

A Pécs, Jakab-hegy lelőhelyről előkerült vasbucák anyagvizsgálata

THIELE ÁDÁM

*gépészmérnök, egyetemi adjunktus, BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék
e-mail: thiele.adam@gpk.bme.hu*

MAJDÁN MIRA

*régész, Janus Pannonius Múzeum
e-mail: majdan.mira@jpm.hu*

TENA KARAVIDOVIĆ

*régész, Zágrábi Régészeti Intézet
e-mail: tkaravidovic@iarh.hr*

KIVONAT: 2023 októberében a Janus Pannonius Múzeum régészei a Pécs közelében lévő Jakab-hegyen egy 29 darabból álló, egyenként 1,7–4 kilogrammos vasbucákat tartalmazó depóra bukkantak. A depó valószínűleg a magaslat valamelyik vaskori megtelepedési korszakához köthető, a halomsírokat és a földvárakat építő kora vaskori Hallstatt kultúrához, vagy pedig a késő vaskori La Tène kultúrához.

A bucadepóból származó öt vasbucán egyszerű tömeg és sűrűségméréseket, a belőlük kivágott mintákon pedig metallográfiai vizsgálatokat és p-XRF vegyelemzéseket végeztünk, továbbá az egyik vasbucából próbakovácsolással egy 7.65 g/m³ sűrűségű vastömböt készítettünk.

Megállapítottuk, hogy a vasbucák kicsi, 25–35 cm-es medenceátmérőjű kohókban készülhettek, a kohóból kikerült nyersvastömböt még melegében, egyszer tömöríthették és még jelentős mennyiségben, kb. egyharmadnyi tömegarányban tartalmaznak salakot. Anyaguk jó minőségű, szennyező elemeket (P, As, Cu) nem tartalmazó, tiszta szénacél, kis vagy közepes széntartalommal (átlagosan kb. 0–0,4%), így a korban értékes alapanyagnak számíthattak, ennél fogva depóként való elrejtésük is indokolt lehetett.

Valószínű, hogy a vasbucák nem foszfordús (pl. a közeli Somogyban nagy mennyiségben előforduló) gyepvasércből készültek, hanem inkább a környéken fellelhető másféle genetikájú, nem mocsári környezethez köthető vasércből állították őket elő, de az is lehet, hogy a lelőhelytől jóval távolabb készültek.

KULCSSZAVAK: vaskor, erődített telep, depó, vasbuca, anyagvizsgálat, vasgyártás, félkész termék

The metallurgical examination of the iron blooms from Pécs, Jakab-hegy site

SUMMARY: In October 2023, archaeologists from the Janus Pannonius Museum discovered a depot containing 29 iron blooms, each weighing 1.7–4 kilograms, on the Jakab-hegy near Pécs. The depot might be linked to the Iron Age settlement horizons

*Lektorálta: Dr. habil. Fekete Mária PhD.

on the hill, either the Early Iron Age Hallstatt culture associated with the remains of tumuli and earthworks, or to the Late Iron Age La Tène culture.

Bulk mass and density measurements, metallographic examinations (optical microscopy), and compositional analyses (p-XRF) were performed on samples cut from five blooms from the depot. In addition, experimental forging was carried out on one of the blooms, producing an iron bar purified to a density of 7.65 g/cm^3 .

It was established that the iron blooms could have been produced in small smelting furnaces with an inner hearth diameter of 25–35 cm, that they may have undergone a single compaction immediately after removal from the furnace, and that they still contain a significant amount of slag, approximately one third by weight. Their material is high-quality, pure carbon steel, free of elements that could affect its mechanical properties (P, As, Cu), with a low to medium carbon content (on average approximately 0–0.4%). They must therefore have been regarded as a valuable raw material at the time, which may explain why they were concealed in a depot.

The provenance of the ores used and the location of smelting remain uncertain; however, some ore sources can potentially be excluded, such as phosphorus-rich bog iron ore, which occurs in large quantities in nearby Somogy.

KEYWORDS: Iron Age, fortified settlement, depot, iron bloom, metallurgical examination, iron production, iron semi-products



1. Bevezetés

A Janus Pannonius Múzeum régészei 2023 októberében a Pécs közelében lévő Jakab-hegyen két új depóleletre bukkantak a kora vaskori földsánctól nyugatra, egy lapos területen. Az egyes számú depó a késő bronzkori Urnamezős kultúra megtelepedéséhez kapcsolható, hiszen a korszakban általánosan használt tokos-füles baltát, valamint hét darab nyitott végű karperecet tartalmazott, melyek közül háromt szándékosan feldaraboltak. A bronztárgyakat egy hasáb alakú kő alá rejtették, valószínűleg egy szakrális cselekmény során.

A kettes számú depó nagyobb meglepetést okozott, hiszen ebből 29 darab, egyenként 1,7–4 kilogrammos vasbucsa került elő. A bucsák kettősgúla alakban voltak egymásra halmozva egy sekély gödörben – a legfelső három buca gyakorlatilag a felszínen hevert, modernkori bolygatás eredményeként. Ez a depó jó eséllyel valamelyik vaskori megtelepedési horizonthoz köthető, a halomsírokat és a földvárat építő kora vaskori Hallstatt kultúrához, vagy pedig a késő vaskori La Tène kultúrához.

A kárpát-medencei vashasználat kezdeteiről viszonylag keveset tudunk, eleinte ritka és nagy értéket képviselő vastárgyak jelzik az új alapanyag megjelenését, és jóval kevesebb lelet köthető a vasgyártáshoz ma-



1. ábra: A bucadepó feltárás közben.

Fotó: Györffy-Villám Zsombor

Fig. 1.: The bloom depot during excavation.

gához. A legkorábbi ismert vasbuca a Kárpát-medencéből egy, a késő bronzkori Kyjati-ce kultúrához köthető településről származik. A mai Szlovákia területén fekvő Tornaľa/Tornalja lelőhelyét a Ha B3 időszakra, vagyis az i.e. 9. századra kelteznek.¹

A Jakab-hegyihez hasonló vasbucadepó Magyarországon csak Dédestapolcsány-Májinka-Verebce tető (Borsod-Abaúj-Zemplén vm.) lelőhelyről került elő eddig, ennek vizsgálatát jelenleg az ELTE Régészettudományi Intézete koordinálja. A lelőhelyen a csúcsok (Dédesi vár és Kisvár) és a déli oldalon található gerinc (Verebce-bérc) mindkét oldalán teraszosan kialakított lakósíkok, a késő bronzkortól a késő vaskorig datálható ház-helyek vannak. A déli gerinc területén több vasdepó is előkerült, a bennük talált, erősen tisztított bucák első publikációja 2011-ben történt, amikor a leletek korszakba sorolása még bizonytalan volt.² Újabb kutatások azóta számos, nagyjából 30, a kora vaskorhoz köthető, félkész vastermék és vastárgy lelőhelyet hoztak napvilágra a Kárpát-medencében.³

A dédestapolcsányi lelőhelyen talált, körülbelül 1 kg-os (átlagos súly 1,54) félkész darabok többségének két lapos vágott felülete volt, ami arra utal, hogy a nagyobb, 5–8 kg súlyúra becsült félkész termékeket szét darabolták. A vizsgált bucadepóban összesen 96 darab félkész vastermék került elő, amelyek a Kr. e. 7. század végére – Kr. e. 6. század elejére datálhatók, ezekből több darabot metallográfiai elemzésnek vetettek alá.⁴ Az elemzés megállapította, hogy ezeket valószínűleg jelentősebb tömörítésnek vetették alá, tömörségüket tekintve a buca és a nyersvas tömb között helyezkednek el. A Verebce-bérc lelőhelyről előkerült bucák egy részének további térfogatsűrűség-elemzése megerősítette a feltevést, miszerint egy újramelegített, nagyobb mértékben tisztított féltermékről volt szó, amelynek sűrűsége körülbelül 6 g/cm³.⁵

2. A lelőhely

Pécs, Jakab-hegy őskori lelőhelye viszonylag régóta ismert a magyarországi régészeti kutatásban, hiszen a többkorszakú lelőhelyen a nagy kiterjedésű földvár, a halomsírmező és egy középkori pálos kolostor maradványai szabad szemmel is könnyen megfigyelhetők. Általában nagyobb figyelemmel fordultak a kutatók a hegyen található pálos kolostor romjai felé, hiszen ezek még jól láthatók voltak a 19. században is, illetve mivel az egyetlen magyar alapítású szerzetesrend egyik első rendházaként élt a köztudatban. Az őskori település-temető együttes majd csak a 20. században kerül jobban az érdeklődés előterébe.

Dr. Horváth Antal, pécsi ügyvéd, gyűjtő és amatőr régész először az Archaeológiai Közleményekben hívta föl a figyelmet a Jakab-hegyi sáncokra, melyeket a réz- vagy vaskorból származónak tart.⁶ Kevéssel később az Archaeológiai Értesítőben rövid leírást közölt a lelőhelyről, ahol kifejtette, hogy a földművek nem tartozhattak a pálos rendi kolostorhoz, a belőlük előkerült edényekről megállapította, hogy nem korongon készültek, de nem tudta pontosabban időszakhoz vagy kultúrához kötni őket.⁷ A halomsírmezőről nem tett említést – úgy tűnik, annak meglétéről nem volt tudomása.

¹ PLEINER 2000, 25.

² TÖRÖK et al. 2011.

³ SZABÓ et al. 2022.

⁴ TÖRÖK et al. 2024.

⁵ KARAVIDOVIĆ – THIELE 2026.

⁶ HORVÁTH 1871, 62.

⁷ HORVÁTH 1878, 190.

