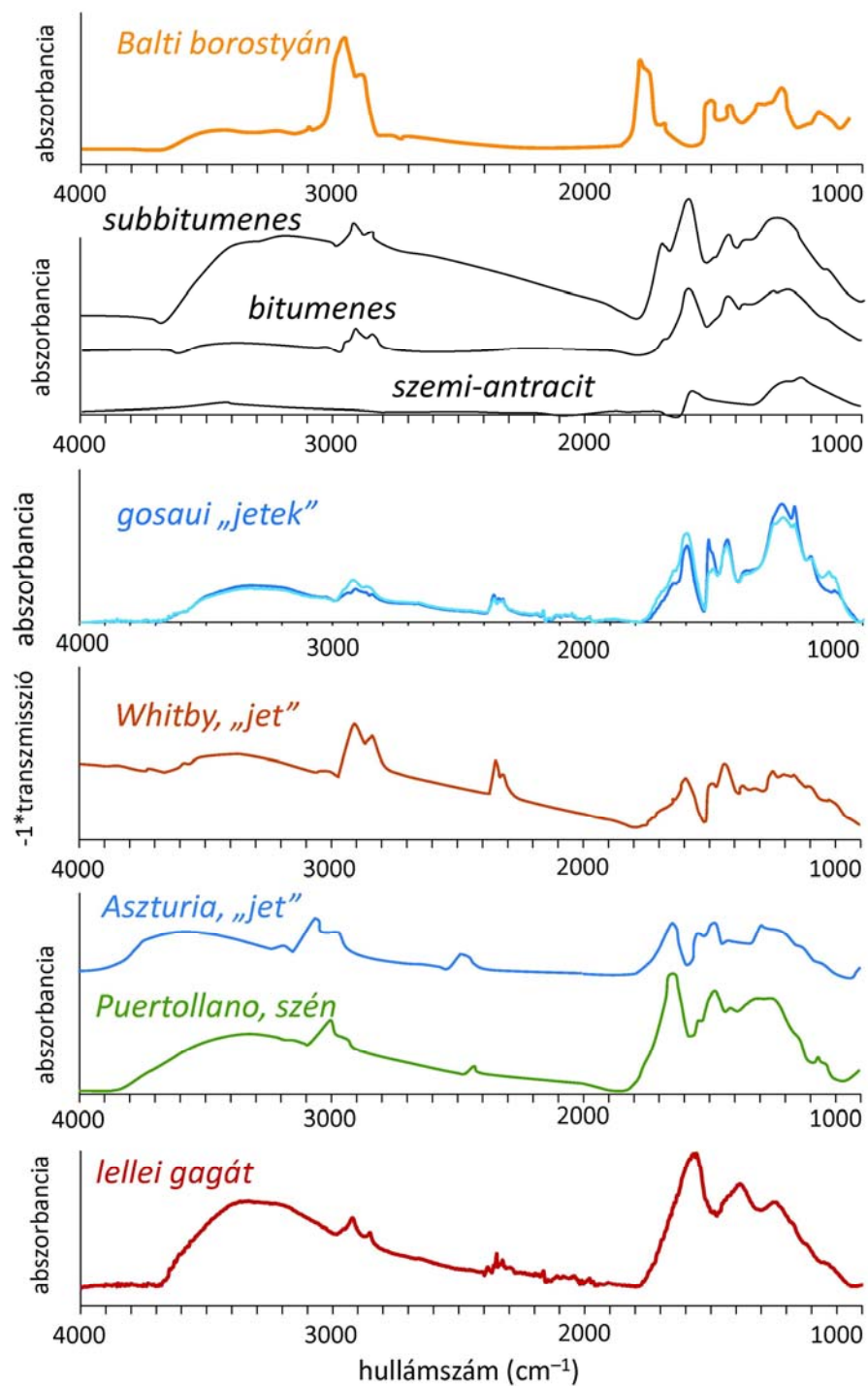
Fig. 3.: X-Ray fluorescence spectrum of the Balatonlelle „jet”



4. ábra: Fontosabb gagát/jet és kőszén lelőhelyek, ahol a jelen munkával összevethető vizsgálatok készültek

Fig. 4.: Locations of selected jet and coal occurrences where similar analyses had been conducted as in the present study

