



Temetetlen Mohács

Unburied Mohács



Az 1526. és az 1687. évi csata
új kutatási eredményei

New Research Results
on the Battles of 1526 and 1687



Temetetlen Mohács
Az 1526. és az 1687. évi csata új kutatási eredményei

Unburied Mohács
New Research Results on the Battles of 1526 and 1687

TEMETETLEN MOHÁCS

Az 1526. és az 1687. évi csata
új kutatási eredményei

Unburied Mohács

New Research Results on the Battles
of 1526 and 1687

Szerkesztő
Varga Szabolcs

Szerkesztő munkatársa
Bencze Krisztina



Nemzeti Örökség
Intézete



JANUS
PANNONIUS
MÚZEUM



BUDAPEST
2024

A kötet a



támogatásával valósult meg.

A kötet a Janus Pannonius Múzeum 1159/2023. (IV. 27.) kormányhatározat által támogatott Mohács500 csatatérkutatói projektjének keretében készült.

Olvasószerkesztő

Bertók Krisztina

Borítóterv

auri

Borítóképek

Kopjafák a Mohácsi Nemzeti Emlékhelyen (fotó: Szabó Máté)

II. Ulászló aranyforintja (Janus Pannonius Múzeum)

A III. számú tömegsír az 1976-os feltárás idején (részlet) (Janus Pannonius Múzeum)

Hátlapi képek

A mohácsi csata egy bambergi röplapon. Die Staatsbibliothek Bamberg, VI Ba 129

A III. számú tömegsír az 1976-os feltárás idején (részlet) (Janus Pannonius Múzeum)

Előszó

A mohácsi csatatér környezetében 2016–2024 között a Janus Pannonius Múzeum és önkéntes fémkeresős munkatársai által összegyűjtött leletek szóródási képe

A térképet készítette

Szabó Tibor

© A szerzők

© Martin Opitz Kiadó

© Janus Pannonius Múzeum

ISBN 978-615-6388-87-2

Minden jog fenntartva. Jelen könyvet, illetve annak részeit tilos reprodukálni, adatrögzítő rendszerben tárolni, bármilyen formában vagy eszközzel – elektronikus úton vagy más módon – közölni a kiadó engedélye nélkül.

A Martin Opitz Kiadó az 1795-ben alapított Magyar Könyvkiadók és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja.

TARTALOM

Előszó.....	7
Foreword	7
Varga Szabolcs: MOHÁCS498. A 2024. augusztus 29-én a Mohácsi Nemzeti Emlékhelyen elhangzott ünnepi beszéd	11
Szabó Árpád – Mai Tímea – Vig Viktor – Gellai Fanni – Vágvolgyi Lili – Kocsmár Réka – Marcos De Andrés – Bereczki Zsolt – Pálfi György: Harc közben, meneküléskor vagy kivégzés miatt? Igazságügyi orvostani magyarázatok a mohácsi III. tömegsír csontvázain megfigyelhető sérülésnyomok keletkezése kapcsán	15
Árpád Szabó – Tímea Mai – Viktor Vig – Fanni Gellai – Lili Vágvolgyi – Réka Kocsmár – Marcos De Andrés – Zsolt Bereczki – György Pálfi: In Battle, on the Run or Executed? Forensic Explanations for the Observable Injuries of the Skeletons in Mass Grave III at Mohács ..	42
Neményi Réka – Györffy-Villám Zsombor – Talabér Ildikó – Simon Béla – Simon Zsófia – Szabó Árpád – Mai Tímea – Kocsmár Réka – Vágvolgyi Lili – Vig Viktor – Marcos De Andrés – Tihanyi Balázs – Bereczki Zsolt – Molnár Erika – Pálfi György: A IV. tömegsír feltárásának előzetes régészeti és antropológiai eredményei	45
Réka Neményi – Zsombor Györffy-Villám – Ildikó Talabér – Béla Simon – Zsófia Simon – Árpád Szabó – Tímea Mai – Réka Kocsmár – Lili Vágvolgyi – Viktor Vig – Marcos de Andrés – Balázs Tihanyi – Zsolt Bereczki – Erika Molnár – György Pálfi: Preliminary Archaeological and Anthropological Results of the Mohács Mass Grave No. 4 Excavation.....	61
Rácz György: A Jagellók heraldikai reprezentációja	63
György Rácz: The Heraldic Representation of the Jagiellons	90
Veszprémy Márton: II. Lajos király horoszkópjai	91
Márton Veszprémy: The Horoscopes of King Louis II of Hungary.....	104
Kenyeres István A Magyar Királyság fiskális politikája és katonai kiadásai a mohácsi csata előtt.....	105
István Kenyeres: Fiscal Policy and Military Expenditure of the Kingdom of Hungary before the Battle of Mohács	120
Mikó Gábor: Új források az 1519. évi magyar–oszmán fegyverszüneti egyezmény történetéhez (Bélai Barnabás követjárása a Portán).....	121
Gábor Mikó: New Sources on the History of the Hungarian–Ottoman Truce of 1519 (Barnabas Belai at the Ottoman Porte).....	153
Kruppa Tamás: Buda és Sztambul Róma szemével. Antonio Burgio és Lorenzo Campeggio jelentései a magyar–oszmán béketárgyalásokról (1524–1526)	155
Tamás Kruppa: Buda and Istanbul through the Eyes of Rome: Antonio Burgio and Lorenzo Campeggio's Reports on the Hungarian–Ottoman Peace Negotiations (1524–1526)	163
Tóth Dominik: Mire jó a szekérvár? Egy huszita eljárás továbbélése a mohácsi csata időszakában.....	165
Dominik Tóth: What is a Wagon Fortress for? The Survival of a Hussite Practice at the Age of the Battle of Mohács.....	178

Tuček Viktor: Esetlen vagy esélytelen mozgósítás? Miként valósult meg a Cseh Korona országainak mozgósítása az Oszmán Birodalommal szemben 1526-ban	179
Viktor Tuček: Clumsy or Nonchalant Mobilisation? How the Czech Crown Mobilised against the Ottoman Empire in 1526	192
Nemes Gábor: A győri székeskáptalan bandériuma a késő középkorban	193
Gábor Nemes: The Banderium of the Cathedral Chapter of Győr in the Late Middle Ages	203
C. Tóth Norbert: Bátori István nádor útja a mohácsi síkra. Kísérlet az egyik parancsnok csata előtti tevékenységének feltárására	205
Norbert C. Tóth: Palatine István Bátori's Journey to the Area of Mohács. Pre-Battle Activities of One of the Commanders	211
Faragó Dávid: Brodarics István szemtanúja: Herceg Miklós	213
Dávid Faragó: Eyewitness of István Brodarics: Miklós Herczeg	229
Sudár Balázs: Mohács háttéréhez: a nogajok, Mamaj és a kángyilkosság	231
Balázs Sudár: The Background to the Battle: the Nogais, Mamai and the Assassination of the Khan	239
Wilfried Forstmann: A „Mohács”-fogalom a német történettudományban	241
Wilfried Forstmann: The „Mohács” Topic in German History Writing	256
Hende Fanni: Kódektörödékek Szigetvárról	257
Fanni Hende: Codex Fragments from Szigetvár	263
S. Laczkó András: „Szűk vala egy ország...” Kisfaludy Károly Mohácsának Tomori-képe	265
András S. Laczkó: „A country was too narrow for thee...” Portrait of Pál Tomori in Károly Kisfaludy's Mohács	275
Kanász Viktor: A mohácsi csata és II. Lajos király az ex libriseken	277
Viktor Kanász: The Battle of Mohács and King Louis II on Ex Libris	284
Haramza Márk – Thiele Ádám: S-keresztvasú fegyverek Mohács környékéről	285
Márk Haramza – Ádám Thiele: Weapons with S-shaped Crossguard from the Vicinity of Mohács	310
Bertók Gábor – Németh Balázs – Haramza Márk: Az 1526. évi mohácsi csata két, a helyszínen talált tűzfegyverlelete és a korai tűzfegyverek sajátosságai	311
Gábor Bertók – Balázs Németh – Márk Haramza: Two Firearms Remains from the Location of the Battle of Mohács (1526) and the Characteristics of Early Firearms	322
Csóka Balázs – Csóka Péter – Nagy Eszter – Niklai Virág – Machlik Borbála – Galbács Gábor – Palásti Dávid Jenő – Bertók Gábor – Haramza Márk: A Mohácsi-síkon talált lövedékek kémiai összetételének meghatározása LIBS vizsgálatokkal	323
Balázs Csóka – Péter Csóka – Eszter Nagy – Virág Niklai – Borbála Machlik – Gábor Galbács – Dávid Jenő Palásti – Gábor Bertók – Márk Haramza: Determination of the Chemical Composition of Bullets Founded at the Mohács Plain Using LIBS Analysis	336
Németh Balázs: Lehetnek-e a majsai falunyom lövedékei 17. századi végi lovassági összecsapás nyomai?	337
Balázs Németh: Can the Lead Bullets Recovered from the Archaeological Site near the Village of Majs Associated with a 17 th -Century Cavalry Engagement?	346
Gombor László: A Szent Liga serege 1687. július 31. – augusztus 5. közti táborozásáról készült metszet georeferálása	347
László Gombor: Georeferencing of the Engraving Depicting the Encampment of the Holy League's Army from 31 July to 5 August 1687	352

