

AVAR KORI VASMŰVESSÉG AZ INTERDISZCIPLINÁRIS KUTATÁSOK TÜKRÉBEN – ZAMÁRDI-KÚTVÖLGY ÉS KAPOSVÁR- FÉSZERLAK LELETEINEK ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATAI

IRONWORKING OF THE AVAR PERIOD IN THE SCOPE OF INTERDISCIPLINARY RESEARCH – ARCHAEOMETRICAL INVESTIGATION OF THE FINDS FROM ZAMÁRDI-KÚTVÖLGY AND KAPOSVÁR-FÉSZERLAK SITES

TÖRÖK Béla¹, BARKÓCZY Péter², KOVÁCS Árpád³, KRISTÁLY Ferenc⁴, BÁNHIDI Olivér⁵, KREITER
Attila⁶, SKRIBA Péter⁷, PETŐ Ákos⁸, GYULAI Ferenc⁹, SALÁTA Dénes¹⁰

¹ Miskolci Egyetem, Metallurgiai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

^{2,3} Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet,

⁴ Miskolci Egyetem, Ásványtani és Földtani Intézet

⁵ Miskolci Egyetem, Kémiai Intézet

^{6,7} Magyar Nemzeti Múzeum

^{8,9,10} Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Intézet

^{1,2,3,4} Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja (ARGUM)

E-mail: bela.torok@uni-miskolc.hu

Abstract

A three-year research project has been carried out since 2015 by our interdisciplinary research group. The majority of archaeometrical research is carried out by the related institutes at the University of Miskolc, but other research organisations were also involved.

A fundamentally archaeometrical objective of the project is to perform a complex materials testing of the archaeological finds that completely cover the fields of the professional activities of Avar Age ironworking, as well as ceramic production, plant and animal remains.

The research programme is based on the unique Avar archaeological sites of Zamárdi-Kútvölgy and Kaposvár-Fészerlak, where iron metallurgical centres were found. The general aim of our research programme is to gain a better understanding of Avar Age iron production technology and the artisans' environmental knowledge both in a national and international context. By analysing archaeological, technological, archaeometrical and archaeometallurgical data, we try to reconstruct Avar Age iron production from the preparation of ores to the formation of iron artifacts.

This study presents the materials testing of the slag finds and iron artefacts (chemical analysis (XRF, ICP), macro- and microstructural analysis (OM, SEM-EDS), mineralogical analysis (XRD)) as well as ceramic petrographic and archaeobotanical analyses. Different slag types and their metallurgical roles, as well as the fundamental manufacturing processes, applied by the Avars, were identified. We concluded that the nature of archaeometallurgical sites can be confidently determined by the typological examination.

Kivonat

Interdiszciplináris kutatócsapatunk három éves NKFIH (OTKA) kutatási programot bonyolít le 2015 és 2018 között, amelynek archeometriai szempontból fő színhelyei a Miskolci Egyetem releváns intézetei, illetve egyéb kutatóhelyek is bevonásra kerültek.

A kutatás egyik alapvető archeometriai célja az avar kori vasművesség szakmai tevékenységeit teljesen lefedő leletek, továbbá kerámiák, növényi és állati maradványok, komplex, interdiszciplináris jellegű anyagvizsgálata. Régészeti szempontból a kutatás alapvetően Zamárdi-Kútvölgy és Kaposvár–Fészerlak avar kori kohótelepeinek páratlan leletanyagára támaszkodik. A projekt általános célja a régészeti, technikátörténeti és archeometriai-archeometallurgiai jellegű kutatási eredmények felhasználásával az avar kori vasművesség – az ércelőkészítéstől

a vastárgyak kialakításáig – minél alaposabb technikai-technológiai, környezeti és életmódbeli feltérképezése, hazai és európai vonatkozásban.

Ez a tanulmány a kutatás archeometriai részén belül a salak- és vastárgy-leletek anyagvizsgálatairól – kémiai analízis (XRF, ICP), makro- és mikroszerkezet-vizsgálat (OM, SEM-EDS), ásványösszetétel-vizsgálat (XRD) - illetve a projekt kerámia-petrográfiai és archeobotanikai vizsgálatairól számol be. A vizsgálatokkal az egyes salaktípusok, azok metallurgiai szerepe - ami által a lelőhelyek technológiai jellege is jól beazonosítható - illetve az avarok által alkalmazott alapvető kovácsolási módszerek meghatározhatóak lettek.