Juhász László pécsi ügyvéd és műgyűjtő, amatőr régész 1894-ben kiadott rövid összefoglaló művében bronzkori eredetűnek tartotta a Jakab-hegyi telepet, melynek kialakulását a kelták bevándorlásához kötötte – a hódítók elől a hegyekbe menekült eredeti pannon őslakosság védművének tekintette azt.⁸

Az 1930-as években Csalogovits József a Dunántúli Naplóban közölt egy cikket a sáncokról, ahol a halomsírokat is megemlítette, ebben késő bronzkori-kora vaskori lelőhelyként hivatkozik a Jakab-hegyre.⁹

Egy évtizeddel később, 1947–48 során Török Gyula, a pécsi városi múzeum igazgatója végzett ásatásokat a lelőhelyen.¹⁰ Török feltárásainak nyomán derült fény arra, hogy a halmok biztosan a kora vaskor időszakára tehetők – ekkor kerültek elő azok a tárgyak (bimetál tör, vas balta, vas lándzsahegy), melyek a Kárpát-medencei vashasználat egyik legkorábbi horizontjához tartoznak, a Ha B3-C periódusba.¹¹

Később Maráz Borbála, a Janus Pannonius Múzeum régésze 1976 és 1999 között folytatott kutatásokat a lelőhelyen, ahol egy főleg tört tárgyakat tartalmazó, több száz darabos bronzdepót sikerült megmentenie rögtön az első ásatási évben.¹² A depó a késő bronzkori Urnamezős kultúra idejére tehető.¹³ Maráz ásatása során megtörtént a sánc átvágása a nyugati oldalon, emellett pedig föltárt 32 halomsírt, illetve számos kutatóárkot is nyitott. (2a. ábra)

Török és Maráz leletközlései nyomán vált elfogadottá, hogy a Jakab-hegy a késő bronzkor és a kora vaskor folyamán hatalmi centrum lehetett, az elit lakhelyeként és bronzművesség központjaként is funkcionálhatott. Az ilyen típusú magaslati (erődített) településeken gyakran kerülnek elő különböző depók, melyeknek elrejtését szakrális és profán okokkal is szokták magyarázni.¹⁴ Mindkét időszakban főleg bronz, ritkábban arany tárgyak kerülnek deponálásra, a vastárgyak ilyen leletegyüttesekben igen ritkának számítanak.¹⁵

A település és a halomsírmező térhasználatához fontos adatokat szolgáltatott, hogy a Janus Pannonius Múzeum régésze, Gáti Csilla kezdeményezésére az Arcland projekt keretében elkészült a lelőhely légi lézerszkennelése 2012-ben.¹⁶ Szintén nevéhez fűződik a terület talajtani mintavételezése, melyet Pető Ákos közreműködésével végzett el. Eből kiderül, hogy a halomsírok építéskor a hegyen egy igen vékony termőtalaj-réteggel, illetve egy a mainál nyíltabb vegetációval (tiszással, legelőerdővel) számolhatunk.¹⁷

Egyelőre kérdéses, hogy az előkerült bucák konkrétabban a település melyik vaskori időszakához köthetők. A depó helye alapján jelenleg inkább a kora vaskort tartjuk valószínűbbnek, hiszen a fentebb már említett, 1976-ban előkerült depóelet ugyanúgy a sánctól nyugatra elhelyezkedő, laposabb területen került elő.¹⁸

⁸ JUHÁSZ 1894, 18-19.

⁹ CSALOGOVITS 1932, 4.

¹⁰ TÖRÖK 1950, 5.

¹¹ GAZDAPUSZTAI 1967, 318; MARÁZ 1978, 152.

¹² MARÁZ 1977, 11. A depót a munkagépek által bolygatott erdészeti úton szabad szemmel fedezte föl Horváth László régész.

¹³ MOZSOLICS 1985, 171.

¹⁴ V. SZABÓ 2019, 21.

¹⁵ A kilencvenes években a sáncon belülről már kerültek be szórvány vasbucák a Janus Pannonius Múzeum gyűjteményébe, ám ezeket akkor nem kezelték depóeletként és a továbbiakban nem foglalkoztak a vizsgálatukkal.

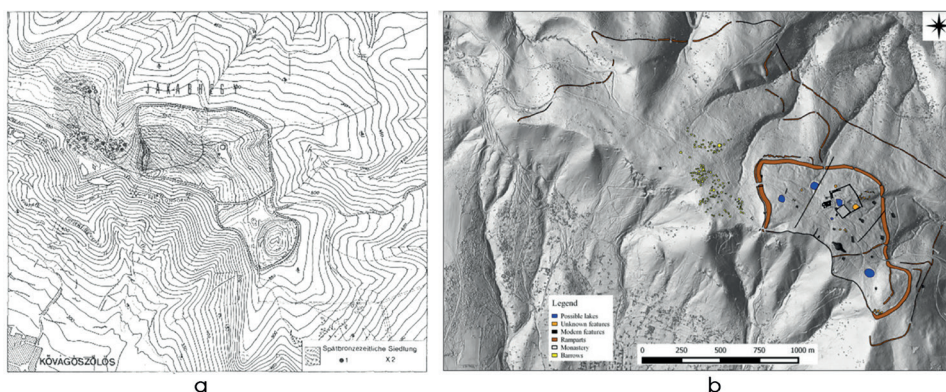
¹⁶ BERTÓK – GÁTI 2014, 123.

¹⁷ PETŐ – GÁTI 2016, 20.

¹⁸ MARÁZ 2013, 71.

A lelőhely késő vaskori használatáról egyébként jóval kevesebb információval rendelkezünk, ami persze a kutatás sajátosságaiból is fakad, hiszen a fókusz nem ezen a megtelepedési horizonton volt korábban. Mindenesetre egyelőre úgy tűnik, hogy talán kevésbé intenzív használattal számolhatunk a késő vaskor idején.¹⁹ Késő vaskori deponálással kapcsolatban csak egy teljesen eltérő típusú nyomunk van a Jakab-hegyről, méghozzá egy i.e. 2–1. századi ezüst éremkincs formájában.²⁰

Azon felvetés megoldásában, hogy melyik vaskori megtelepedéshez köthetőek a bucák, szerepet játszhatnak az anyagvizsgálatok, melyeket 2024 folyamán végeztünk el, és amelyeknek eredményeit jelen cikkben közöljük.



2. ábra: a) A Lelőhely térképe Maráz 1979 nyomán.

b) A Lidar-eredmények értelmezett térképe Gáti 2017 nyomán

Fig. 2.: a) Map of the site after Maráz 1979.

b) Interpreted map of the Lidar results after Gáti 2017

3. A vasbucák anyagvizsgálati eredményei és értékelésük

Szemrevételezés alapján a Jakab-jegyi bucadepó 1,7–4 kg tömegű vasbucái hasonló, többnyire vastag korong alakúak, és kézi becsléssel a sűrűségük is hasonló. A felületüket laza vashidroxidos korróziós termékek és homokos, agyagos tapadványok borítják.

A 29 vasbucából öt olyat választottunk ki további anyagvizsgálatokra (ld. 3. ábra), amelyek tömegükben, alakjukban és sűrűségükben nagyobb eltéréseket mutattak. Tömegük 2,4 kg és 3,6 kg között változik. A tárgyak testsűrűségét az Arkhimédész-féle vízkiszorítási módszerrel számítottuk ki. A sűrűségük 3,5 és 4,75 g/cm³ között változik. A tömörítési eljárások szisztematikus kísérleti vizsgálatával kapott eredmények szerint a mintákból meghatározott sűrűségek azokba az elvárt tartományba esnek, melyek azt jelzik, hogy a bucák valószínűleg vagy tömörítetlenek, vagy közvetlenül a kohósítás után, további izzítás és tisztítás nélkül tömörítették őket.²¹ A legnagyobb, 4,75 g/cm³-es (394/22) sűrűségű minta megközelíti a korábbi kísérleti vizsgálatok során fakalapáccsal történő tömörítéssel elért sűrűségi küszöbértéket, ami arra utal, hogy

¹⁹ MARÁZ 2013, 87.

²⁰ MAJDÁN 2020, 36.

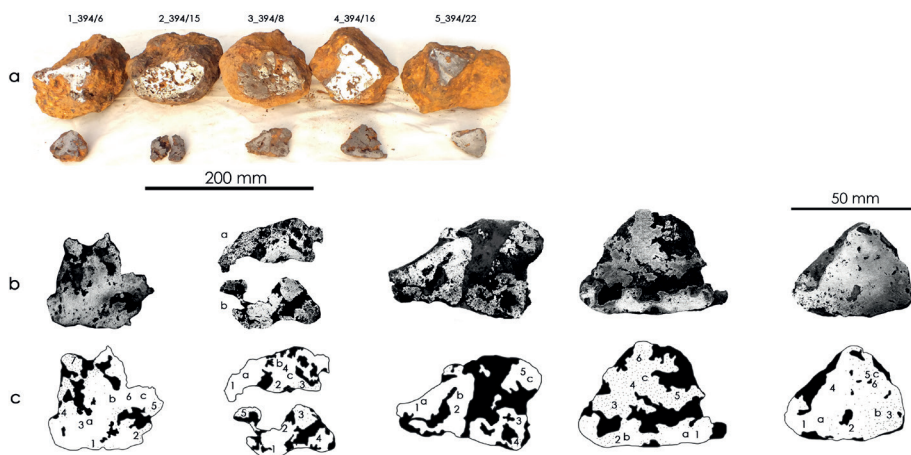
²¹ KARAVIDOVIĆ – THIELE 2026.

a minta valamivel hatékonyabb tömörítésen vagy nagyon korlátozott mértékű újraiz-
zításon esett át. A tömörítést fakalapáccsal végezhettk, amit a bucák külső felületei
is sugallnak, mert hiányoznak róluk azok a lapos, lekalapált felületek, mint amilyenek
vaskalapáccsal történő kezelés esetén maradnának. A vasbucák mérete továbbá arra
utal, hogy kisebb, körülbelül 25–35 cm-es medenceátmérőjű kohókban állíthatták elő
őket. A minták bizonyos fokú szabványosítást mutatnak, bár súlyban és sűrűségben
valamint az elért tömörítés szintjében apró különbségek vannak. Mivel a bucákat nem
izzították újra további tömörítés és tisztítás céljából, salaktartalmuk és porozitásuk (a
salak mellett üregeket, gázzárványokat is tartalmaznak) továbbra is viszonylag magas.



3. ábra: Az anyagvizsgálatra kiválasztott öt jakab-hegyi vasbucá
tömeg és sűrűségadatokkal. Fotó: Thiele Ádám

Fig. 3.: The five iron blooms from Jakab-hegy selected for material
testing with mass and density data.



4. ábra: a) a vizsgált vasbucákából kivágott minták. b) A minták polírozott és makroma-
ratott felülete. c) Sematikus ábra a széneloszlásról. A fémmikroszkópos képek helyei
számokkal, a p-xrf-es mérések helyei betűkkel jelölve.

Fig. 4: a) Samples cut from the examined iron blooms. b) Polished and macroetched
surface of the samples. c) Schematic diagram of the carbon distribution. The locations
of the metallographic microscope images are marked with numbers, the locations of
the p-XRF measurements are marked with letters.