Almási Sándor: 1526 vagy 1687? Történhetett-e Majsánál az 1687. évi dél-baranyai hadjárat „elfeledett hadművelete”?	353
Sándor Almási: 1526 or 1687? Could the „Forgotten Operation” of the 1687 Southern Baranya Campaign Have Taken Place in Majs?	362
Szabó Máté: Római kori adalékok Mohács térségének topográfiájához	363
Máté Szabó: Additions to the Topography of the Mohács Area in the Roman Period	380
Szeberényi József – Viczián István – Drusza Tamás – Szávoszt-Vass Dániel: A Mohácsi-sík természetföldrajzi adottságai, település- és úthálózata a 16. században	381
József Szeberényi – István Viczián – Tamás Drusza – Dániel Szávoszt-Vass: A Topographical Study of the Geographical Situation of the Mohács Plain in 1526	410
Viczián István – Szeberényi József: A mohácsi csata igaz története, helyszíneinek és eseményeinek földrajzi rekonstrukciója	411
István Viczián – József Szeberényi: The True History of the Battle of Mohács: a Geographical Reconstruction of its Sites and Events	442
Nagy-L. István: A mohácsi csata 4D-ben. Adalékok a csata harcászati rekonstrukciójához	443
István Nagy-L.: The Battle of Mohács in 4D. Additions to the Reconstruction of the Tactics of the Battle	462
Drusza Tamás: A mohácsi csata rekonstrukciója. Új adatok – új megközelítés – új hipotézis	463
Tamás Drusza: Reconstruction of the Battle of Mohács. New Data – New Approach – New Hypothesis	502
Kovács István: Kegyelet – hősiesség – közép-európai összefogás. A Nemzeti Örökség Intézete „Mohács500” projektje és eddig elért eredményei	503
István Kovács: Piety – Heroism – Central European Unity. The „Mohács500” Project of the National Heritage Institute and its Results so far	510

A MOHÁCSI-SÍKON TALÁLT LÖVEDÉKEK KÉMIAI ÖSSZETÉTELÉNEK MEGHATÁROZÁSA LIBS VIZSGÁLATOKKAL

CSÓKA BALÁZS* – CSÓKA PÉTER** – NAGY ESZTER*** – NIKLAI VIRÁG**** – MACHLIK BORBÁLA**** –
GALBÁCS GÁBOR***** – PALÁSTI DÁVID JENŐ***** – BERTÓK GÁBOR***** – HARAMZA MÁRK*****

Az 1526. évi mohácsi csata helyének Janus Pannonius Múzeum (JPM) által 2016 óta végzett régészeti fémkeresőműszeres kutatása során jelentős számú fémtárgyat, közöttük kézi tűzfegyverhez használt ólomlövedéket gyűjtöttek össze. A JPM munkatársai a lövedékek elsődleges vizsgálatakor azok fizikai adatait, térbeli szóródását és ezek összefüggéseit rögzítették és értékelték ki. A jelenlegi vizsgálatok során elsődlegesen kémia összetételre vonatkozó információkat nyertünk a hetvennégy megvizsgált lövedék LIBS analízise által. Az eredmények alapján az összetételnek megfelelő csoportokba soroltuk a mintákat. Vizsgáltuk a felületükön megtalálható összetevőket. A lövedékek keresztmetszetén végzett mérésekkel információt nyertünk a kémiai inhomogenitásukról. A III. tömegsírból származó három lövedéket is megvizsgáltuk LIBS analízissel, kerestünk és találtunk más helyszínről származó, hasonló összetételű lövedékeket, melyek megtalálásának helyszínét térképen is megadjuk.

KULCSSZAVAK: mohácsi csata, lövedék, LIBS, kémiai összetétel, fegyvertörténet, archeometria, Mohács500

AZ ELVÉGZETT KUTATÓMUNKA HÁTTERE ÉS CÉLJAI

A pécsi Janus Pannonius Múzeum vezetésével az elmúlt években egyre nagyobb intenzitású régészeti tevékenység zajlik a Mohácsi-síkon, melynek célja az 1526. évi mohácsi csatátér helyszínének lehetőség szerinti minél pontosabb lokalizációja, továbbá a régészeti források értelmezése a térség korabeli településszerkezetének és a csata lefolyásának rekonstrukciójához.¹ A mohácsi csata régészeti kutatásához tartozik a Mohácsi Nemzeti Emlékhelyen található III. (2020–2022) és IV. tömegsírok (2024) teljes feltárása is, amit a tömegsírok régészeti anyagának és embertani maradványainak tudományos

feldolgozása mellett a csatában elesettek újratemetése kapcsán is kiemelt munkaként kezeltek.²

A fémkeresőműszeres terepbejárások során talált leletek jelentős része ólomlövedék, melyek a 16. században már nagy számban használt korabeli tűzfegyverekhez köthetők. Az összegyűjtött lövedékek eddigi vizsgálata fizikai méreteik, állapotuk és előkerülési helyük meghatározására, valamint a fenti adatok csoportosítására, összefüggéseik elemzésére irányult. Mindeddig összesen 254 lövedék metrikus és geológiai vizsgálati eredményeit közzétettük, amely során megállapítottuk, hogy a 10–15 millimé-

* Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziuma, csoka.balazs@cml.hu

** ELTE Természettudományi Kar, csoka.peter.05@gmail.com

*** ELTE Természettudományi Kar, greateszter@student.elte.hu

**** PTE Általános Orvostudományi Kar, niklai.virag@gmail.com

***** SZTE Természettudományi Kar, machlik.bori@gmail.com

***** SZTE Természettudományi Kar Molekuláris és Analitikai Kémiai Tanszék, galbx@chem.u-szeged.hu

***** SZTE Természettudományi Kar Molekuláris és Analitikai Kémiai Tanszék, palastidavid@chem.u-szeged.hu

***** Janus Pannonius Múzeum, bertok.gabor@jpm.hu

***** Janus Pannonius Múzeum, haramza.m@gmail.com

¹ BERTÓK–POLGÁR 2011; BERTÓK ET AL. 2020.

² NEMÉNYI ET AL. 2023.

ter, mind a 19–27 milliméter közötti átmérőre átlagolt lövedékek sajátos szóródási képet mutatnak a Majstól északkeletre található középkori falu nyomvonalán, délnyugati és északi térségében. Ezek alapján továbbra is releváns lehetőségként tartjuk számon a helyszínt az 1526. évi összecsapás lokalizációjához.³ Ugyanakkor továbbra is szem előtt tartjuk, hogy a lövedékek nem keltezhetők szűken a 16. század első harmadára. Épp ezért is tartjuk indokoltnak, hogy a felgyűjtött lövedékeket több aspektusból, így kémiai összetételük vonatkozásában is megismerjük és összehasonlítsuk az egyértelműen a mohácsi csata tárgyi emlékeanyagaként számontartható, III. tömegsírban előkerült három lövedékkel. Korábbi közlésekből látható, hogy a tömegsír lövedékeinek méretei megegyeznek a Majs közelében legnagyobb számban előforduló lövedékek méreteivel.⁴

Mostani munkánkban a régészeti kutatások során összegyűjtött lövedékek közül hetvennégy darabnak

a kémiai elemzését végeztük el. Hasonló kutatások hazai vonatkozásban már történtek a Zrínyi-Újvár 1664. évi ostromából származó muskétagyolyókon is. A lövedékeket optikai fénymikroszkóppal (OM), pásztázó elektronmikroszkóppal és energiadiszipatív mikroszondával (SEM-EDS) vizsgálták, amely során nagy mennyiségű ónt és bizmutot detektáltak. A bizmut nagy valószínűséggel érc állapotában, szennyezőanyagként maradt a későbbi késztermékben, míg az ón jelenléte szándékos hozzáadagolás eredménye lehetett. Az ötvözőanyagok mind a technológiára, mind a ballisztikára hasonló hatással lehetnek: csökkentették az ötvözet olvadáspontját, öntés után pedig megnövelték a lövedék keménységét.⁵

A jelenlegi vizsgálatok célja az volt, hogy fizikai tulajdonságok felmérésén túl a kémia összetételben tapasztalható változatosságokat is feltárjuk, és összefüggéseket keressünk a kémiai összetétel és a geológiai adatok között.