A további elemzéseket egyéb lelőhelyek adataival fogjuk összehasonlítani, az e munkában vizsgált minták lelőhelyeit, illetve a fontosabb szakirodalmi adatokat szolgáltató lelőhelyeket a **4. ábrán** foglaltuk össze. A jet/gagát jellegű anyagok vizsgálatában egyik leggyakrabban alkalmazott módszer a Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia (FTIR) (Watts & Pollard 1998). A balatonlelle „gagát” FTIR spektrumából (5. ábra) az anyagásványok 800 és 1200 cm^{-1} közé eső csúcsai (Madejová et al. 2017) egyértelműen hiányoznak, ami alátámasztja az XRF elemzésekből levont következtetést, miszerint a gyöngy nem palaanyagból vagy szervesanyag-dús üledékből készült. A **5. ábrán** összefoglaltuk azoknak a jet-jellegű anyagoknak és más szénközeteknek a tipikus FTIR spektrumait, amelyeknek az általunk vizsgált „gagáttal” történő összehasonlítása felmerülhet. Mivel fekete színű, csillogó, szerves anyagból készült ékszer lehet akár „fekete borostyán” is, ezért egy tipikus borostyán FTIR spektrumot is ábrázoltunk. Az **5. ábrán** bemutatott balti borostyán spektrum (Mänd et al. 2018) gyökeresen különbözik a szenektől, a jetektől és a balatonlelle „gagáttól” is, így a borostyán kiindulási anyagként elvethető.



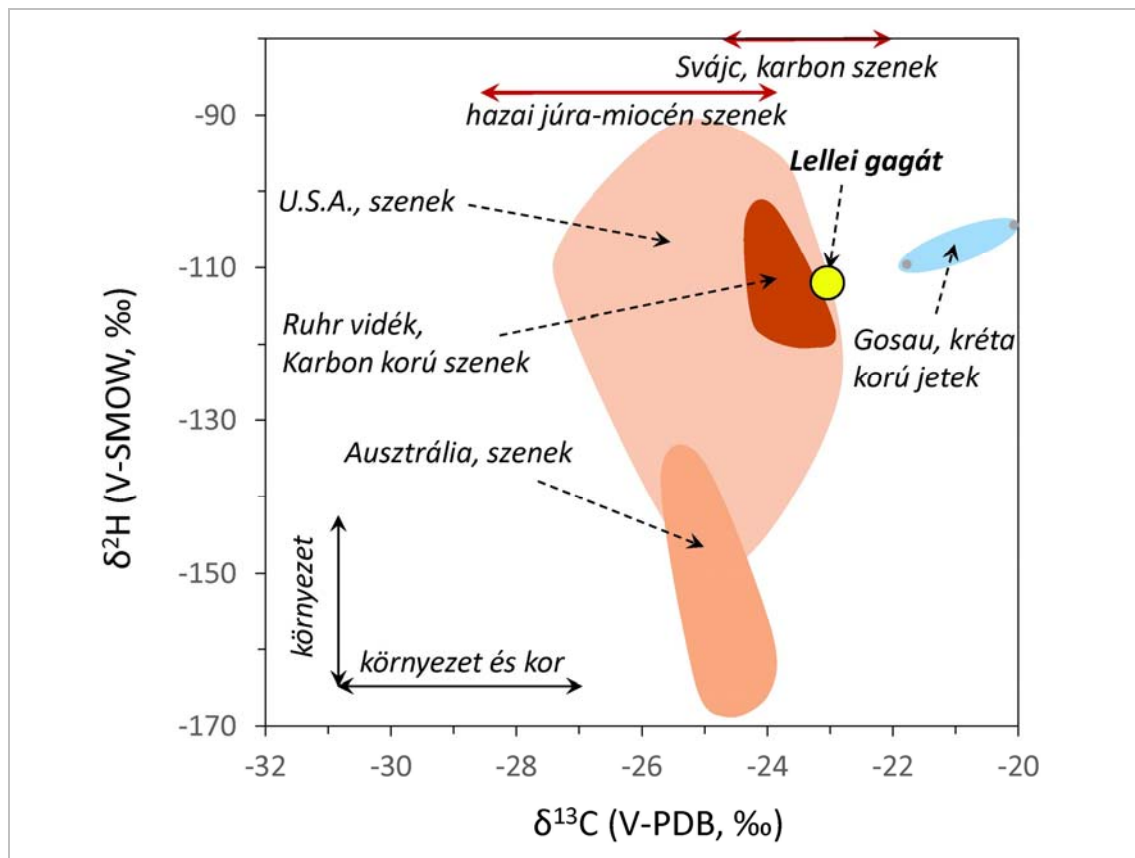
5. ábra: A balatonlellei „gagát” és összehasonlító anyagok Fourier transzformációs infravörös spektrumai. Borostyán: Mänd et al. (2018). Szub-bitumenes, bitumenes és antracit szenek: Ibarra et al. (1996). Whitby jet: Watts et al. (1997). Asztúriai jet és puertollano-i szén: Iglesias et al. (1995). A gosai jetek és a balatonlellei „gagát” spektrumai a jelen tanulmányban készültek.