Mind az öt bucából vett mintákat vízhűtéses fűrésszel vágtuk fel további elemzés céljából. A bucák mintavételezett részének felülete 10–20 cm² volt. A mintákon mikroszerkezeti vizsgálatot (optikai mikroszkópia) és összetételi analízist (p-XRF) alkalmaztunk. A mintákra jellemző főbb szövetelemek beazonosítása céljából a metallográfiai vizsgálatokat a szokásos módon polírozott és 2%-os nitállal maratott felületen fémmikroszkóppal (Olympus PMG-3) végezte Dr. Thiele Ádám.²² A kémiai összetétel meghatározását minden minta (kivéve a 2_394/15b) esetén három mérési pontban p-XRF műszerrel (Hitachi Expert Geo X-MET8000) végezte Prof. dr. sc. Sibila Borojevic Šoštarić és dr. sc. Tena Karavidović.²³ A p-XRF beépített kamerával rendelkezik, így lehetőség volt a fémes fázist tartalmazó felületek megcélzására, amelyek megfelelnek a metallográfiai vizsgált területeknek.

A metallográfiai vizsgálatok során az egyes területekről készített fémmikroszkópos képek a 1–6. táblán láthatóak a cikk végén. Az egyes területekre jellemző szövetszerkezeteket és a p-XRF-es mérések eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A metallográfiai és a vegy-elmezési eredmények a minták egyes területeire
Chart 1.: Metallographic and composition results for individual areas of the samples

Minta/ Sample	Terület/ Area	Szövetszerkezet/ Microstructure	Terület/ Area	Releváns elemek (tömeg%) Relevant elements (mass%)						
				Al	Si	P	Ca	Mn	Cu	As
1_394/6	1	Főleg ferrites, alul kevés perlit / Mostly ferritic, with little perlite at the bottom	a	2,13	1,73	0,05	0,15	0,20	0,01	0,01
	2	Ferrit-perlites, közepes széntartalom / Ferrite-perlite structure, medium carbon content	b	1,80	1,67	0,06	0,09	0,13	0,01	0,01
	3	Ferrites szövetszerkezet nagyon kevés perlit / Ferritic microstructure with very little perlite								
	4	Közepes széntartalmú területek, ferrithálós-tűs perlitzemcsékkel / Medium-carbon areas with ferritic network and acicular perlite								
	5	U.a. / Same as above								
	6	Alapvetően ferrites szövetszerkezet / Predominantly ferritic microstructure								
	7	Majdnem tisztán perlites szövet / Almost purely perlitic microstructure								
2_394/15a	1	Ferrites szövetszerkezet, salakos, korrodálódott / Ferritic microstructure, slaggy, corroded	a	3,04	3,51	0,05	0,42	1,47	0,01	0,00
	2	Ferrit-perlites szövetszerkezet, erős korrózió / Ferrite-perlite microstructure, strong corrosion	b	2,95	3,52	0,05	0,42	1,47	0,01	0,00
	3	Ferrit-perlites szövetszerkezet, erős korrózió / Ferrite-perlite structure, strong corrosion	c	2,59	2,60	0,06	0,29	0,90	0,01	0,00
	4	Főleg ferrit sok üreggel (gázzárvánnyal) / Mostly ferrite with many cavities (gas pores)								
2_394/15b	1	Tisztán ferrites szövetszerkezet sok wüstites salakkal / Purely ferritic microstructure with abundant wüstite-rich slag								

²² A BME Anyagtudomány és Technológia Tanszékén.

²³ Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering, University of Zagreb, MiningLE-FP kalibráció, 30mp-es időtartam.

2_394/15b	2	Erősen korrodálódott, tisztán ferrites szövetszerkezet / Heavily corroded, purely ferritic microstructure									
	3	Nagyobb széntartalmú terület perlit-szövetszerkezettel, kevés ferrittel / Higher-carbon area with perlitic microstructure, little ferrite									
	4	Tisztán ferrites, lazán szinterlődött szemcsék sok, wüstites salakban / Purely ferrite, loosely sintered grains in abundant wüstite slag									
	5	Perlit-szövetszerkezet kevés ferrittel / Perlite microstructure with little ferrite									
3_394/8	1	Ferrites szövetszerkezet kevés perlit / Ferritic microstructure with little perlite	a	2,29	2,64	0,10	0,57	0,30		0,00	
	2	Ferrites, zárványos szövetszerkezet / Ferritic microstructure with inclusions	b	2,36	3,90	0,15	0,18	0,15	0,00	0,01	
	3	U.a. / Same as above	c	1,28	1,15	0,16	0,10	0,06		0,01	
	4	Ferrites szövetszerkezet kevés perlit / Ferritic microstructure with little perlite									
	5	Ferrites, zárványos szövetszerkezet / Ferritic, microstructure with inclusions									
4_394/16	1	Ferrites szövetszerkezet kevés perlit / Ferritic microstructure with little perlite	a	3,24	0,91	0,02	0,10	0,42	0,01	0,00	
	2	Ferrit-perlit-szövetszerkezet / Ferrite-perlite structure	b	2,35	0,58	0,02	0,08	0,09	0,01	0,00	
	3	Tisztán perlit-szövetszerkezet kevés szekunder cementittel / Purely perlite microstructure with little secondary cementite	c	1,51	0,50	0,02	0,08	0,11	0,01	0,00	
	4	Perlit-szövetszerkezet / Perlite microstructure with network of secondary cementite									
	5	U.a. / Same as above									
	6	U.a. / Same as above									
5_394/22	1	Ferrites szövetszerkezet kevés perlit, kis széntartalom / Ferritic microstructure with little perlite, low carbon content	a	0,79	1,34	0,04	0,08	0,11	0,00	0,00	
	2	Widmanstättin-jellegű, ferrit-perlit-szövetszerkezet, közepes széntartalom / Widmanstättin-type, ferrite-perlite microstructure, medium carbon content	b	1,63	3,10	0,05	0,14	0,19			
	3	Perlit-szövetszerkezet kevés ferrittel / Perlite microstructure with little ferrite	c	0,43	0,38	0,04		0,05		0,00	
	4	Főként ferrites / Mostly ferritic									
5_394/22	5	U.a. / Same as above									
	6	Perlit-szövetszerkezet kevés eutektikummal a szemcsehatárokon / Perlite microstructure with little eutectic at grain boundaries									

A metallográfiai vizsgálatok alapján mindegyik vasbucsa anyaga szénacél, a szén eloszlása a vasbucáknál szokásos módon nagyon heterogén, így a kivágott minták nem tekinthetők az egész térfogatra reprezentatívnak. A 394/6 (I. tábla), 394/8 (IV. tábla), 394/15 (II. tábla) és 394/22 (VI. tábla) számú bucából származó minták főképpen ferrites, néhol ferrit-perlit-szövetszerkezetűek, tehát kicsi vagy közepes széntartalmúak (átlagosan kb. 0–0,3 %). A 394/16. számú minta (V. tábla) azonban a többihez képest

jóval nagyobb széntartalmú (átlagosan kb. 0,7–1 %), szövetszerkezete hipereutektoidos acélokra jellemzően a legtöbb helyen szekunder cementit hálós megjelenésű.

A megfigyelhető szövetelemek alapján mindegyik vasbuca normalizált hőkezeltésgé állapotú, azaz a melegalakítás hőmérsékletéről szabad levegőn hagyták lehűlni őket. A minták fémfázisa a vas mellett szénen kívül jelentős mennyiségben nem tartalmaz más elemet. Nagyobb mennyiségű foszfor- és/vagy arzén tartalom esetén megjelenő szövetelemek csak a 394/22-es minta esetén fordulnak elő, de ott is csak a 6-os terület egy kis részén. A minták mind nagyon salakosak (a legkevésbé a 394/22-es), a 394/8-as és 394/15-ös minta ráadásul erősen korrodálódott is (a 15-ös minta olyannyira, hogy a kivágás után nem maradt egyben), ez a porózus, salakos szerkezet jó összhangban van a sűrűségmérési eredményekkel. A korrózió bizonyos mértékig megváltoztathatja a sűrűségmérést a bucák elsődleges állapotához képest,²⁴ ami jó egyezést mutat a legtöbb korrodált minta legalacsonyabb mért sűrűségével az itt elemzett bucák közül.

A p-XRF mérések alapján elmondható, hogy egyik minta fémfázisa sem tartalmaz a vason kívül olyan elemeket, amelyek mennyisége a mechanikai tulajdonságokat befolyásolná vagy a szövetelemek szintjén is megjelenne, tehát a metallográfiai és vegyelemzéses vizsgálatok jó összhangban vannak. A fémfázisban a P és az As megjelenése a gypvasércből való kohósításra utalhat, mivel ezek az elemek gyakran nagyobb mennyiségben vannak jelen az ilyen típusú ércekben, és részben fémfázisban oszlanak el. Azonban ezek mennyisége nagyon alacsony, a méréshatár körüli értékű volt. Ezeken kívül korábbi kísérleti tapasztalatok alapján előfordulhat,²⁵ hogy a fémfázisban megjelenik a Cu, akár több %-os mennyiségben is. A Jakab-hegyi bucák esetén viszont a Cu-tartalom is rendkívül alacsony. Bár a méréseket olyan pontokon végeztük, ahol nagy, fémtiszta felületek voltak jelen, a bucavasban ilyen területeken mindig előfordulnak apró salakzárványok is. Ezért az 1. táblázatban a salakfázisban mért, legalább néhány tizedszázalékot elérő mennyiségben előforduló elemeket is felsoroltuk (Al, Si, Ca). Mivel azonban ezek az elemek nem oldódnak a fémfázisban, nem befolyásolják a fém mechanikai tulajdonságait.