A LÖVEDÉKEK ÖSSZETÉTELE

Általánosságban elmondható, hogy 85–95 százalékos ólomtartalom mellett az ón és az antimon a leggyakoribb összetevője a legtöbb ma használatos lövedéknek.⁶ A középkorból származó lövedékek esetében azonban a célszerű ötvözés kevésbé volt jellemző, főleg ólmot tartalmaztak. Ennek oka, hogy mivel a lövedék tömegének kritikus szerepe van az átütőerőben, így a három közül legnagyobb sűrűségű elem, az ólom használata volt a lövedékkészítés során a célszerű választás.⁷

A könnyű elérhetőség szintén az ólom használatának kedvezett. Az ókortól kezdve olcsó és könnyen hozzáférhető ércnek számított a galenit, amelyből az ólom egyszerű eljárással, olcsón kinyerhető volt. Az egyébként is nehezen megtalálható kilótt lövedékeket már csak emiatt sem gyűjtötték össze a csaták helyszínéről. A galenit azonban más elemeket is tartalmaz, melyek az ólom kinyerési folyama-

ta közben oxidációs vagy redukciós lépések során belekerülhet a kész termékbe. Ilyenek az ezüst, arzén, bizmut, réz, antimon és az ón.⁸ Már a 16. századi műszaki gondolkodása is különbséget tesz az ólomércek minősége között. Így például Georgius Agricola 1556-ban megjelent *De re metallica* című művében a Bleibergben bányászott ólom ezüstmentességét hozza példának, a minőség ellenőrzésére ércpróbát javasol.⁹

Mindezek alapján az alábbi kémiai elemek előfordulását kerestük a lövedékekben (az elemek növekvő rendszáma szerinti sorban): magnézium, alumínium, kalcium, vas, réz, cink, arzén, ezüst, ón, antimon, ólom. A keresett elemek néhány fizikai tulajdonságát az 1. táblázat mutatja. Ebből megállapítható, hogy az ólom a nagy sűrűsége mellett alacsony olvadásponttal is rendelkezik, amely előnyös tulajdonság a lövedékkészítés és az ötvözés során is.

³ BERTÓK–HARAMZA–NÉMETH 2020.

⁴ A 254 darabból összesen 166 lövedék sorolható a 10–15 mm-es lövedékátmérő közé, míg a tömegsírban előkerült lövedékek átlagolt átmérői: 10,9 mm, 12 mm, 13,8 mm. BERTÓK–HARAMZA–NÉMETH 2020.133; NEMÉNYI ET AL. 2023. 27–28.

⁵ BARKÓCZY ET AL. 2012. 1142–1143.

⁶ LYMAN BULLET MAKING GUIDE

⁷ RAMAGE 1980. 8.

⁸ GOMES ET AL. 2018.

⁹ AGRICOLA 1985. 259.

1. táblázat. A vizsgált elemek néhány fizikai tulajdonsága
Table 1. Physical properties of analysed elements

vegyjel	Mg	Al	Ca	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
rendszám	12	13	20	26	29	30	33	47	50	51	82
atomtömeg (g/mol)	24,3	26,98	40,08	55,85	63,5	65,38	74,9	107,9	118,7	121,8	207,1
olvadáspont (°C)	650	660	842	1538	1085	420	817	962	232	631	328
sűrűség (g/cm ³)	1,74	2,7	1,55	7,87	8,96	7,14	5,73	10,49	5,77	6,69	11,34



1. ábra. Néhány ólomlövedék fényképe
Fig. 1. Picture of some lead bullets

A vizsgálatra kiválasztott lövedékeket a megtalálás után fizikailag megtisztítottuk a talajmaradványoktól, majd vízzel lemostuk, szárítottuk. Ebből kifolyólag a felületet érintő mesterséges kontaminációra nem számítottunk.

A vizsgálatokat megelőző szemrevételezésnél megállítottuk, hogy a fehér-szürke színű lövedékek 10–15 mm közötti átmérővel rendelkeztek gömböseszerű alakúak, néhány öntőcsappal is rendelkezett, mások torzultak, lapítottak voltak. A gömböt közelítő alakú lövedékeknél a lövedékek méretéből számított gömbtérfogot, majd az ebből, az ólom sűrűségéből számított tömeg és a mért tömeg vi-

szonyát összevetve több esetben is feltűnően nagy eltérést tapasztaltunk, a mért tömegek jelentősen kisebb értékét találtuk a számítottakhoz képest. Ez következhetett a méretmeghatározás, valamint a térfogatszámítás hibájából (gömbtől eltérő alak miatt), de a lövedékek összetételéből is. A táblázatból látható, hogy az ólomlövedékek esetében feltételezhető kémiai összetevők közül az ólom sűrűsége a legnagyobb, emiatt bármely más elem jelenléte csökkenti a lövedék sűrűségét. Ugyanezt okozza, ha levegőbuborékok, vagy más természetes szennyezők, zárványok maradnak az ötvözetben az öntés során. Vizsgálataink során ezért ezekre is kitértünk.

A LIBS MŰKÖDÉSÉNEK ELVE

A vizsgálatok során az eddig összegyűjtött lövedékek közül hetvennégy darabon végeztünk kémiai analitikai vizsgálatot lézer indukált plazma spektrometriával (LIBS) az SZTE TTIK Lézer- és Plazmaspektroszkópai Kutatócsoport laboratóriumában 2022. májusában. A LIBS módszer lényege, hogy a minta felületét nanoszekundumos időintervallumban nagyintenzitású lézersugár éri, melynek hatására a minta felszínének kis része ablációt szenved el,

„elpárolog” és plazma állapotba kerül, a benne lévő elemek gerjesztődnek. A gerjesztés hatására az adott elemekre jellemző hullámhosszú fotonokat bocsát ki. Az emittált fotonok intenzitását a hullámhossz függvényében ábrázolva vonalas spektrumot kapunk. A plazmából a spektrométerrel gyűjtött információk alapján tehát megállapítható a vizsgált minta elemösszetétele.¹⁰ A készülék működési vázlata a 2. ábrán látható. A lézerimpulzus néhány 10 µm átmérőjű

¹⁰ PALÁSTI 2022. 4–12.

pontszerű helyen éri a mintát, a szilárd anyag felszínén egy apró krátert hagyva maga után. Az egyes „lövés” helyett azonban – azonos pozícióban – gyors impulzussorozatot létrehozva mélyebb rétegek elérése is lehetővé válik. Ezáltal újabb és újabb, egyre mélyebb rétegekből nyerhetünk kémiai összetételre jellemző információt, ún. mélységi profilt készíthetünk. Az egyes impulzusok által létrehozott kráter mélységét jelentősen befolyásolja az anyagi összetétel, de általában néhány mikrométerről van szó. Ilyen kis méretek miatt a módszer gyakorlatilag nem-invazívna tekinthető, és a régészetben is általánosan alkalmazott. A szakirodalomban találunk hasonló vizsgálatot, ahol régészeti leleteken, kerámiák felszínén lévő ólom tartalmú festékeket vizs-

gáltak LIBS-szel, meghatározták elemösszetételüket és mélységi profilt is készítettek.¹¹

A LIBS vizsgálat nem igényel jelentős mintaelőkészítést, mérés légköri atmoszférában végezhető a minta megfelelő rögzítését követően.¹² A felület összetételében lévő kémiai inhomogenitások azonban nagymértékben befolyásolhatják az eredményeket. Erre figyelniünk kellett a vizsgálatok elvégzésekor, hiszen az ólomlövedékek közel 500 év alatt sokféle környezeti hatásnak voltak kitéve, emiatt az anyag egy része kémiai folyamatokban is átalakulhatott. Kevesebb kontaminációval számolhatunk, ha a lövedékek belsejét vizsgálhatjuk, ehhez azonban a felszíni rétegeket mechanikai vagy kémiai úton el kell távolítani.

A MÉRÉSEK KIVITELEZÉSE

Két készüléken végeztük el a méréseket, mindkettőben Nd-YAG lézerrel hozta létre az ablációt. A külön nem említett vizsgálatoknál a hordozható LIBS készüléket használtuk. A két műszer mérési paraméterei az alábbiak voltak:

	hordozható LIBS	asztali LIBS
lézer impulzusenergia	50 mJ	17 mJ
lézer hullámhossz	1064 nm	266 nm
impulzushossz	10 ns	8 ns
detektálás késleltetési ideje	1,27 μ s	0,5 μ s
detektálás integrációs ideje	1,1 ms	1 ms
vizsgált spektrum-tartomány	238–907 nm	186–1048 nm
spektrális felbontás	jobb, mint 0,14 nm	0,07 nm

A lövedékek felületén sok esetben fehér, világosszürke elszíneződést találtunk, továbbá a minták felszíne egyenetlen volt. Emiatt a LIBS vizsgálatok előtt egy kis, 3–5 milliméter átmérőjű területen vasreszelővel és nedves polírozópapírral a felszínt eltávolítottuk, mivel a felszínüket a talajban különböző környezeti kontamináció érthette, a kémiai

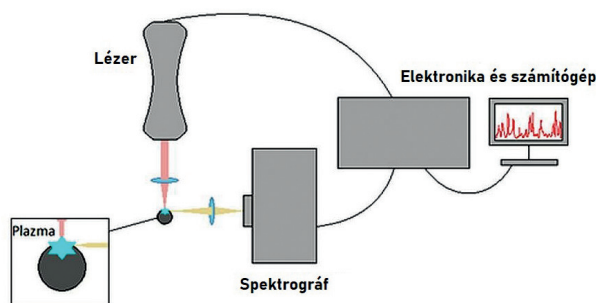
összetétele megváltozhatott. A polírozás után a fel-színt ioncserélt vízzel lemostuk és szárazra töröltük. A közelítően gömb alakú lövedékeket kétoldalú ragasztóval üveg tárgylemezhez rögzítettük, majd a LIBS készülékben megtörtént a mérés. Minden pozícióban 5 mérést, majd más pozíciókban újabb 5-5 mérést végeztünk, miközben az adatokat gyűjtöttük, így minden lövedékről 15 mérési adatsort (spektrumot) mentettünk el.