Fig. 5.: Fourier Transform Infrared spectra of the Balatonlelle „jet” and comparison materials. Amber: Mänd et al. (2018). Sub-bituminous, bituminous and anthracite coals: Ibarra et al. (1996). Whitby jet: Watts et al. (1997). Asturian jet and Puertollano coal: Iglesias et al. (1995). The spectra of the Gosau jets and the Balatonlelle „jet” were obtained in this study.

A két legjelentősebb jura korú jet lelőhely, Whitby és Asztúria anyagainak spektrumai (Watts et al. 1997) az 1000 és 1800 cm^{-1} közötti tartományban egymáshoz nagyon hasonlóak, de a balatonlellel „gagáttól” eltérnek, amit az aromás és alifás gyökökben a C-C és C-O kötések, valamint a COOH gyökök abszorpciós csúcsai határoznak meg. Ezzel szemben a spanyolországi Puertollano (Igleasias et al. 1995) és a németországi Ruhr-vidék (Zieger et al. 2018) karbon korú szeneinek FTIR spektrumai (lásd a **5. ábrán** a Puertollano szén spektrumát) hasonló csúcsokat és csúcsarányokat mutatnak a balatonlellel „gagáthoz”. Az antracitot (a legerősebb diagenetikus hatáson, a legnagyobb hőmérsékletű és nyomású átalakuláson keresztülment szenek) különös jelentőséggel bírhatnak a balatonlellel „gagát” eredetének meghatározásában, mivel a jetek vizsgálatának szakértője, Sarah Steele a fényképek alapján az antracit eredetet valószínűsítette (Sarah Steele, 2021, *szíves szóbeli közlése*). Ibarra et al. (1996) tanulmánya a különböző érettségű spanyolországi szeneket vizsgálta FTIR elemzések segítségével. A közölt spektrumok közül a balatonlellel „gagát” a szubbitumenes szenek spektrumával nagyon hasonló jellegzetességeket mutat, az antracit alapvetően eltér. Chen et al. (2012) szintén a kőszén érettségének és FTIR jellemzőinek összefüggését vizsgálta lengyel, olasz, kanadai és az Amerikai Egyesült Államokból származó minták segítségével. Az általuk közölt spektrumok közül a balatonlellel „gagát” meglepően jó egyezést mutat egy kanadai kréta korú, és viszonylag erős érettségi fokú szénnel. A szén érettségi fokát a vitrinitreflexiók érték alapján lehet megállapítani, ami a jetek esetében 0,2% körül van (Allason-Jones & Jones 2001), míg a szenek kb. 0,2-től az antracit 5%-os értékéig terjednek. A szóban forgó kanadai szén értéke 0,43% (Chen et al. 2012). Az FTIR spektrumokban mutatkozó egyezés nyilvánvalóan nem a származásra utal, hanem arra, hogy az FTIR spektrumok alapján ennek megfelelő termikus érettségű szerves anyag lehetett a balatonlellel „gagát” forrásanyaga. A spektrumok alapján a *sensu stricto* jet és az antracit, mint forrásanyag elvethető. Ugyan a holzmadeni (Németország) jura korú posidoniás pala szintén szóba jöhetne, mint forrásanyag (Teichmüller 1992, Allason-Jones & Jones 2001), a teljes kőzet, valamint a kerogén koncentrátumok FTIR spektrumai (Stock et al. 2017) mind az 1000–1800 cm^{-1} , mind a 2800–3000 cm^{-1} tartományokban olyan mértékben térnek el a balatonlellel „gagát” spektrumától, ami a posidonia pala teljesen különböző termikus érettségi fokát jelzi, így a publikált minta forrásközetként nem valószínűsíthető, de a formáció egyéb, alacsonyabb termikus érettségű és felszín közelben található előfordulásaival esetleg összevethető. Az összehasonlító vizsgálatok esetében kézenfekvő a vizsgált temetőhöz közeli