Az anyagvizsgálati eredmények alapján valószínű, hogy a Jakab-hegyi bucák nem foszforban, arzénban vagy rézben gazdag vasércekből származtak. A Somogy megyében előforduló, kora középkorban használt gypvasérccek magas foszfor- és gyakran arzéntartalmúak. Rudabányán polimetallos lelőhelyek ismertek, ahol a réz az érckomplexumban a későbbi hidrotermális szulfidos lerakódás révén jelenik meg a vastartalmú karbonátos rétegekben és azok körül,²⁶ ami potenciálisan magyarázatot adhat a Cu megjelenésére az ottani anyagból készült kísérleti bucák fémes fázisaiban. Ez a magyarázat azonban nem tekinthető kizárólagosnak, mivel a véletlenszerűen kiválasztott és felhasznált ércek, illetve az egyes lelőhelyek geokémiai jellemzői eltérőek lehetnek. Bár a Jakab-hegyi bucákban felhasznált ércek eredete az elvégzett korlátozott geokémiai elemzések alapján nem határozható meg, az említett elemek hiánya a fémfázisokban kizárhatja ezeket az említett érceket, mint elsődleges erőforrásokat. A Mecsek hegységben, melynek a Jakab-hegy a részét képezi, vulkanikus és hidrotermális folyamatokhoz kapcsolódó,²⁷ üledékes vasérctelepeket azonosítottak, valamint limnikus ércek nyomaira bukkantak egy liász korú, széntartalmú összlet alján.²⁸ Ezeket

²⁴ Erről a feltételezésről lásd bővebben: KARAVIDOVIĆ – THIELE 2024.

²⁵ Pl. a rudabányai vaskalap ércek próbakohósításával kapott vasbucák esetén, melyeknek eredményei még nem kerültek publikálásra.

²⁶ NÉMETH et al. 2017.

²⁷ BUJTOR – SZINGER 2018, további hivatkozásokkal.

²⁸ POLLNER 1989.

azonban nem vizsgálták részletesen archeometallurgiai eredet szempontjából (beleértve a nyomokban és a ritkaföldfémeket), így egyelőre nem lehetséges a bucákkal fennálló kapcsolatot kimutatni.

A közeli Somogyban található gyepvasércekről tudjuk, hogy a regionális avar- és honfoglalás kori vaskohászat ércbázisául szolgáltak. Ezekből a nagy foszfortartalmú somogyi gyepvasércekből²⁹ a próbakohósítási tapasztalataink alapján a foszfor a vas és salakfázis közötti megoszlással részben a vasbucába kerül.³⁰ Ez jelentősen ronthatja a vas mechanikai tulajdonságait, melegen rövidülést okozhat, és az anyagot gyakorlatilag kovácsolhatatlanná teheti, míg hideg állapotban kifejezett ridegséget mutat,³¹ így az ilyen vasanyag csak alárendeltebb célokra lesz felhasználható.

A Somogyból ismert avar kori nagyméretű, kb. 10 kg-os, ékelt (és purgált) vasbucák³² és a kisebb, néhány kg-os honfoglalás kori vasbucák nagy foszfortartalmúak.³³ Bár a Jakab-hegyi vasbucák méretükben és sűrűségükben a Somogyfajszon talált honfoglalás kori vasbucákhoz nagyon hasonlóak,³⁴ a kémiai összetételük eltérő, előbbiek szénacélok, utóbbiak foszforvasak.

Összevetve a Jakab-hegyi és a verebce-bérci vaskori bucadepókat,³⁵ alapvető különbségként az látható, hogy az utóbbi depó kisebb méretű, darabolt, vágott, kovácsolásra jobban előkészített, kevésbé salakos, nagyobb, 5–6g/cm³ sűrűségű bucákat tartalmazott.³⁶ A korábbi anyagvizsgálatok eredményei alapján ezek a félkész termékek szintén tiszta szénacélok, az egyes minták mért széntartalma változó (kb. 0,4–0,9 tömeg%³⁷ és körülbelül 1 tömeg%³⁸), ami esetenként magasabb, néha pedig egészen hasonló, mint a Jakab-hegyi bucák esetében mért.

Párhuzamként meg kell még említeni a Regölyben feltárt kora vaskori halomból előkerült, bucamaradványként értelmezett töredéket is. Nemrégiben ezen is végeztek anyagvizsgálatokat, amelyek alapján a kérdéses vasbuca szintén tiszta szénacélnak bizonyult közepes széntartalommal.³⁹

Az ismert vaskori vas félkész termékek tehát kémiai összetételükben jól láthatóan különböznek a későbbi, avar és honfoglalás kori, általában nagy foszfortartalmú vasbucaleletektől, azoknál jobb minőségű, tisztább szénacéloknak mondhatók.

Anyagminőség szempontjából ezek lehettek és tekinthetők is jobb minőségű, tisztább szénacéloknak. A fentebbi adatok bizonyos mértékig a feldolgozásbeli különbségekre is utalhatnak, azonban a félkész termékek fémes fázisában található megnövekedett foszfortartalombeli különbségek elsősorban a vas elsődleges forrásaként használt ércekkel függenek össze. Mivel a vaskorból és a kora középkorból származó vasbucákról jelenleg publikált ismereteink meglehetősen korlátozottak, a hasonlóságok és különbségek átfogó elemzése is csak korlátozott mértékben lehetséges.

²⁹ KERCSMÁR – THIELE 2015, 56.

³⁰ THIELE 2011, 4.

³¹ THIELE – HOSEK 2015, 38.

³² TÖRÖK et al. 2018, 3.

³³ ÁGH – GÖMÖRI 1999.

³⁴ GÖMÖRI 2018, 81. 1. ábra; sűrűségmérésekhez ld.: KARAVIDOVIĆ – THIELE 2026.

³⁵ TÖRÖK et al. 2024; KARAVIDOVIĆ – THIELE 2026.

³⁶ KARAVIDOVIĆ – THIELE 2026, Table 4:18.

³⁷ TÖRÖK et al. 2024.

³⁸ TÖRÖK et al. 2011.

³⁹ TÖRÖK et al. 2022, 153.

4. Egy jakab-hegyi vashéscák próbakovácsolása

A sűrűségmérések azt mutatják, hogy a Jakab-hegyi vashéscák továbbra is jelentős mennyiségű salakot tartalmaznak. Annak tesztelésére, hogy a héscák valóban könnyen kovácsolható-e az anyagelemzések eredményeivel összhangban, a 394/16-os héscák választottuk ki egy kovácsolási kísérlethez. Azért erre a darabra esett a választás, mert az összes vizsgált héscák közül ennek volt a legmagasabb a széntartalma. A kísérlet célja az is volt, hogy meghatározzuk a héscák vastartalmát, azaz a gyakorlatban a belőle kovácsolható vastömb méretét, valamint a szén eloszlását a kapott tömbben. A héscából Ajax 2 rugós kalapáccsal készült a kovácsolt vastömb.⁴⁰

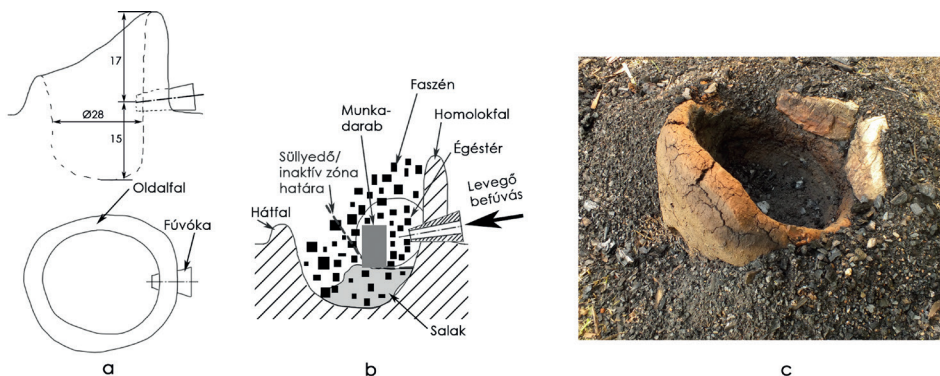
A héscák hevítése a szokásos oldalszeles kovácsstűzhelyben 12–25 mm és 25–50 mm frakciójú faszénkeverékkel és 200–500 liter/perces levegőtérfigatáram mellett történt (5. ábra). A kísérlet során a gyors és kevés hevítés miatt a leégési veszteségek minimálisnak voltak tekinthetők, azaz a vashéscák csak elhanyagolható része salakult el. A vashéscák jól kovácsolható volt, szennyezőelemek jelenlétére utaló melegtörékenységek nem voltak tapasztalhatóak (az anyagvizsgálati eredményekkel összhangban). Az 1988 g kezdeti tömegű⁴¹ és 4,37 g/cm³ sűrűségű héscából öt hevítési ciklus után 42 perc alatt készült el a vastömb. (ld. 6. ábra). A vastömb tömege 1231 g, sűrűsége pedig 7,65 g/cm³ lett, ami azt jelenti, hogy az eredeti héscák vastartalma kb. 60 tömeg% volt, azaz bő egyharmadnyi tömegarányban tartalmazott még salakot. A hasonló sűrűség miatt hasonló vastartalom feltételezhető a többi vashéscák esetében is.

A vastömb felületét fémtisztára csiszolva 10%-os nitáttal történt makromaratás után láthatóvá vált a szén heterogén eloszlása (6c. ábra). A maratott felület alapján a széntartalom jellemzően alacsonynak mondható, egyes területek azonban nagy széntartalmúak. A metallográfiai vizsgálat alapján nagy széntartalmúnak gondolt vashéscák tehát inkább kicsi vagy közepes (kb. 0–0,4%-os) széntartalmú. Ezek alapján is érthető, hogy a heterogén kémiai összetételű vashéscák anyagvizsgálata során egy kis felület vagy térfogatrész nem feltétlenül reprezentálja az egész mintát, nem vonhatók le biztos következtetések a teljes térfogatra vonatkozóan. Továbbá látható, miért volt szükséges a héscák anyagok többszöri hajtogatással és kovácshegesztéssel (gyakorlati tapasztalatok alapján 4–6 hajtás már a lehetővé teszi a széntartalom diffúzióval megvalósuló kiegyenlítését) történő homogenizálása, amennyiben nem egy alárendelt célra szánt tárgy elkészítéséhez használták fel. Ez az általános technika a kovácshegesztési vonalról sokszor jól felismerhető kés- és kardpengékhez felhasznált nagy széntartalmú héscák anyagoknál.