A hordozható készülékkel a fenti paraméterekkel a lövedékeken kívül standardként néhány fém nagy tisztaságú mintájának spektrumát is felvettük. A nagyenergiájú gerjesztés során vonalas spektrumokat kaptunk a vizsgált spektrumtartományban, az adott elemre jellemző mintázatú, néhány század nm szélességű vonalakkal.

Több elem jelenléte esetén az egyes elemekre jellemző spektrumvonalak egymásra rakódnak, együttesen jelennek meg a mérés során kapott spektrumban. Az egyes vonalak kicsi szélessége azonban lehetőséget ad az elemek azonosítására jellegzetes hullámhossznál meglévő vonalaik alapján. Ebből következően nagyon kis koncentrációban (ppm, ppb mennyiség) jelenlévő komponensek is sikeresen kimutathatók vele. A LIBS ezáltal nagyon hatékony módszer az összetevők kvalitatív azonosítására, amely vizsgálataink fő célja volt.

¹¹ KUZMANOVIĆ ET AL. 2021; RUAN ET AL. 2019; GALBÁCS 2015.

¹² PALÁSTI 2022. 11.



2. ábra. A LIBS készülékek működési vázlata
Fig. 2. The operational outline of LIBS devices

Egy lövedéknek (H20031 jelzésű) megvizsgáltunk olyan felszínét is, amelyen előzetesen nem végeztünk tisztítást, nem políroztuk. Feltételeztük,

hogy a felszínen a minta környezetéből származó szennyeződések lehetnek.

Vizsgáltuk a lövedékek homogenitását is. Két lövedéket (400024 és 60528 jelzésűek) keresztben elvágunk és a vágási felületen a lövedék keresztmetszetében vonal mentén hajtottunk végre pásztázó méréseket 14 milliméter hosszúságban, 5-5 ismétléssel. Ehhez a hordozható műszert használtuk. A vonal menti mérések során 100 μm távolságot állítottunk be a kráterek közepei között, miközben 60 μm -es fókuszfolttal dolgoztunk. Az 5 párhuzamos mérés során kapott adatokat átlagoltuk és azokat értékeltük ki. E mérések során csak a vizsgált elemek egy-egy jellegzetes hullámhosszával kapott adatokat gyűjtöttük ki.

AZ ADATOK FELDOLGOZÁSA

A nyers mérési adatokat MS Excel és Microcal Origin szoftverek segítségével értékeltük ki. A NIST LIBS adatbázisa,¹³ valamint a fém standardok mérése során nyert spektrumokból kiválasztottuk elemenként azt a 2–3 hullámhossz értéket, amelyen az adott elem atomi állapotban legnagyobb intenzitású spektrumvonalai megfigyelhetők voltak. A 2. táblázatban ezeket a hullámhossz-értékeket foglaltuk össze. Az értékek kismértékben eltérnek

az adatbázisban megadottaktól, ugyanis a táblázat a spektrométerben ténylegesen mért hullámhosszokat tartalmazza, amelyekhez a keresett értékek legközelebb estek. A kiértékelések során csak az ezeken a hullámhosszokon mérhető intenzitásokat vizsgáltuk meg. A fém standardok spektrumai a 3. ábrán láthatók. Összesen tehát 11 kémiai elem jelenlétét kerestünk a mintákban 24 hullámhosszon.

2. táblázat. A vizsgálatok során használt hullámhossz értékek
Table 2. Wavelength values used during the tests

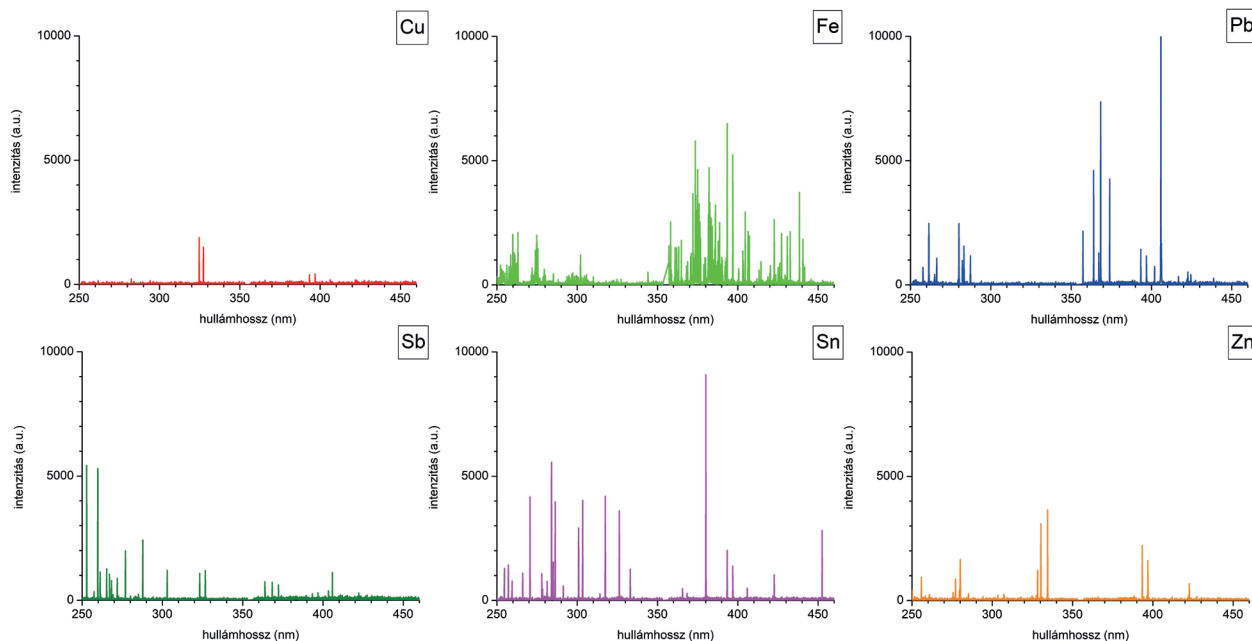
	Mg	Al	Ca	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
hullám-	277,960	309,523	422,717	393,374	324,698	330,216	277,960	328,013	283,923	252,841	280,117
hossz	285,164	396,162	430,271	396,869	327,343	334,462	285,989	338,286	380,153	259,760	368,367
(nm)									452,522		405,798

A lövedékeken mért adatokból kigyűjtöttük az adott elemre jellemző fenti hullámhosszoknál az intenzitásértéket. A mintánként mért 15 adatsorból így elemenként 2×15 értéket kaptunk. Egy-egy elem azonosításához ugyan elegendő lenne egyetlen karakterisztikus hullámhosszértéknél mérhető intenzitás is, azonban a komplex mátrixmintázat miatt biztosabb volt egy-egy elem esetén két (néha három) hullámhossznál is megvizsgálni az intenzitásértékeket. Ugyanígy a magnézium és az arzén esetén a 277,9 nm körüli jelentkező karak-

terisztikus vonalak közel estek egymáshoz, ezért minden esetben megvizsgáltuk a másik értéknél mért adatokat is.

Az adott hullámhossz környezetében jellemző háttér szórásának figyelembevételével döntöttük el, hogy a mért intenzitásérték a zajtól eltérő-e, vagyis ténylegesen az adott elem jelenlétét igazolja. Ezen értékelés során a küszöb intenzitás értéket 250-nek választottuk. Ha ilyen módon legalább a spektrumok felében kimutatható volt az elem, akkor annak jelenlétét igazoltnak tekintettük. Ennél kevesebb ta-

¹³ <https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/LIBS/lib-form.html>

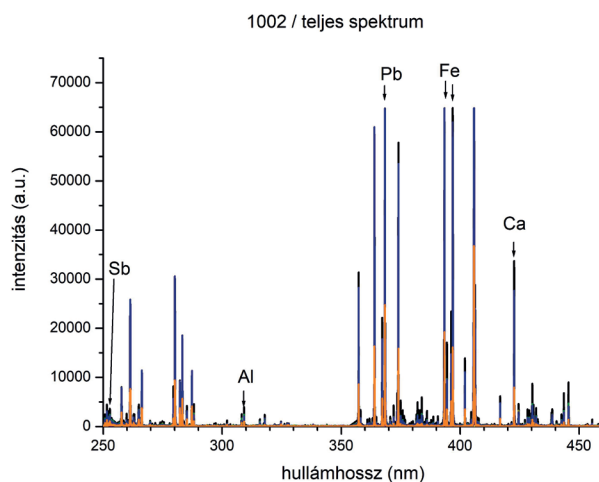


3. ábra. A fém standardok spektrumai
Fig. 3. The spectra of metal standards

lalat esetén a spektrumok alakjából és a két hullámhossznál mért intenzitások összevetéséből vontunk le következtetéseket. Ilyen módon végül meghatároztuk minden egyes lövedék valószínűsített elemösszetételét.