helyszínek, kereskedelmi útvonalak menti előfordulások elemzése. Ugyan az ausztriai Gosau területén levő, késő kréta korú jet előfordulások kitermelésére csak a 15. századtól van adat (Bechtel et al. 2001), a hasonló előfordulást a rézkor embere is ismerhette és felhasználhatta. A földrajzi közelségre való tekintettel három, gosau lelőhelyről származó jet mintát vizsgáltunk meg, amelyeket Prof. Dr. Reinhard Sachsenhofer bocsátott a rendelkezésünkre. A Bad Ischlből származó minta jelentős mennyiségű kalcitot (CaCO_3) tartalmazott, ami a balatonlellel „gagátban” nem volt jelen, ezért ezt, mint összehasonlító anyagot nem vettük figyelembe. Az egymástól kb. 11 km-re levő Gams bei Hieflau és Unterlaussa területről (**4. ábra**) származó jet minták FTIR spektrumait az **5. ábrán** mutatjuk be. A spektrumok nagyon hasonlóak a jet típuselőfordulások (Whitby és Asztúria) spektrumaihoz, de alapvetően különböznek a balatonlellel „gagáttól”.

A szénizotóp-összetételek mérése további adalékot nyújthat a forrásanyag valószínűsítéséhez. A balatonlellel „gagát” $\delta^{13}\text{C}$ értéke $-23,0\text{‰}$ (**6. ábra**), aminek az értékeléséhez a szenekre jellemző összetételeket kell áttekintenünk. Mint azt a közép-európai és magyarországi kőszének is jól példázják, a mezozoikumot követően a szárazföldi növények, és így a szénanyag $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ aránya egyre inkább eltolódott a negatívabb $\delta^{13}\text{C}$ értékek felé (Bechtel et al. 2008, Hámor-Vidó & Hámor 2007). A paleocénben (kb. 55 millió évvel ezelőtt) még -23‰ körül volt, majd egyre inkább eltolódott a pliocénben (kb. 5 millió évvel ezelőtt) jellemző -26‰ felé. A magyarországi kőszének $\delta^{13}\text{C}$ értékei -24‰ -nél negatívabbak (Hámor-Vidó és Hámor 2007). Európai borostyánok $\delta^{13}\text{C}$ elemzésével Mánd et al. (2018) a paleocén és eocén során -22 és -25‰ közé eső értékeket mutattak ki, bár megjegyzendő, hogy ezen a tartományon belül a paleocén és eocén korszakok közötti határhoz egy jól meghatározott, több ezrelékes negatív $\delta^{13}\text{C}$ eltolódás tartozik, ami úgy tűnik, hogy a borostyánokban is megjelenik, és ami a $\delta^{13}\text{C}$ tartományt a negatív összetételek felé tágítja ki. Tappert et al. (2013) és Dal Corso et al. (2017) a jelentől a triász korig visszamenően gyűjtött borostyánok és növényi maradványok $\delta^{13}\text{C}$ értékeit határozták meg, és kimutatták, hogy a borostyánok összetétele a kréta korban kb. -20 és -24‰ közé esett. Mindezek alapján a -23‰ -et adó balatonlellel „gagát” forrásanyaga eocén vagy annál idősebb, szubbitumenes érettségű kőszén lehetett. A Kárpát-medence jurától miocén időszakig terjedő kőszeneinek $\delta^{13}\text{C}$ értékei -24‰ -nél negatívabbak (Hámor-Vidó és Hámor 2007), míg a Redding et al. (1980) által vizsgáltakhoz képest földrajzi értelemben sokkal közelebb eső svájci karbon korú szenek (Williams et al. 2008) adatai átfednek a



6. ábra: A balatonlelle "gagát" és kőszén előfordulások szén- és hidrogénizotóp-összetételei. U.S.A., Ruhr vidék, Ausztrália: Redding et al. (1980). Hazai júra-miocén korú szenek $\delta^{13}\text{C}$ -tartománya: Hámor-Vidó és Hámor (2007). Svájci karbon korú szenek $\delta^{13}\text{C}$ -tartománya: Williams et al. (2008). Gosau terület, kréta korú jetek: jelen tanulmány.