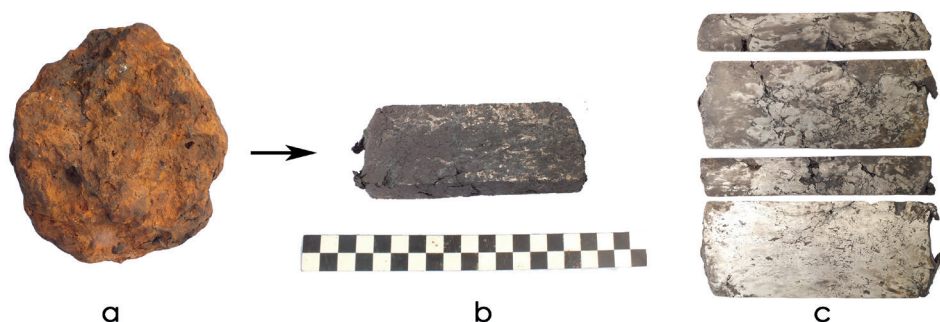
⁴⁰ Erről ld. ezt a Facebook posztot: https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=pfbid02Nf1Q-VCPzg4QTPuQUCCpT78WqrcQMCWkYbQ8mZEK7i1Bh1utaMCE6ihXPEBriQiXI&id=100057387522969

⁴¹ A tömeg- és sűrűségértékek a mintavétel (3. ábra) és a felületre tapadó korróziós termékek lekaparása miatt eltértek a közölt értékektől.

⁴² A revés felület az acél megalakítása (hengerlés, kovácsolás) során keletkező, oxidokból álló kemény, rideg réteggel fedett fémfelület. Ez a réteg (reve) káros a további megmunkálásra, növeli a szerszámkopást, ezért felületkezelés vagy mechanikus tisztítás (=revétlenítés) során el kell távolítani.



5. ábra: A kovácsolási kísérlet során használt oldalszeles kovácstűzhely. Fotó: Thiele Ádám
Fig. 5: The side-blown smithing hearth used during the forging experiment.



6. ábra: A 394/16-os vasbuca vastömbbé kovácsolása. a) A vasbuca. b) A kikovácsolt, még revés felületű vastömb. ⁴² c) A maratott vastömb, amelynek felületén jól látható a heterogén széneloszlás. Fotó: Thiele Ádám

Fig. 6.: Forging the 394/16 iron bloom into an iron block. a) The iron bloom. b) The forged iron block still with a rough surface. c) The etched iron block, on whose surface the heterogeneous carbon distribution is clearly visible.

5. Összegzés

A Jakab-hegyi depóból származó öt vasbuca anyagvizsgálatai és az egyik vasbuca próbakovácsolása alapján az alábbi megállapításokat tesszük:

– A Jakab-hegyi 1,7–4 kg-os vasbucákat (próbakohósítási tapasztalataink szerint) kicsi, 25–35 cm-es belső medenceátmérőjű kohókban állíthatták elő, a vizsgált bucák a kb. 3,5–4,5 g/cm³-es sűrűségértékek alapján csak egyetlen tömörítést kaphattak a kohóból kievett melegükben, ⁴³ így még jelentős mennyiségben, kb. egyharmadnyi tömegarányban tartalmaznak salakot, pl. a 394/16-os vasbuca kovácsolási kísérlete alapján az eredeti buca vastartalma kb. 60% volt.

– A vizsgált vasbucák anyaga jó minőségű, szennyező elemeket (P, As, Cu) nem tartalmazó, tiszta szénacél kis vagy közepes széntartalommal (átlagosan kb. 0–0,4%).

⁴³ A kohóból kievett (kinyert), még magas hőmérsékletű fém kezelése, megmunkálása és hűlése a kohászat egyik legfontosabb folyamata, amely nagyban meghatározza majd a végtermék tulajdonságait.

A vasbucákból kivágott minták és a próbaként kikovácsolt vastömb széneloszlása is nagyon heterogén volt.

– Valószínű, hogy a vasbucák nem foszfordús (pl. a közeli Somogyban nagy mennyiségben előforduló) gypvasércből készültek, hanem inkább másféle geokémiai jellemzőkkel rendelkező ércforrásból származhatnak. A Mecsek hegységben már régóta ismertek vulkanizmushoz és hidrotermális folyamatokhoz kapcsolódó üledékes vasérctelepek, illetve limnikus ércek nyomai is. Az is lehetséges, hogy a bucákat a Jakab-hegyi lelőhelytől távolabb készítették.

– Összevetve a Jakab-hegyi és a verebce-bérci vaskori bucadepót, alapvető különbségeként az látható, hogy az utóbbi depó főleg kisebb, kb. 1 kg-os méretűre darabolt, vágott, kovácsolásra jobban előkészített, kevésbé salakos, nagyobb, 5–6g/cm³ sűrűségű szintén tiszta szénacél anyagú, de nagyobb széntartalmú, tehát értékesebbnek tekinthető vasbucákat tartalmaz.

Általánosságban tehát elmondható, hogy az eddig ismert vaskori vasbucák kémiai összetételükben jól láthatóan különböznek a későbbi somogyi, avar és honfoglalás kori, általában nagy foszfortartalmú vasbucaleletektől, jobb minőségű, tisztább szénacéloknak mondhatók. A Jakab-hegyről származó bucák jobban hasonlítanak más lelőhelyekről ismert kora vaskori darabokhoz a felhasznált vasérc lehetséges típusa és a vas eredendő anyagminősége tekintetében, azonban jelentősen eltérnek a félkész termékek tekintetében – a kezdeti bucák méretében és súlyában, valamint a tömörítés eltérő szintjében.

A bucák datálásánál mindenképpen fontos tényként kezelendő, hogy a depót a Jakab-hegynek egy olyan területén találtuk, ahol korábbi, Ha A-B korszakba tartozó deponálási tevékenységről is tudomásunk van.

Mindezek alapján feltételezzük, hogy a 2023-ban előkerült vasbucák inkább a kora vaskori megtelepedéshez köthetőek, bár ennek bizonyításához természetesen még további vizsgálatokra is szükség lesz.

Synthesis

In October 2023, field survey conducted by an archaeological team of the Janus Pannonius Museum at the Jakab-hegy site near Pécs uncovered a remarkable iron hoard consisting of 29 iron blooms, each weighing between 1.7 and 4 kg. The deposit was found west of the Early Iron Age earthwork, arranged in a shallow pit in a deliberate double-pyramidal stack. Because Jakab-hegy is a multi-period fortified site with both Early Iron Age Hallstatt and Late Iron Age La Tène occupation horizons, the exact dating of the hoard remains uncertain, although the archaeological context and current evidence suggest a stronger connection with the earlier Iron Age settlement phase.

The site of Jakab-hegy has long been recognized as one of the major prehistoric hilltop centres in southern Transdanubia. Research history has shown that it functioned as an important settlement and burial landscape from the Late Bronze Age into the Iron Age, with monumental earthworks, tumuli, and evidence of elite activity. Hoards are already known from the site, particularly bronze deposits associated with Late Bronze Age and Early Iron Age ritual or economic practices, but the discovery of a large iron semi-product hoard is exceptional. Comparable finds are extremely rare in Hungary, making the Jakab-hegy deposit especially significant for the study of early iron production, storage, and circulation in the Carpathian Basin.

To investigate the technological character of the hoard, five blooms were selected for detailed analysis from the total assemblage of 29. These samples were chosen to

represent variation in shape, mass, and volume. Analytical work included bulk mass and density measurements, metallographic examination by optical microscopy, and portable XRF compositional analysis of cut samples. In addition, one bloom was experimentally forged into an iron billet in order to test forgeability, estimate metallic iron yield, and assess the relationship between bloom structure and final usable product.

The density measurements of the five analysed blooms produced values between approximately 3.5 and 4.75 g/cm³, indicating a relatively low degree of post-reduction processing. When compared with previous experimental work on bloom compaction and purification, these values suggest that the Jakab Hill pieces represent minimally processed blooms: they were probably only compacted, while still hot immediately after extraction from the furnace, with a wooden hammer, and were not reheated for more intensive refining. Differences in bulk density measurement showcase somewhat different levels of achieved compaction. Their morphology and surface appearance support this interpretation, as they lack the flattened hammering traces expected from more substantial forging with iron tools. On this basis, the blooms are interpreted as semi-finished raw products still containing substantial slag and porosity. Their size further suggests production in relatively small bloomery furnaces with inner basin diameters of around 25–35 cm.

Metallographic examination demonstrated that the metallic phase of all analysed specimens consists of bloomery carbon steel with strongly heterogeneous carbon distribution, typical of direct-reduction iron. Most samples displayed ferritic or ferrite-pearlite microstructures corresponding to low- to medium-carbon steel, generally around 0–0.3/0.4% carbon. One sample initially appeared more carbon-rich, with microstructures characteristic of hypereutectoid steel and local carbon contents estimated at approximately 0.7–1%. However, the subsequent forging experiment showed that this specimen, too, was heterogeneous overall and that the bloom as a whole was better characterized as low- to medium-carbon steel. This underlines an important methodological point: small metallographic samples may not be fully representative of the average composition of an entire bloom, since carbon distribution within bloomery iron can vary significantly over short distances.

All samples contained abundant slag inclusions and pores, consistent with the density data and confirming that the blooms were still in a relatively raw state. In spite of this, the metallic phase proved to be of high quality. Portable XRF analyses detected no significant levels of phosphorus, arsenic, or copper in the metal. These impurities are archaeometallurgically important because elevated phosphorus and arsenic can indicate the use of bog iron ores such as those found in Somogy region and can strongly affect workability, while copper may reflect polymetallic ore sources such as Rudabánya. Their near absence in the Jakab-hegy blooms indicates that the metal was made from another type of ore and would have had good forging properties.

The forging experiment confirmed this interpretation. One bloom with an initial mass of 1988 g and a density of 4.37 g/cm³ was forged in a side-blown hearth using charcoal fuel and an Ajax spring hammer. The bloom proved readily forgeable, with no signs of hot shortness or brittleness, supporting the analytical conclusion that harmful impurity levels were low. After five heating cycles over 42 minutes, the bloom was converted into an iron billet weighing 1231 g with a density of 7.65 g/cm³. This demonstrated that the original bloom contained roughly 60% metallic iron by mass and just over one-third slag. By analogy, a similar iron yield may be assumed for the other blooms in the hoard. Macro-etching of the forged billet again showed markedly uneven carbon distribution, confirming that repeated folding and forge-welding

would have been necessary if such material were to be transformed into more homogeneous, higher-performance tools or weapons.

The compositional results also have implications for provenance. Because bog iron ores from nearby Somogy are known to be phosphorus-rich and often arsenic-bearing, and because such signatures are absent in the Jakab-hegy blooms, it is unlikely that these ores were used. Likewise, the very low copper content argues against certain polymetallic ore sources. This suggests that the blooms were instead produced from a different type of ore, perhaps from non-bog deposits in the broader region, potentially including ores from the Mecsek Mountains, although current archaeometallurgical data are not yet sufficient to establish provenance securely. It also remains possible that the blooms were produced at a more distant location and transported to the Jakab-hegy site.