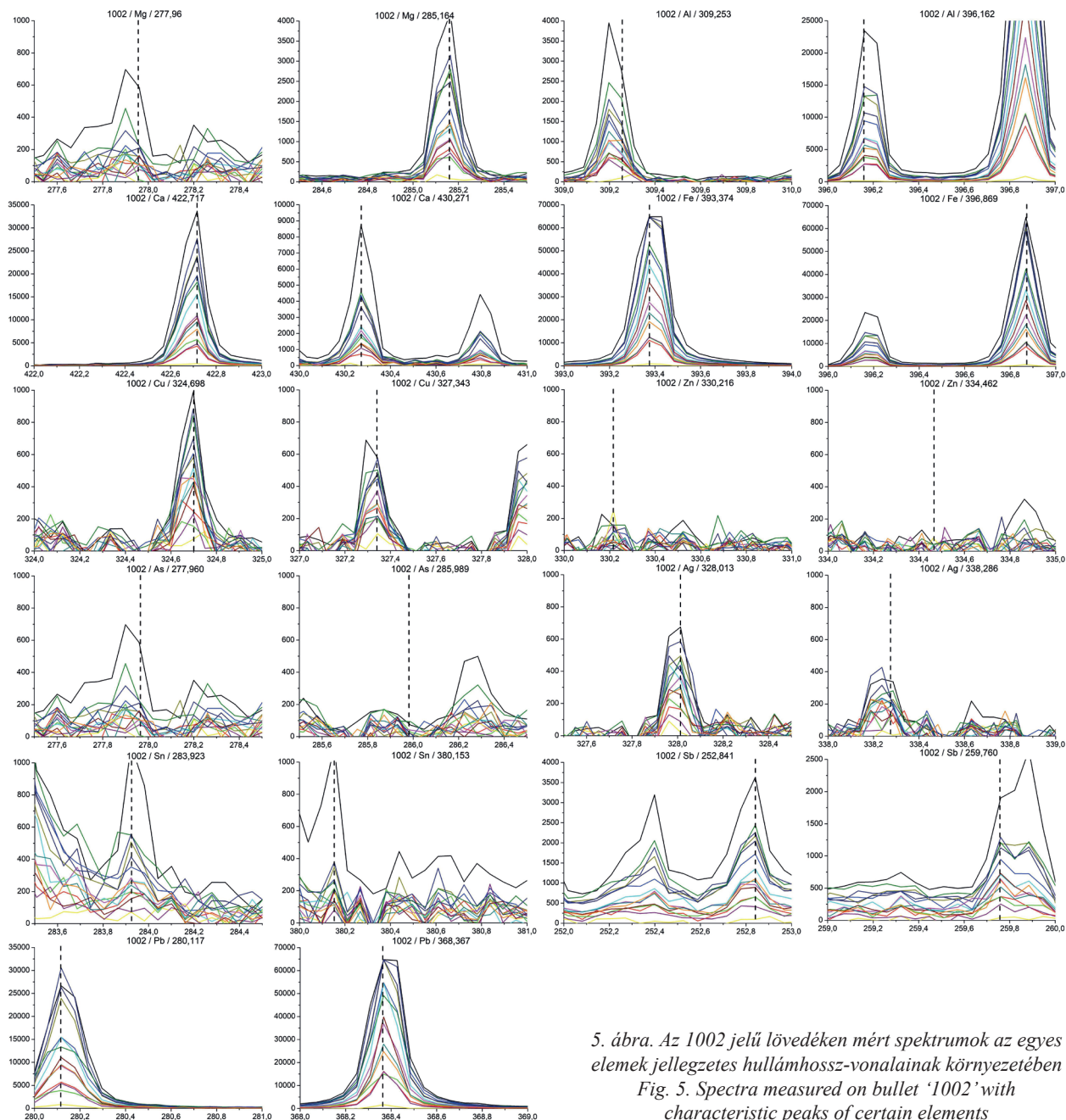
Az 1002 jelzésű lövedék esetében felvett, a 4. ábrán látható spektrum és az egyes elemek karakterisztikus spektrumvonalai környékét bemutató nagyított spektrumrészletek (5. ábra) illusztrálják a fenti módszert. Az 1002-es lövedék összetételéről azt mondhatjuk, hogy az arzént és cinket nem tartalmazott, a további kilenc vizsgált elemet (magnézium, alumínium, kalcium, vas, réz, ezüst, ón, antimon, ólom) viszont megtalálható benne.

Fontos megjegyezni, hogy az elemösszetétel meghatározása mellett nem végeztünk kvantitatív (mennyiségi) meghatározásokat, mivel nem állt rendelkezésre a vizsgált elemeket ismert arányban tartalmazó standard fémötvözet, amelyből az egyes elemek koncentrációit kiszámíthattuk volna. A kapott adatokban azonban egy-egy elem intenzitásá-



4. ábra. Az 1002 jelű lövedéken mért 15 spektrum 250–460 nm között, néhány fém jellegzetes csúcsainak megjelölésével
Fig. 4. The 15 spectra measured on bullet '1002' between 250–460 nm, marking some characteristic peaks of metals

nak változása a koncentráció változását is jelzi, a különböző elemeknél mért intenzitások hasonlósága azonban nem jelenti koncentrációjuk közeli értékeit.



5. ábra. Az 1002 jelű lövedéken mért spektrumok az egyes elemek jellegzetes hullámhossz-vonalainak környezetében
 Fig. 5. Spectra measured on bullet '1002' with characteristic peaks of certain elements

A KIÉRTÉKELÉSEK EREDMÉNYE

Az elemösszetétel vizsgálata

Már a felület előkészítése során kiderült, hogy egy lövedék rézből készült (M102), ennek összetétele emiatt jelentősen eltért a többitől, ezért kihagytuk a további értékelésből. A 73 lövedék egyikében sem sikerült kimutatnunk arzént és cinket. Mindegyikben jelen volt azonban az ólom mellett a vas, a kalcium, az alumínium és a réz. Ezek alapján a vizsgált 11 elem közül csak négy, az ezüst (Ag), az ón (Sn), az antimon

(Sb) és a magnézium (Mg) adott lehetőséget a kémiai összetétel alapján történő megkülönböztetésre és csoportokba sorolásra. A 3. táblázatban foglaltuk össze e négy elem előfordulását a lövedékekben. A táblázat számértékei jelzik, hogy a 15 mérésnél hány esetben található meg a fenti kritériumok alapján az egyes elemek. Ahol az adott elem jelenlétét elfogadtuk, szürke háttérrel jelöltük. A dőlten szedett jelű lövedékek mohácsi III. tömegsírban származnak, részletes elemzésük a következő alfejezetben található meg.

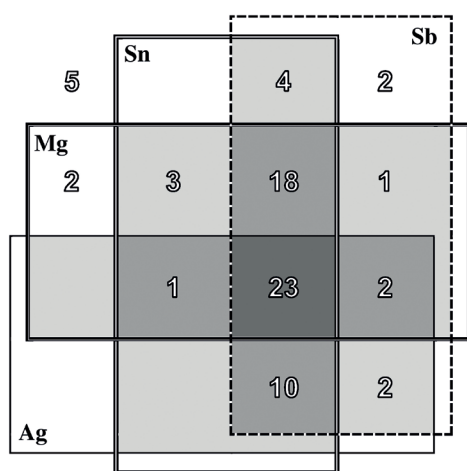
3. táblázat. Mg, Sn, Sb és Ag eloszlása a vizsgált lövedékekben
 Table 3. Distribution of Mg, Sn, Sb and Ag in the tested bullets

jelzet	Mg	Sn	Sb	Ag	jelzet	Mg	Sn	Sb	Ag
460	10	18	0	0	70013	8	10	12	6
1002	7	9	14	7	70019	7	7	14	0
1039	9	15	9	6	70029	7	9	14	7
1041	6	4	3	7	70030	6	11	10	4
1068	0	2	0	0	70061	7	13	10	4
1127	8	10	9	2	70083	7	10	10	0
1151	5	6	13	10	70090	10	13	9	4
1157	10	14	3	3	70254	6	3	5	1
1167	7	12	13	8	80046	8	14	5	2
1598	0	0	0	0	80094	7	10	10	6
2033	0	0	12	3	3R17	9	15	4	2
6212	10	13	13	4	A0027	15	15	13	3
6311	8	14	10	0	A0042	1	0	1	0
6334	10	11	12	2	A0216	7	10	14	0
7131	9	12	9	4	A113	9	14	13	4
7226	8	14	15	3	A116	10	15	5	2
7239	6	13	9	3	A149	10	14	9	6
10238	3	5	4	2	A229	7	11	9	6
20018	7	0	11	4	A284	8	12	12	1
20046	7	0	8	0	B052	7	10	7	7
20079	10	13	13	1	B118	8	14	13	1
60019	8	14	10	5	B119	10	13	10	5
60050	10	14	8	5	B124	7	12	10	4
60055	6	12	12	0	B27	6	11	7	0
60078	6	5	13	2	C0003	7	11	13	3
60113	6	11	9	3	D181	13	15	15	3
60374	10	14	9	4	D223	10	13	13	4
60386	15	15	12	7	E01	10	12	9	0
60403	4	6	6	3	E23	12	15	2	7
60410	10	12	11	7	G20071	7	13	10	3
60420	12	15	15	10	G20083	8	10	12	8
60463	10	9	8	5	H20031	10	8	9	1
60468	13	14	13	4	H20065	8	10	10	5
60499	10	12	13	4	H20092	14	15	15	15
60500	9	10	9	2	H20094	7	14	8	1
60520	7	6	13	2	M370	8	10	8	0
60528	7	0	7	7	M102 (réz)	10	15	6	9

A fenti négy elemmel a következő összetétel-mintázatot kaptuk a vizsgált 73 lövedékre, továbbá az adott csoportba sorolt lövedékek száma:

egyik sem	5	Mg+Sn	3	Mg+Sn+Sb	18
		Mg+Sb	1	Mg+Sn+Ag	1
Mg	2	Mg+Ag	0	Mg+Sb+Ag	2
Sn	0	Sn+Sb	4	Sn+Sb+Ag	10
Sb	2	Sn+Ag	0		
Ag	0	Sb+Ag	2	Mg+Sn+Sb+Ag	23

Az elemek eloszlást és kapcsoltságát Venn-diagrammon ábrázoltuk, amely a 6. ábrán látható.