Fig. 6.: Stable hydrogen and carbon isotope compositions of the Balatonlelle "jet" and coal occurrences. U.S.A., Ruhr area, Australia: Redding et al. (1980). $\delta^{13}\text{C}$ range of Hungarian Jurassic to Miocene coals: Hámor-Vidó and Hámor (2007). $\delta^{13}\text{C}$ range of Carboniferous coals in Switzerland: Williams et al. (2008). Gosau area, Cretaceous jets: this study.

balatonlelle "gagát" értékével. A gosai jet minták $\delta^{13}\text{C}$ értékei ($-20,1$ and $-21,8$ ‰) ettől jelentősen eltérnek, pozitív irányú eltolódást mutatva. Mivel a kőszén kiindulási anyagát jelentő szárazföldi növényzet a globális szénháteret jelentő légköri szén-dioxidból nyeri a széntartalmát, ezért a lokális hatásokon felül alapvetően meghatározó a globális légköri összetétel. Ennek következtében jelenik meg a $\delta^{13}\text{C}$ értékek korfüggése, mint fentebb láttuk. Ennek alapján a balatonlelle "gagát" anyagát leginkább a karbon korú szenekkel lehet párhuzamosítani. A nagyon kevés összehasonlító adat következményeként a vizsgált "gagát" hidrogénizotóp-összetétele (-112 ‰) egyelőre csak néhány kőszén előfordulással vethető össze. A hidrogénizotóp-összetétel (a $^2\text{H}/^1\text{H}$ arány, $\delta^2\text{H}$ értékben kifejezve) elsősorban a szén anyagát adó növényzet környezetével függ össze, mivel a helyi klímavizonyoktól függően változik a csapadékvíz összetétele. Így jelentős a különbség az azonos korú

növényzet esetében a trópusoktól a sarkok felé és a tengerparttól a kontinensek belseje felé haladva, valamint a kontinensen belül a tengerszint feletti magassággal változóan. Ezen felül a kőszén anyagát számos szerves komponens adja, amelyek között erőteljes a stabilizotópos frakcionáció. Éppen ezért a $\delta^2\text{H}$ értéket a pontos értelmezés helyett az FTIR spektrumokhoz hasonlóan összehasonlító adatként kezeljük. A kőszén esetében Redding et al. (1980) tanulmánya nyújt teljes körűre vonatkozó $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^2\text{H}$ adatokat a balatonlelle "gagát" forrásanyagához legalább kis mértékben hasonlító előfordulásról (a nagyszámú kínai kőszénelfordulás eredményeivel a nagy földrajzi távolság és ebből eredő különbségek miatt itt nem foglalkozunk). Redding et al. (1980) munkájában a Ruhr vidéki karbon korú kőszéneket vizsgálta az U.S.A. és Ausztrália különböző szénelőfordulásaival együtt (megjegyzendő, hogy az utóbbiak a jelen tanulmány szempontjából nem

relevánsak). A $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^2\text{H}$ értékek nagy szórása a változatos képződési körülményeket tükrözik, de kiemelendő, hogy a balatonlellei "gagát" adata igen közel esik a Ruhr vidéki szenekéhez. Természetesen ez csak egy összehasonlító eredmény, a későbbiekben további, szóba jöhető előfordulások anyagát kell megvizsgálnunk. Ezek közül megtörtént a gosai jetek elemzése, amelyek a karbon korú szenekhez és a balatonlellei "gagáthoz" hasonló $\delta^2\text{H}$ adatokat (-104 és -110 ‰) adtak. Mindazonáltal a szénizotóp-összetételek és az FTIR spektrumok eltérése kizárja a vizsgált gosai előfordulásoknak megfelelő anyagokból történő származtatást.