Comparison with other iron semi-products from the Carpathian Basin highlights both similarities and differences. The Early Iron Age semi-products from Dédestapolcsány–Verebce-bérc are technologically related in that they are also bloomery carbon steels, but they differ in form and processing history. Those pieces are smaller, often cut from larger blooms, and appear to have undergone reheating and more extensive refining, resulting in higher densities around 5–6 g/cm³. The Jakab-hegy material, by contrast, represents larger, less-purified blooms in an earlier stage of post-reduction treatment. At the same time, the Jakab-hegy blooms differ clearly from many iron semi-products from Somogy found in Avar- and Hungarian Conquest-period material, which frequently contain high phosphorus and are thus chemically and technologically distinct. In this broader perspective, the Jakab-hegy hoard fits more closely with the currently known Iron Age tradition of producing relatively pure carbon-steel blooms, at least in the wider geographical area of Carpathian Basin.

Overall, the Jakab-hegy deposit represents a rare and important assemblage of Iron Age iron semi-products. The blooms were produced as relatively standardised raw materials in small furnaces, subjected only to limited post-smelting compaction, rich in slag and porosity. Despite this, the metallic component was of good quality: low- to medium-carbon steel, without elevated elements that could affect mechanical properties, and readily forgeable. These characteristics imply that the objects represented valuable stored metal, which helps explain their intentional concealment in a hoard. Although absolute dating remains unresolved, the technological character of the material, together with the depositional history of the area, suggests that the hoard is more likely associated with the Early Iron Age occupation of the Jakab-hegy site than with the Late Iron Age horizon. The find therefore contributes not only to the study of bloomery technology and iron semi-products, but also to broader questions of storage, value, and metallurgical practice in Iron Age fortified centres of the Carpathian Basin.

This work was supported by the Croatian Science Foundation through project Cultural Landscapes of Iron Metallurgy During Antiquity and the Early Middle Ages in the Sava and Drava River Basin – KulturFER [IP-2022-10-1846]

IRODALOMJEGYZÉK

- ÁGH, J. – GÖMÖRI, J. 1999: Investigation of materials from the Somogyfajsz workshop. In: Gömöri, J. (ed.): Traditions and innovations in the early medieval iron production. Sopron–Somogyfajsz, 30th May 1997–1st June 1997. Dunaújváros–Veszprém, 1999, 192–198.
- BUJTOR, L. – SZINGER, B. 2018: Micropaleontological observations on the Lower Cretaceous iron ore-related formations of the Mecsek Mts. (Upper Valanginian–Lower Hauterivian, South Hungary). *Central European Geology* 61/2 (2018) 136–159. <https://doi.org/10.1556/24.61.2018.08>

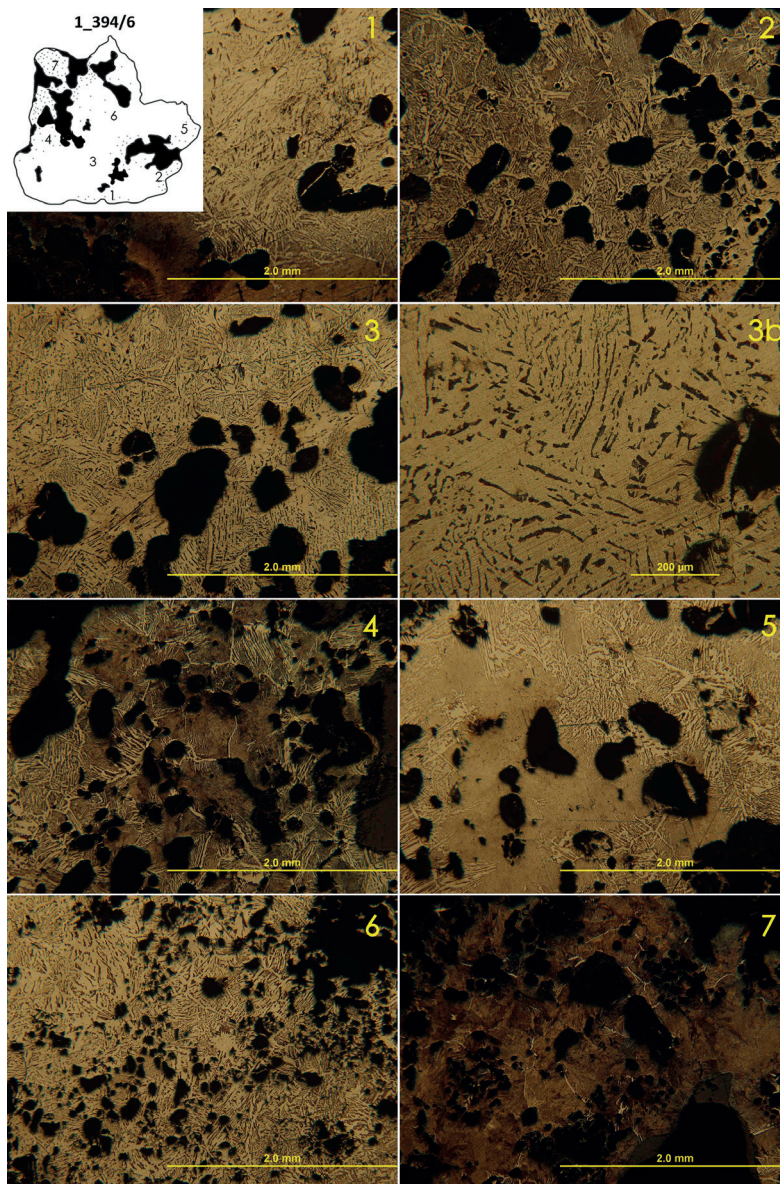
- CSALOGOVITS J. 1932: Őskori földvár a Jakabhegyen. *Dunántúl* 22/160 (1932) 4.
- GAZDAPUSZTAI, GY. 1967: Caucasian Relations of the Danubian Basin in the Early Iron Age. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 19 (1967) 307–334.
- GÁTI CS. 2017: Légi lézerszkennelés eredményei a Pécs melletti Jakab-hegyen. *Magyar Régészet Online* (2017) 11–20.
- GÖMÖRI J. 2018: Technológia-kontinuitási kérdések a somogyi vasvidék „izzó” vasbucái fényében. In: Varga M. – Szentpéteri J. (szerk.): *Két világ határán*. Kaposvár, 2018, 77–87. <https://doi.org/10.26080/krrmkozl.2018.6.77>
- HORVÁTH A. 1871: Pécsvidéki s egyéb leletek. *Archaeológiai Közlemények* 8 (1871) 60–62.
- KARAVIDOVIĆ, T. – THIELE, Á. 2026: Density-Based Classification and Iron Content Estimation of the Bloomery Iron Semi-Products: An Experimental Approach to Post-Reduction Technological Characterization. *Archeometriai Műhely* [in press].
- KERCSMÁR ZS. – THIELE Á. 2015: A belső-somogyi gyevasércek genetikája és geokémiai jellemzői, földtani és archeometallurgiai megközelítés alapján / Genetic types and geochemistry of bog iron ore deposits from Inner Somogy, from a geological and archaeometallurgical perspective. *Földtani Közlöny* 142/1 (2015) 53–71.
- MAJDÁN M. 2020: Elfeledett ezüstök. Görög érmek a pécsi Janus Pannonius Múzeum gyűjteményéből. In: Bíró Gy. – Pintér-Nagy K. – Sebenyi T. (szerk.): *Új nemzedék. A Szegedi Régészeti Tanszék tehetséggondozásának elmúlt évtizedei*. (Monográfiák a Szegedi Tudományegyetem Régészeti Tanszékéről 7.) Szeged, 2020, 29–60.
- MARÁZ, B. 1979: Zur Frühhallstattzeit in Süd-Pannonien. *A Janus Pannonius Múzeum Évkönyve* 23 (1979) 145–163.
- MARÁZ B. 1987: Későbronzkori magaslati település Pécs-Jakabhegyen (Előzetes közlemény az 1976–83. évi ásatásokról). *A Janus Pannonius Múzeum Évkönyve* 30–31 (1987) 39–64.
- MARÁZ B. 2013: Pécs története a késő bronzkortól a római foglalásig. In: Visy Zs. (szerk.): *Pécs története I. Az őskortól a püspökség alapításáig*. Pécs, 2013, 69–92.
- MOZSOLICS, A. 1985: Bronzefunde aus Ungarn. Depotfundhorizonte von Aranyos, Kurd und Gyermely. Budapest, 1985.
- PETŐ Á. – GÁTI CS. 2016: Adatok a Pécs-Jakabhegy területén végzett régészeti talajtani és topográfiai vizsgálatokhoz. *Magyar Régészet Online* (2016) 14–22.
- POLLNER, J. 1989: Ore mining exploration in Hungary between 1920 and 1945. In: Csiky, G. – Vitális, Gy. (eds.): *History of Mineral Exploration in Hungary until 1945*. Budapest, 1989, 25–30.
- PLEINER, R. 2000: *Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters*. Praha, 2000.
- SZÖNYI O. 1912: Történelmi emlékek a Mecseken. *A Mecsek Egyesület Évkönyve* 21 (1912) 87–102.
- THIELE Á. 2011: Az ércről a vastárgyig – a bucavaskohászat metallurgiája. *Bányászati és Kohászati Lapok. Kohászat* 144/1 (2011) 2–5.
- THIELE Á. – HOŠEK, J. 2015: Mechanical properties of medieval bloomery iron materials – comparative tensile and Charpy-tests on bloomery iron samples and S235JRG2. *Periodica Polytechnica. Mechanical Engineering* 59/1 (2015) 35–38. <https://doi.org/10.3311/PPme.7760>
- TÖRÖK B. – BARKÓCZY P. – KOVÁCS Á. – KÖLTŐ L. – FEHÉRA. – SZÓKE B. M. 2018: Pannóniai kora középkori ékelt vasbucák összehasonlító archeometriai vizsgálata. *Bányászati és Kohászati Lapok. Kohászat* 151/3 (2018) 1–4.
- TÖRÖK B. – BARKÓCZY P. – SZABÓ G. 2022: First Archaeometrical Approach of the Examinations of Iron Age Ferrous Fragments from Regöly and Bükbrány (Hungary) – The Inception of Iron Working in the Carpathian Basin. *Interdisciplinara Archaeologica* 13. (2022) 143–154. <https://doi.org/10.24916/iansa.2022.2.4>
- TÖRÖK B. – BARKÓCZY P. – SZABÓ G. 2024: Huge amounts of iron raw material from the Early Iron Age settlement of Dédestapolcsány-Verebce (N-Hungary) – a preliminary archaeometallurgical study. *Archeometriai Műhely* 21 (2024) 285–294. <https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2024-023>

TÖRÖKB. – KOVÁCSÁ. – P. FISCHL K. – BARTÁ ZS. – THIELE Á. 2011: Vasdepók problémája Mályinka-Verebce bécen, Archaeometria Anket, Budapest (poszter).