6. ábra. A fenti négy elem eloszlása Venn-diagrammon ábrázolva

Fig. 6. Distribution of the four elements above, shown in a Venn diagram

Ezek szerint 12-féle összetételt találtunk. Kiszámítva az elemek egyedi ill. kapcsolt előfordulási százalékos gyakoriságát a 73 mintában, az alábbi adatokat kaptuk.

egyik sem	7%	Mg+Sn	62%	Mg+Sn+Sb	56%
		Mg+Sb	60%	Mg+Sn+Ag	33%
Mg	68%	Mg+Ag	36%	Mg+Sb+Ag	34%
Sn	81%	Sn+Sb	75%	Sn+Sb+Ag	45%
Sb	85%	Sn+Ag	47%		
Ag	52%	Sb+Ag	51%	Mg+Sn+Sb+Ag	32%

Szembetűnő az ón (Sn) és antimon (Sb) magas egyedi és együttes előfordulása, amely a magnéziummal (Mg) együtt szintén nagy gyakoriságot mutatott.

A mohácsi III. tömegsírban talált lövedékek LIBS elemzése

A 460, 1068 és 1598 jelzésű lövedéket a III. tömegsír feltárása során találták meg. A méréseket és kiértékelést egy későbbi mérési időpontban, de a többivel analóg módon végeztük ezek esetében is. Két ponton tettünk csak kivételt ez alól: nagyobb számú mérést végeztünk 1–1 lövedéken (15 helyett 20–25 mérést végeztünk), továbbá próbáltunk az előzetesen meg nem tisztított felületről is információt nyerni ott végzett mérésekkel. A három lövedék összetétele az alábbi elemeket tartalmazta:

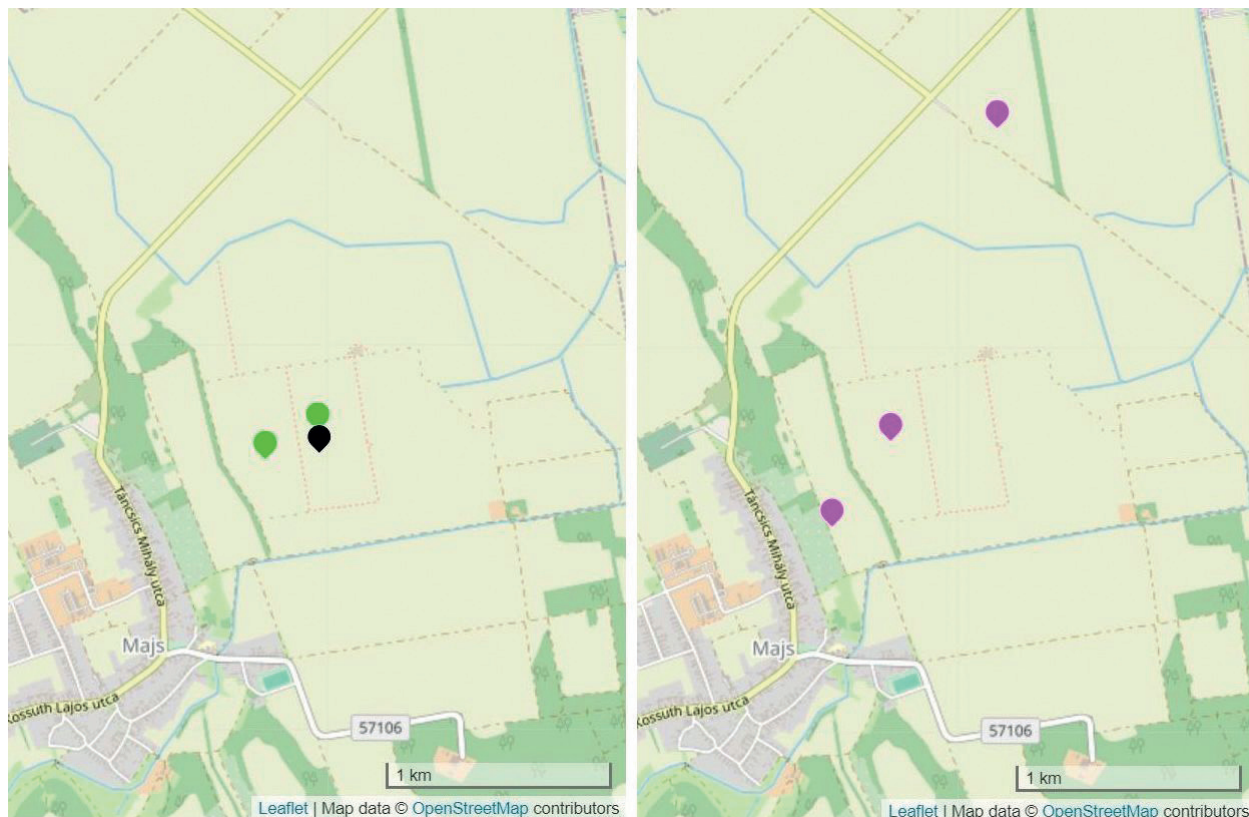
- 460-as lövedékben talált elemek: Mg, Al, Ca, Fe, Sn, Pb
- 1068-as lövedékben talált elemek: Ca, Fe, Pb
- 1598-as lövedékben talált elemek: Ca, Fe, Pb

A többi vizsgált elem nem fordult elő a mérés kimutatási határát meghaladó mértékben, ill. a vizsgált mérési pontokon. Fontos emlékezni rá, hogy a minták jelentős inhomogenitással bírnak! Feltűnő, hogy szinte minden korábbi mérésben találunk rezet, azonban nem tudunk magyarázatot adni ennek az elemek hiányára e három lövedék esetében.

A fenti adatok alapján az 1068-as és 1598-as lövedéket azonos összetételűnek tekintjük, azonban az összetétel-mintázatuk nagyon szegényes, szinte csak ólmot tartalmaznak. A vizsgálatok során e kettőhöz hasonló összetételű lövedékből az alábbiakat találtuk: A0042; 1041; 10238. E három lövedék megtalálási helyét ábrázoltuk a térképen (7. ábra) lila jelöléssel.

A 460 jelzésű lövedék összetétele alapján a Mg+Sn tartalmazó csoportba helyezhető. Ezzel azonos összetételűt kevesebbet találtunk: az 1157 és az A116 jelűt, míg az E23 is hasonló összetételű, de alacsony intenzitással ezüstöt is tartalmaz. Érdeemes kiemelni, hogy az 1157 és a 460 jelű lövedék összetétele a legtöbb elem esetében közel esik egymáshoz! E hármat is térképre helyeztük, a térképen az 1157 jelű jobb oldalon a felső.

A lövedékek nem polírozott felszínén végzett mérésekből nem sikerült további elemeket kimutatni, nem találtunk pl. a talajszemcsékből, kőzetekből származó szilíciumot, vagy szerves anyagokra jellemző szenet, nitrogént és ként sem. A lövedékek felszínén végzett mérésekből azonban kimutathatók a lövedékekben talált fémek. A felszínen szemmel látható szín- és állagbeli tulajdonságok tehát a fém-



7. ábra. A 460 (bal) és a 1068/1598 (jobb) jelűvel azonos összetételű további lövedékek megtalálási helyszíne Majstól keletre
 Fig. 7. Location of bullets with the same composition as bullets '460' (left) and '1068/1598' (right), east of Majs

mek korróziójának tekinthetők, amely folyamatok során a környezetükkel történt hosszú kölcsönhatás eredményeként az alábbi vegyületek is létrejöhetnek: PbCO_3 (fehér), PbO (fehér), PbO_2 (barna), Pb(OH)_2 (fehér).