Összefoglalás

Összefoglalásképpen megállapítható, hogy a komplex optikai, pásztázó elektronmikroszkópos, röntgenfluoreszcens és infravörös spektroszkópos, valamint stabilizotóp-geokémiai elemzések alapján a balatonlellei "gagát" gyöngy anyaga eocénnél idősebb, valószínűleg karbon korú, szubbitumenes, alacsony érettségi fokú kőszénképződési környezetből származik, a klasszikus gagát/jet eredet (üledéke hordódott faanyag, ami bitumennel átitatódott a közetté válás és a diagenezis során), vagy az antracit származás elvethető. A karbon korú szenek közül a szakirodalmi adatokkal (Iglesias et al. 1995) való összevetés alapján a spanyolországi és franciaországi jellegű szénelőfordulások valószínűsíthetőek a balatonlellei "gagát" forrásanyagaként. Munkánk legfontosabb eredményeként megállapíthatjuk, hogy a IV. évezred közepére keltezhető fekete gyöngy jelenleg a legkorábbi "gagát" lelet Európa középső részéről.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük Mihácsi-Pálfi Anettnek a BTK Régészeti Intézetben készített sztereomikroszkópos felvételeket és a gagátra vonatkozó információit (2018).

A különböző természettudományos vizsgálatok elvégzésére a *Kárpát-medence késő rézkori temetkezéseinek komplex elemzése* c. NKFI K-128413. sz. projekt (2018–2022) keretében nyílt lehetőség.

A gosai jet mintákat Prof. Dr. Reinhard F. Sachsenhofer (Montanuniversität Leoben, Ausztria) bocsátotta a rendelkezésünkre.

Irodalomjegyzék

- ALLASON-JONES, L. & JONES, J.M. (2001): Identification of 'jet' artefacts by reflected light microscopy. *European Journal of Archaeology* **4** 233–251.
- BECHTEL, A.; GRATZER, R. & SACHSENHOFER, R.F. (2001): Chemical characteristics of

Upper Cretaceous (Turonian) jet of the Gosau Group of Gams/Hieflau (Styria, Austria). *International Journal of Coal Geology* **46** 27–49.

BECHTEL, A.; GRATZER, R.; SACHSENHOFER, R.F.; GUSTERHUBER, J.; LÜCKE, A. & PÜTTMANN, W. (2008): Biomarker and carbon isotope variation in coal and fossil wood of Central Europe through the Cenozoic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **262** 166–175.

BONDÁR M. (2019): A késő rézkori féművesség magyarországi emlékei – Relics of Late Copper Age Metallurgy in Hungary. *Archaeolingua, Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Budapest*.

BONDÁR M. (2020): Késő rézkori különleges temetkezések Balatonlelléről (Somogy m.) – Unusual burials of the Late Copper Age at Balatonlelle (County Somogy, Hungary). *A Kaposvári Rippl-Rónai Múzeum Közleményei* **7**, 89–105.

BONDÁR, M. & SZÉCSÉNYI-NAGY, A. (2020): Skull cult in the Late Copper Age. *Ziridava* **34** 91–104.

BRASSER, J. P. (2015): Jet artifacts from two Neolithic sites on the Dutch coast: An experimental approach. *Master of Science, Material Culture Studies Leiden University, Faculty of Archaeology*. Thesis. Leiden. pp.106.

CARAMÉ, M. E. C.; SANJUÁN, L. G.; MURILLO-BARROSO, M.; GIRÁLDEZ, R. P. & WHEATLEY, D. W. (2011): Artefactos elaborados en rocas raras en los contextos funerarios del IV-II milenios cal ANE en el sur de España: Una revisión. In: *Explorando el Tiempo y la Materia en los Monumentos Prehistóricos: Cronología Absoluta y Rocas Raras en los Megalitos Europeos Proceedings of the 2nd European Megalithic Studies Group Meeting (Seville, Spain, November 2008)*. *Menga. Journal of Andalusian Prehistory (Monograph 1)*, 253–293.

CARDOTT, B.J. & CURTIS, M.E. (2018): Identification and nanoporosity of macerals in coal by scanning electron microscopy. *International Journal of Coal Geology* **190** 205–217.

CHEN, Y.; MASTALERZ, M. & SCHIMMELMANN, A. (2012): Characterization of chemical functional groups in macerals across different coal ranks via micro-FTIR spectroscopy. *International Journal of Coal Geology* **104** 22–33.