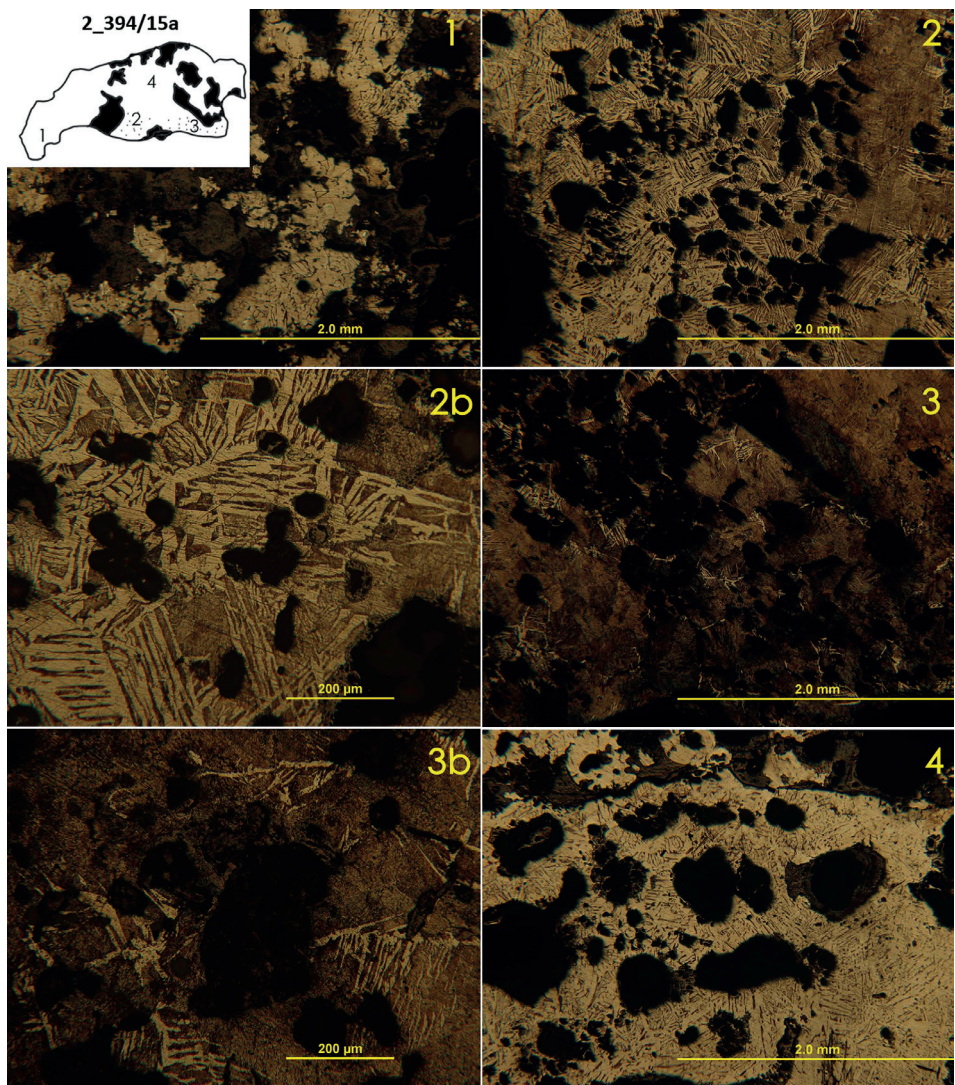
TÖRÖK GY. 1950: Pécs-Jakabhegyi földvár és tumulusok. Archaeologiai Értesítő 77 (1950) 4–9.

V. SZABÓ G. 2019: Bronzkori kincsek Magyarországon. Földbe rejtett fegyverek, ékszerek, eszközök nyomában. (Hereditas Archeologica Hungariae 3.) Budapest, 2019.

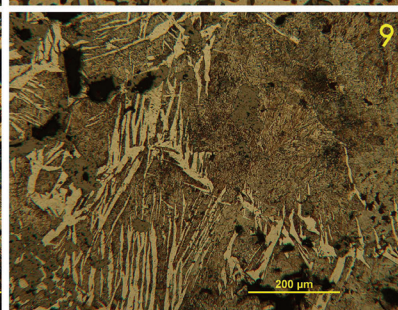
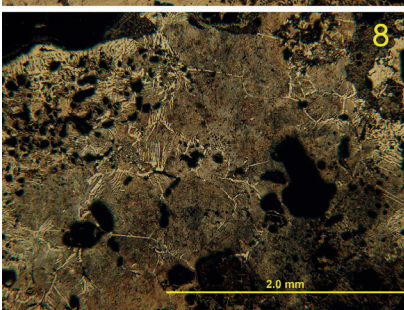
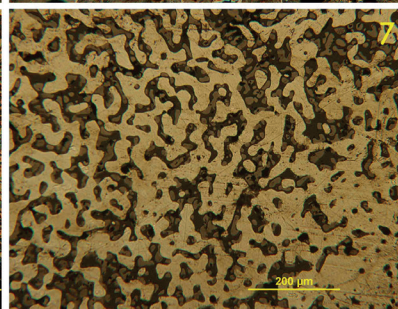
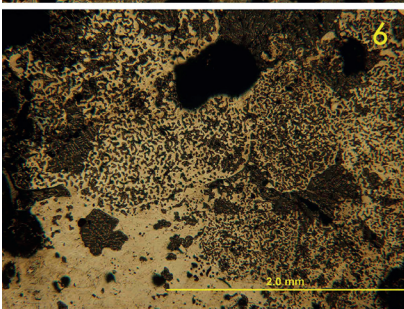
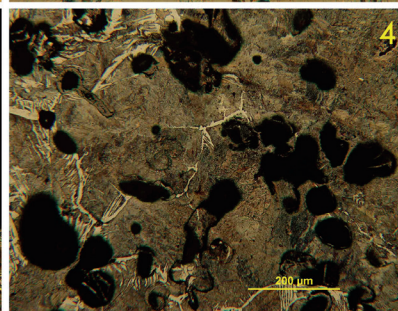
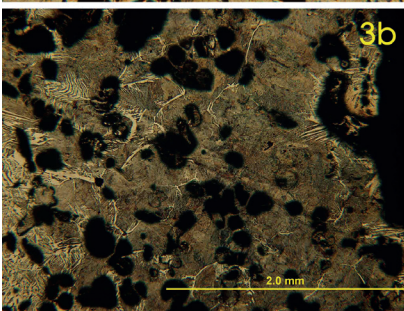
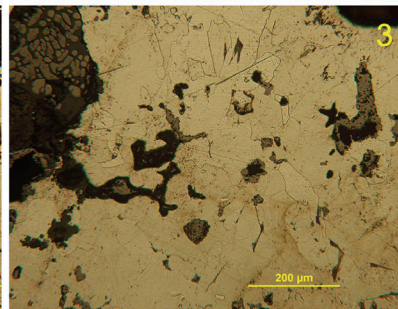
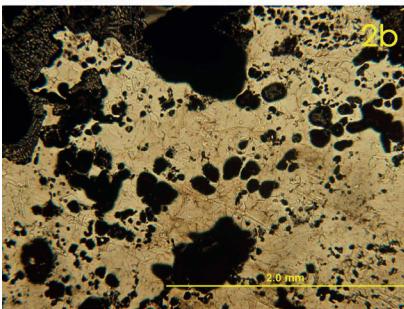
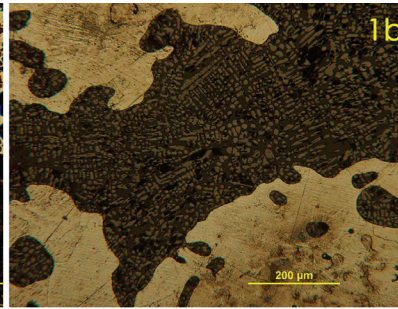
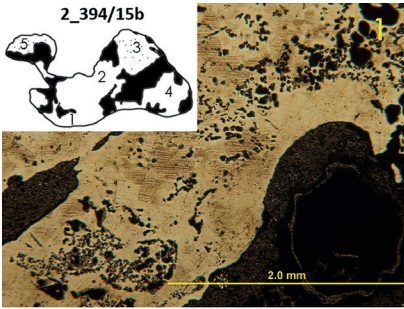
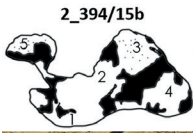
V. SZABÓ G. – BARCSI M. – BÍRÓ P. – TANKÓ K. – VÁCSI G. – MOGYORÓS P. 2022: Investigations of an Early Iron Age siege. Preliminary report on the archaeological research carried out at Dédestapolcsány–Verebce-bérc between 2020 and 2022. Dissertationes Archaeologicae ex Instituto Archaeologico Universitatis de Rolando Eötvös Nominatae, Ser. 3, 10 (2022) 277–299. <https://doi.org/10.17204/dissarch.2022.277>