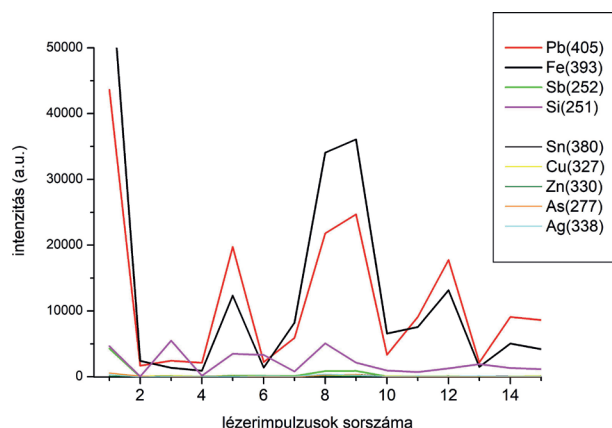
Felületi szennyezések vizsgálata

A felület természetes kontaminációját a H20031 jelű lövedéken vizsgáltuk meg. Az egymást követő lézerpulzusok nyomán felvett spektrumokból kiválasztottuk az vizsgált elemek hullámhosszait, majd az itt mért intenzitásértékeket a lézerpulzusok („lövések”) függvényében ábráztuk, amelynek eredményét a 8. ábra mutatja. Megfigyelhető, hogy a vas (Fe) és ólom (Pb) intenzitása lényegesen nagyobb a többi eleménél és ezek különösen magasak a felszínen, vagyis az első lövés során kapott értékeknél, később azonban az értékek csökkennek. E lövedék esetén megnéztük a szilícium intenzitását is, amely szintén a felszín közelében volt nagyobb, azonban mélyebb rétegekben kb. a 8. „lövésig” jelentős értékeket mér-

tünk. Az antimon (Sb) csak az első lövésnél volt megfigyelhető, míg az összes többi elem esetén a kimutatási alsó határt jelentősen meghaladó értékeket csak néhány esetben kaptunk.

Fontos megjegyezni, ahogy azt már korábban is jeleztük, a mért intenzitás értékek nem arányosak az adott elem arányával, koncentrációjával a mintában. A bemutatott LIBS mérések eredményei esetén az intenzitás értékek változása csak egy adott elem esetén jelenti annak koncentrációjának megváltozását a mérési pontok között. Ezt támasztja alá a 3. ábrán bemutatott egyes fém standardoknál látható spektrumok fémenként eltérő intenzitásértékeinek nagysága is.

A felszín közeli jelentős vas (Fe) és ólom (Pb) jelek a minta belsejében jelentősen ingadoztak, ez jelezte a minta kémiai összetételének inhomogenitását. A szilícium (Si) jelét a felszínen a talajból származó szennyeződésnek tekinthetnénk, azonban az intenzitások hasonlóak a lövedék belsejében is, így sokkal inkább gondolhatunk a lövedék készítése során felhasznált fémek szennyeződéseire.



8. ábra. H20031 lövedéken mért intenzitásértékek a lézerimpulzusok számának függvényében.

Fig. 8. Intensity values measured on bullet 'H20031' as a function of the number of laser pulses

Vonal menti (keresztmetszeti) vizsgálatok

Két lövedéket, az A00024 és a 60528 jelűt, kézi-fűrészsel vágtunk el. A vágott felszínen szemmel láthatók voltak levegőzárványok, az öntés során a lövedékek belsejében kialakult gázbuborékok (9. ábra), ami a minta inhomogenitásának újabb jele. A fotón is látható barnás színű sávok a LIBS mérés során keletkezett ólom(II)-, illetve ólom(IV)-oxidtól származtak a vizsgált terület két oldalán.

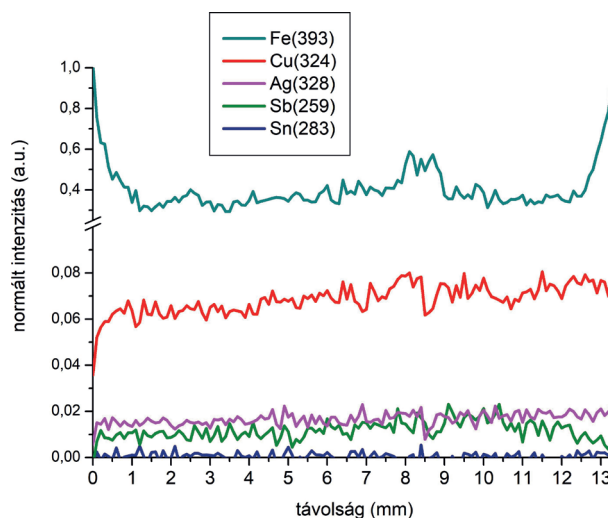
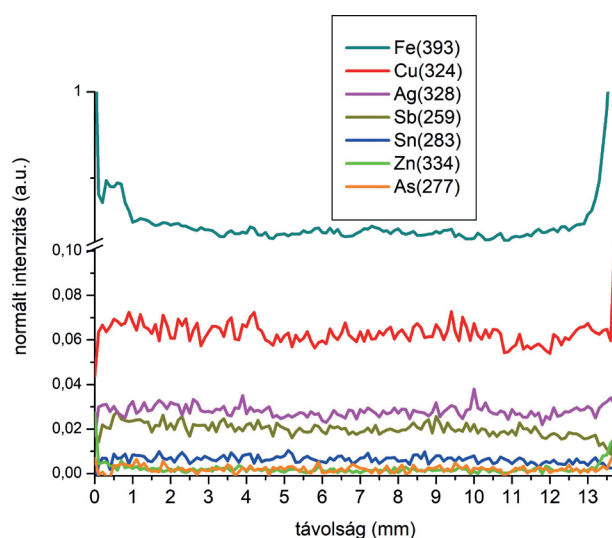
A keresztmetszeten végzett LIBS mérések eredményeit a 10. ábrán mutatjuk (bal: 60528, jobb: A00024). Mindkét ábrán a lokálisan mért



9. ábra. A 60528 (fent és jobbra) és az A00024 lövedék metszete a LIBS mérés után

Fig. 9. Section of bullets '60528' (upper right) and 'A00024' after LIBS analysis

ólom intenzitásokra normáltuk a többi elem azonos pozícióban mért jelét, mivel az ólom főkomponensként volt jelen, így feltételezhető volt koncentrációjának kismértékű ingadozása a többi eleméhez képest. A kiindulási (nulla) távolságnak az Pb jelének a spektrumba való megjelenését vettük alapul. Megfigyelhető mindkét esetben



10. ábra. A 60528 (bal) és A00024 (jobb) lövedék keresztmetszetén végzett LIBS mérés során nyert intenzitás értékek a távolság függvényében

Fig. 10. Intensity values obtained from LIBS analysis of cross-section of bullets '60528' (left) and 'A00024' (right) as a function of distance

az egyes elemek intenzitásának ingadozása, amely ismét a minta kémia összetételének inhomogenitását jelzi. Szembetűnő a felszín közelében kiemelkedően nagy vasintenzitás, valamint ugyanott a réz alacsony intenzitása is, különösen az A00024 mintánál. Ez a lövedék erősen deformált volt, valószínűsíthetően a kilövés után deformálódott. Feltételezzük, hogy a vas felszín közeli nagyobb jelet az okozza, hogy a kilövés során az öntöttvas fegyvercsőben történő áthaladás közben ráakó-

dó vas szemcsékből megnövekedett a felszíni vas koncentráció. A 60528 jelű lövedék alakja gömbszerű, ez azonban nem zárja ki, hogy kilőtték, mivel a kilövés után puha felületet, talajt érve nem deformálódik jelentősen egy ólomlövedék.

Az A00024 jelű lövedék összetételében felismerhető a 8–9 milliméter közötti távolságnál az a légbuborék, amelyet a mérések során érintettünk. E helyen az intenzitásérékek ingadozása még jelentősebb, mint a minta más részein mérhető.

KÖVETKEZTÉSEK

A vizsgálatok során hetvenhárom lövedékben tizenegy elem jelenlétét vizsgáltuk. Azt találtuk, hogy öt elem (Pb, Fe, Ca, Al, Cu) szinte minden lövedékben jelen volt, míg As és Zn egyikben sem volt kimutatható. További négy elemre (Mg, Sn, Sb, Ag) összetétel-mintázatot is meg tudtunk állapítani, mivel ezek csak a minták egy részében voltak jelen. Az elemek egy-egy lövedéken belüli eloszlása heterogén volt, amit a hosszszeten végzett mérések bizonyítottak. Ennek oka lehet, hogy – amint az az elemek fizikai adataiból megállapítható (lásd I. táblázat) – az ólom, mint fő komponens alacsony olvadáspontja miatt a lövedékek öntése során – a korszakra jellemző technológia miatt – számos fém nem az olvadékból került a lövedék ötvözetébe, hanem valamely vegyületként, akár közetszemcse, por formájában szilárd halmazállapotban. Ez magyarázatot ad a sokféle elem jelenlétére is. Ezért sem várható nagyfokú homogenitás az eloszlásukban, amint azt a mérések során tapasztaltuk is.

Két lövedék elvágása során észrevettük, hogy bennük légbuborékok vannak. Ezek a szemmel látható nyomai a heterogén szerkezetnek eddig nem voltak ismertek, azonban a fizikai méret és az elméleti sűrűség alapján végzett számítások alapján gyanítható volt korábban is.