Dal CORSO, J.; SCHMIDT, A.R.; SEYFULLAH, L.J.; PRETO, N.; RAGAZZI, E.; JENKYN, H.C.; DELCLÓS, X.; NÉRAUDEAU, D. & ROGLI, G. (2017): Evaluating the use of amber in palaeoatmospheric reconstructions: The carbon-isotope variability of modern and Cretaceous conifer resins. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **199** 351–369.

- DOWNES J. ed. (2012): Chalcolithic and Bronze Age Scotland: Panel Report. ScARF Summary Bronze Age Panel Document. September 2012. <https://scarf.scot/wp-content/uploads/sites/15/2015/12/ScARF%20Bronze%20Age%20Sept%202012.pdf>
- GUTIERREZ BLANCO, C.; GONZALEZ AZPIROZ, M.D. & FERNANDEZ VALDES, A. (2008): Relationship between the working quality of asturian jets (Spain) and their structure using parameters defined by ¹H-NMR. *Archaeometry* **50** 877–886.
- GRESITS I. (2019): Késő rézkori tárgyak ED-XRF elemzése. In: BONDÁR M. (ed.) A késő rézkori fémművesség magyarországi emlékei – Relics of Late Copper Age Metallurgy in Hungary. *Archaeolingua, Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Budapest*, 193–208.
- HÁMORNÉ VIDÓ, M. (2010) Római kori gagát ékszerek vitrinitreflexió mérése a nyersanyagok származási helyének azonosítása céljából. In: KREITER, A.; PETŐ, Á.; TUGYA, B.; LÁSZLÓ, O. & CSIPPÁN, P. (szerk.) *Környezet-Ember-Kultúra Konferencia, "Az alkalmazott természettudományok és a régészet párbeszéde"* Absztrakt kötet, Budapest, Magyarország: Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Örökségvédelmi Központ, p. 53
- HÁMOR-VIDÓ, M. & HÁMOR, T. (2007): Sulphur and carbon isotopic composition of power supply coals in the Pannonian Basin, Hungary. *International Journal of Coal Geology* **71** 425–447.
- HUNTER, F.J.; MCDONELL, J.G., POLLARD, A.M.; MORRIS, C.R.; & ROWLANDS, C.C. (1993): The scientific identification of archaeological jet-like artefacts. *Archaeometry* **35** 69–89.
- IBARRA, J.B.; MUÑOZ, E. & MOLINER, R. (1996): FTIR study of the evolution of coal structure during the coalification process. *Organic Geochemistry* **24** 725–735.
- IGLESIAS, M.J.; JIMÉNEZ, A.; LAGGOUN-DÉFARGE, F. & SUÁREZ-RUIZ, I. (1995): FTIR Study of Pure Vitreous and Associated Coals. *Energy & Fuels* **9** 458–466.
- JORGE, A. (2014): Reconnecting the Late Neolithic Social Landscape: A Micro-Regional Study of Objects, Settlements and Tombs from Iberia. *European Journal of Archaeology* **17/3** 434–467.
- KARA-GULBAY, R.; KORKMAZ, S.; YAYLALI-ABANUZ, G. & ERDOĞAN, M.S. (2018): Organic Geochemistry and Depositional Environment of the Oltu Gemstone (Coal) in the Erzurum Area, NE Anatolia, Turkey. *Energy & Fuels* **32** 1451–1463.
- KÖHLER K. (2020): Balatonlelle-Rádpusztá 67/5. lelőhely embertani leleteinek vizsgálati eredményei. Appendix. *A Kaposvári Rippl-Rónai Múzeum Közleményei* **7** 106–108.
- KÖRMÖS, S.; BECHTEL, A.; SACHSENHOFER, R.F.; RADOVICS, B.G.; MILOTA, K. & SCHUBERT, F. (2020): Petrographic and organic geochemical study of the Eocene Kosd Formation (northern Pannonian Basin): Implications for paleoenvironment and hydrocarbon source potential. *International Journal of Coal Geology* **228** 103555.
- MADEJOVÁ, J.; GATES, W.P. & PETIT, S. (2017): IR Spectra of Clay Minerals. *Developments in Clay Science* **8** 107–149.
- MÄND, K.; MUEHLENBACHS, K., MCKELLAR, R.C.; WOLFE, A.P. & KONHAUSER, K.O. (2018): Distinct origins for Rovno and Baltic ambers: Evidence from carbon and hydrogen stable isotopes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **505** 265–273.
- MASTALERZ, M. & SCHIMMELMANN, A. (2002): Isotopically exchangeable organic hydrogen in coal relates to thermal maturity and maceral composition. *Organic Geochemistry* **33** 921–931.
- MIHÁCZI-PÁLFI A. (2019): A balatonlellei késő rézkori karperec mikroszkópos vizsgálata In: BONDÁR M. (ed.) A késő rézkori fémművesség magyarországi emlékei – Relics of Late Copper Age Metallurgy in Hungary. *Archaeolingua, Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Budapest*, 183–188.
- PIGGOTT, S. & POWELL, T. (1949): The excavation of three Neolithic chambered tombs in Galloway, 1949. *Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland* **83** 103–161.
- POLLARD, A.M.; BUSSELL, G.D. & BAIRD, D.C. (1981): The analytical investigation of early Bronze age jet and jet-like material from the Devizes Museum. *Archaeometry* **23** 139–167.
- R. FACSÁDY, A. (2003): Római ékszerek. *Ókor* **II/4** 31–37.
- R. FACSÁDY, A. (2009): Aquincumi ékszerek. Jewellery in Aquincum. Budapest. Budapesti Történelmi Múzeum (*Az Aquincumi Múzeum gyűjteménye* **1**) pp 132.
- REDDING, C.E.; SCHOELL, M.; MONIN, J.C. & DURAND, B. (1980): Hydrogen and carbon isotopic composition of coals and kerogens. *Physics and Chemistry of the Earth* **12** 711–723.
- SHERIDAN, A.; DAVIS, M.; CLARK, I. & REDVERS-JONES, H (2002): Investigating jet and jet-like artefacts from prehistoric Scotland: the National Museums of Scotland project. *Antiquity* **7**, 812–825.