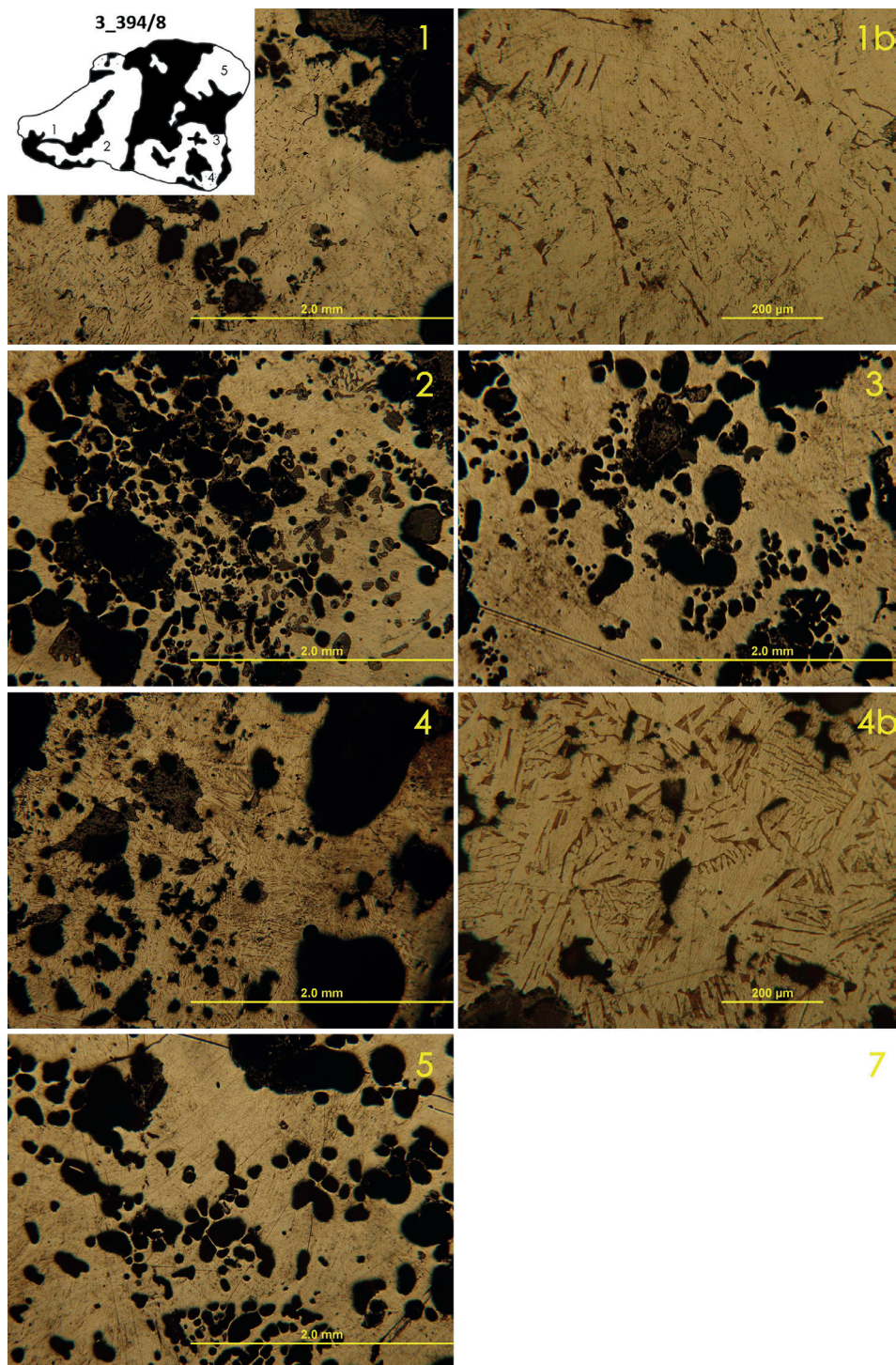
*I. tábla/
Table I.*



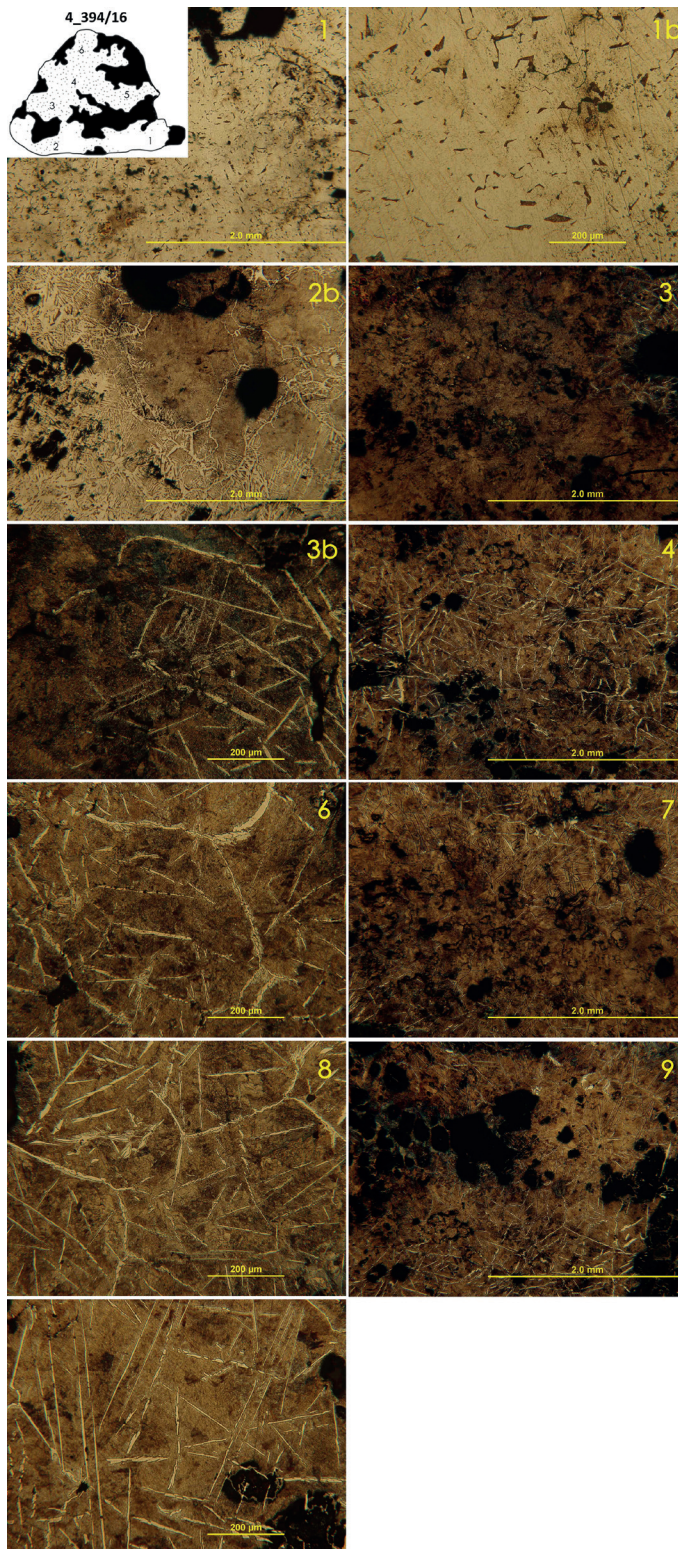
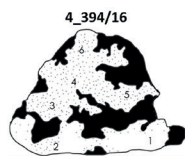
*II.tábla/*Table II.



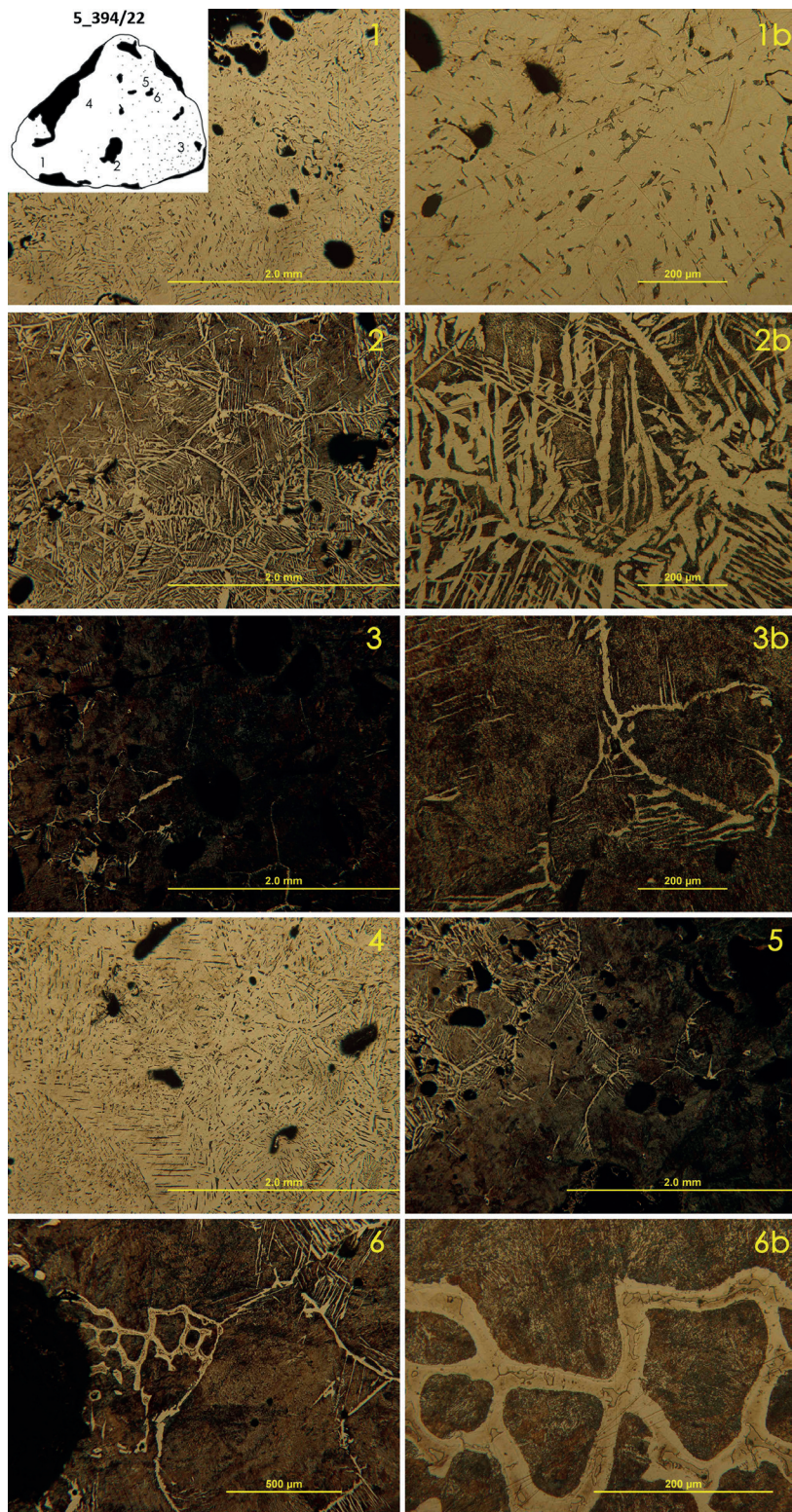
III.tábla/
Table III.



IV.tábla/Table IV.



V.tábla/Table V.



VI.tábla/
Table VI.