A lövedékek anyagának heterogenitása és az esetenkénti légbuborékok összefüggésbe hozhatók a lövedékek korábban közölt méretadataival is, és a jelenlegi munka során újból elvégzett tömegm-

rések eredményével. A kiátlagolt átmérőknél jóval nagyobb szórást mutatnak a mért tömegértékek, e szórás mértéke a kaliber növekedésével egyenesen arányos.¹⁴ Az általunk LIBS-szel megvizsgált lövedékeket összetétel alapján a fent bemutatott csoportokba soroltuk. A megtaláláskor elmentett geológiai adatok alapján az egyes csoportokba sorolt lövedékeket Openstreetmap térképre helyeztük Leaflet Javascript alapú kiegészítőt használva, amely a II. ábra bal oldali térképe. A kapott térinformatikai eredmények kiértékelését a JPM munkatársaival a későbbiekben tervezzük elvégezni, itt most a három legnagyobb elemszámú csoport térképeit közöljük csak (II. ábra). Annyit előzetesen megállapíthatunk, hogy a kapott mintázatok közül első látásra a Mg-Sn-Sb csoporté mutat egyéb régészeti jelenségekkel tulajdonképpen „negatív” összefüggést: az ebbe a csoportba tartozó lövedékek két elkülönülő területen találhatók, a közöttük húzódó üres sáv pedig egybeesik a leletszóródási folt fókuszát jelentő falunyommal. Mivel nem teljes körű a vizsgálat, ez a jelenség lehet véletlen is. Ennek ellenére a jelenség figyelemre méltó, és utalhat például arra is, hogy a csatában részt vevő valamely csapattesthez köthető ez a típus. Ezért a LIBS vizsgálatok eredményei további elemzést, a lövedékek egyéb tulajdonságaival való összevetése mindenképp szükséges a továbbiakban.

A fentiek mellett szintén a későbbi tervek között szerepel a IV. tömegsírbeli előkerült újabb két lövedék természettudományos vizsgálata is.

¹⁴ BERTÓK–HARAMZA–NÉMETH 2020. 133.



11. ábra. A vizsgált lövedékek megtalálási helye Majstól keletre (bal oldali térkép), továbbá néhány kémiai elemösszetétel alapján képzett csoport elhelyezkedése (szürke: Mg-Sn-Sb, oliva: Sn-Sb-Ag, barna: Mg-Sn-Sb-Ag).

Fig. 11. Location of the analysed bullets east of Majs (left map), and location of groups based on chemical composition (grey: Mg-Sn-Sb, olive: Sn-Sb-Ag, brown: Mg-Sn-Sb-Ag)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A Pécsi Janus Pannonius Gimnázium egykori tagjai (Cs.B., Cs.P., M.B., N.E., N.V.) ezúton is köszönetet mondanak az SZTE Természettudományi és Informa-

tikai Karának, hogy az „SZTE TTIK Kutatóiskolája 2021/22” című pályázat keretében anyagi támogatásával lehetőséget adott a kutatómunka elvégzésére.

SZAKIRODALOM

- AGRICOLA 1985: AGRICOLA, Georgius: *Tizenkét könyv a bányászatról és a kohászatról*. Ford.: BECHT Rezső. Budapest, 1985. (Első megjelenés: *De re metallica libri XII*. Basileae, 1556)
- BARKÓCZY ET AL. 2012: BARKÓCZY Péter – BARTHA Tibor – KOVÁCS Árpád – PADÁNYI József – TÖRÖK Béla: Zrínyi-Újvár 1664. évi ostromából származó vas- és ólomlövedékek anyagszerkezeti vizsgálatai. *Hadtörténelmi Közlemények* 125:4 (2012) 1139–1148.
- BERTÓK 2014: BERTÓK Gábor: Nekünk Majs kell? A mohácsi csatátér kutatása. In: BERTÓK Gábor – GÁTI Csilla (szerk.): *Régi idők – új módszerek*. Budapest–Pécs, 2014. 161–170.
- BERTÓK ET AL. 2020: BERTÓK Gábor – SZABÓ Máté – HARAMZA Márk – SZAJCSÁN Éva – SIMON Béla: Mohács500 csatátérkutatási program. In: HARAMZA Márk – KOVALICZKY Gergely – BERTÓK Gábor – SIMON Béla – GALAMBOS István – TÜRK Attila (szerk.): *Eke mentén, csata nyomában. A mohácsi csata kutatásának legújabb eredményei. Tanulmánykötet Szűcs József tiszteletére*. Studia ad Archaeologiam Pazmaniensia 17. Budapest, 2020. 107–117.
- BERTÓK–HARAMZA–NÉMETH 2020: BERTÓK Gábor – HARAMZA Márk – NÉMETH Balázs: Lövedékek egy „mohácsi” csatátéréről. In: HARAMZA Márk – KOVALICZKY Gergely – BERTÓK Gábor – SIMON Béla – GALAMBOS István – TÜRK Attila (szerk.): *Eke mentén, csata nyomában. A mohácsi csata kutatásának legújabb eredményei. Tanulmánykötet Szűcs József tiszteletére*. Studia ad Archaeologiam Pazmaniensia 17. Budapest, 2020. 121–143.
- BERTÓK–NEMÉNYI–SIMON 2023: BERTÓK Gábor – NEMÉNYI Réka – SIMON Béla: Az 1526. évi mohácsi csatához köthető tömegsírok felfedezésének története és a III. számú tömegsír új feltárásának eredményei In: VARGA Szabolcs (szerk.): *Elsüllyedt Mohács. Újabb tanulmányok a mohácsi csatával kapcsolatos kutatások eredményeiről*. Budapest, 2023. 9–19.
- BERTÓK–POLGÁR 2011: BERTÓK Gábor – POLGÁR Balázs: A mohácsi csatátér és a középkori Földvár falu régészeti kutatása. *Hadtörténelmi közlemények* 124:3 (2011) 919–928.
- GALBÁCS 2015: GALBÁCS, Gábor: A critical review of recent progress in analytical laser-induced breakdown spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 407 (2015) 7537–7562.
- GOMES ET AL. 2018: GOMES, Susana Sousa – ARAÚJO, Maria Fátima – SOARES, António M. Monge – PIMENTA, João – MENDES, Henrique: Lead provenance of Late Roman Republican artefacts from Monte dos Castelinhos archaeological site (Portugal): Insights from elemental and isotopic characterization by Q-ICPMS. *Microchemical Journal* 141 (2018) 337–345.

- KUZMANOVIĆ ET AL. 2021: KUZMANOVIĆ, Miroslav – STANCALIE, Andrei – MILOVANOVIĆ, Dubravka – STAIU, Angela – DAMJANOVIĆ-VASIĆ, Ljiljana – RANKOVIĆ, Dragan – SAVOVIĆ, Jelena: Analysis of lead-based archaeological pottery glazes by laser induced breakdown spectroscopy. *Optics & Laser Technology* 134 (2021) 106599.
- LYMAN BULLET MAKING GUIDE. <https://www.scribd.com/document/369668741/Bullet-Making-Guide> (utolsó elérés: 2024. augusztus 24.)
- NEMÉNYI ET AL. 2023: NEMÉNYI Réka – HARAMZA Márk – GÖRFFY-VILLÁM Zsombor – BERTÓK Gábor: A III. számú tömegsír régészeti leletanyaga. In: VARGA Szabolcs (szerk.): *Elsüllyedt Mohács. Újabb tanulmányok a mohácsi csatával kapcsolatos kutatások eredményeiről*. Budapest, 2023. 21–52.
- PALÁSTI 2022: PALÁSTI Dávid Jenő: *Teljesítménynövelő technikák és analitikai módszerek fejlesztése a lézer indukált plazma spektroszkópiában*. Doktori értekezés, Szegedi Tudományegyetem, 2022.
- RAMAGE 1980: RAMAGE, C. Kenneth: *Lyman Cast Bullet Handbook*, 3rd Edition. Lyman Publications, 1980.
- RUAN ET AL. 2019: RUAN, Fangqi, ZHANG, Tianlong, LI, Hua: Laser-induced breakdown spectroscopy in archeological science: a review of its application and future perspectives. *Applied Spectroscopy Reviews* 54 (2019) 573–601.

DETERMINATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF BULLETS FOUND AT THE MOHÁCS PLAIN USING LIBS ANALYSIS

BALÁZS CSÓKA – PÉTER CSÓKA – ESZTER NAGY – VIRÁG NIKLAI – BORBÁLA MACHLIK –
GÁBOR GALBÁCS – DÁVID JENŐ PALÁSTI – GÁBOR BERTÓK – MÁRK HARAMZA

KEY WORDS: bullet, LIBS, chemical composition, history of weapons, archeometry, Mohács500

During the archaeological research of the 1526 Battle of Mohács performed by Janus Pannonius Museum (JPM), metal detectors were used to discover a significant number of metal objects, including lead bullets used in firearms. The physical properties and spatial dispersion of the bullets were recorded during the primary examination. In our study, we demonstrate how we obtained information primarily on the chemical composition of 74 bullets using LIBS analysis. Based on the results we sorted the samples into groups according to their composition. We also examined the compounds found on their surface. In addition, we collected data on the chemical inhomogeneity of the bullets by analysing their cross-sections. The three bullets found in Mass grave III. were analysed using LIBS as well. Afterwards, we searched for and found bullets from different locations with similar elemental composition.