STOCK, A.T.; LITTKÉ, R.; SCHWARZBAUER, J.; HORSFIELD, B. & HARTKOPF-FRÖDER, C. (2017): Organic geochemistry and petrology of Posidonia Shale (Lower Toarcian, Western Europe) – The evolution from immature oil-prone to overmature dry gas-producing kerogen. *International Journal of Coal Geology* **176–177** 36–48.

TAPPERT, R.; MCKELLAR, R.C.; WOLFE, A.P.; TAPPERT, M.C.; ORTEGA-BLANCO, J. & MUEHLENBACHS, K. (2013): Stable carbon isotopes of C₃ plant resins and ambers record changes in atmospheric oxygen since the Triassic. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **121** 240–262.

TEICHMÜLLER, M. (1992): Organic petrology in the service of archaeology. *International Journal of Coal Geology* **20** 1–21.

THOMAS, J. T. (2014): *Emerging economies: Late Neolithic and Copper Age beads and pendants of the Portuguese Estremadura*. PhD (Doctor of Philosophy) Thesis, University of Iowa, 2014, pp. 291.

VIOLA, S.; GAJ, G.; DEL CARO, D. & BESSE, M. (2019): Techno-functional Study of the "lignite" Ornament Elements of the Boira Fusca Cave (Cuornè, loc. Salto-Torino) Research project: The manufacturing techniques of the microbeads of the Copper and Early Bronze Age in alpine region and northern Italy. In: 11th Experimental Archaeology Conferences EXARC-EAC11 Trento, May 2-4, 2019. <https://exarc.net/eac/archive/2019>, 7. poster, <https://www.printfriendly.com/p/g/YJFGaW>.

WATTS, S.; POLLARD, A.M. & WOLFF, G.A. (1997): Kimmeridge jet – a potential new source for British jet. *Archaeometry* **39** 125–143.

WATTS, S. & POLLARD, A.M. (1998): Identifying archaeological jet and jet-like artifacts using FTIR. *Infrared and Raman Users Group, Postprints*, Department of Archaeological Sciences, University of Bradford, 37–52.

WILLIAMS, D.J.A.; HOFMANN, B.A. & GLASSPOOL, I.G. (2008): Coalification in Carboniferous sediments from the Lötschberg base tunnel. *Swiss Journal of Geosciences* **101** 651–658.

ZIEGER, L.; LITTKÉ, R. & SCHWARZBAUER, J. (2018): Chemical and structural changes in vitrinites and megaspores from Carboniferous coals during maturation. *International Journal of Coal Geology* **185** 91–102.