KEYWORDS: AVAR IRONWORKING, CHEMICAL ANALYSIS, METALLOGRAPHY, MINERALOGICAL EXAMINATION, CERAMIC PETROGRAPHY, ARCHAEOBOTANY

KULCSSZAVAK: AVAR VASMŰVESSÉG, KÉMIAI ANALITIKA, METALLOGRÁFIA, ÁSVÁNYTANI VIZSGÁLAT, KERÁMIA PETROGRÁFIA, ARCHEOBOTANIKA

Bevezetés, előzmények

Az archeometrián belül a fémek előállításával, feldolgozásával, megmunkálásával kapcsolatos régészeti leleteket, lelőhelyeket vizsgáló speciális tudományos kutatási területként kialakult archeometallurgia eklatáns példája az interdiszciplináris lehetőségeknek. A régészeti kutatásokat támogatva, műszaki-természettudományos vizsgálatok sorát felvonultatja. Az archeometallurgia komplex kutatási jellegében viszont túl is nyúl az archeometria anyagvizsgálatain, a korabeli technikára-technológiára jellemző megfogalmazásokat, azok rekonstruálását elősegítő kísérleteket, illetve társadalom- és gazdaságtörténeti jellegű megállapításokat is tartalmaz. A nemzetközi kutatási trend szerint az anyagvizsgálatokból leszűrt megállapításoknak célirányosan és hatékonyan alkalmazhatónak kell lenniük a kapcsolódó korabeli technika és technológia lehetőség szerinti beazonosításában, a lehető legautentikusabb rekonstruálásában is.

Az elmúlt évtizedekben, a Kárpát-medence területén, különböző korok vasművességéhez kapcsolhatóan, nagy mennyiségű régészeti lelőhely és lelet került napvilágra, az iparrégészet eredményessége az ezredforduló óta újabb lendületet vett. Különösen érvényes ez a kora középkori vasművesség területére. A megtalált leletek közül viszont relatíve kevésnek történt meg az archeometriai jellegű anyagvizsgálata és ezek a vizsgálatok sem átfogó program, szisztematikus, célirányos kutatási stratégia keretében zajlottak, hanem jórészt eseti módon, gyakran konkrétan megfogalmazott, a várható vizsgálati eredmények felhasználhatóságát célzó kérdések nélkül. Az eredmények nem alkottak egységes értékelési rendszert, illetve javarészt csak kevésbé, vagy alig érthető, értelmezhető adathalmazt jelentett a hazai régészet, ipartörténet-írás számára. Ugyanakkor a vizsgálatokat végzők sem minden alkalommal voltak tisztában az adott korszakra jellemző technológiai körülményekkel, illetve az egyes leletek – a vizsgálati stratégiát is befolyásoló – speciális tulajdonságaival.

Kora középkori kárpát-medencei vasművesség (vaskohászat és vassfeldolgozás-kovácsolás) régészetéhez kapcsolódó alap kutatások csak részben történtek meg, eseti jelleggel. Bár technikatörténeti jelentősége már az 1950-es évektől kezdve folyamatosan hangsúlyozott, jellemző, hogy a középkori magyarországi vaskohászatról szóló, régészeti fókuszú, kezdeti műszaki vizsgálatokat és kísérleteket is tartalmazó első összefoglaló művet (Heckenast et al. 1968) csak 32 év múlva követte olyan, amely az akkor ismert lelőhelyek összegyűjtése mellett szintén sorra veszi a '90-es évek kapcsolódó vizsgálatait (Gömöri 2000). Ez utóbbi mű már avar kori feltárásokat, illetve hozzá kapcsolódó, alapvetően jelen kutatási projekt résztvevői által elvégzett archeometriai vizsgálatokat is tartalmaz. Az azóta eltelt 17 év feltárásai és vizsgálatai ellenére az avar kori vasművesség régészeti és technológiai rekonstrukciója még nem történt meg. Ugyanakkor nemcsak az avar kori vasművesség körében, de a közép-európai középkori iparrégészet lelőhelyei között is volumenében és korabeli szakmai spektrumában is kiemelkedő fontosságú a kaposvári és zamárdi lelőhelyek kohó- és vasműves telepei, hiszen Közép-Európa legnagyobb iparrégészeti lelőhelyei közé tartoznak és a legnagyobbak az eddig felfedezett kora középkori vaskohászati telepek közül. 2001-ben Kaposváron 17500 m²-en több mint 400 kohászati vagy vasművességhez köthető avar kori objektum, köztük több, teljesen egyedülálló és bonyolult szerkezetű, a kohászati víznyerési szükségletet biztosító és megőrzött faszerkezetű kút (Gallina 2002) került napvilágra. Zamárdiban 27700 m²-en 580 avar kori kohászati vagy kohászathoz köthető telepobjektumot - köztük közel 100 ércpörkölő gödröt, mintegy 20 bucakemencét, két újraizzító tűzhelyet, valamint egy kovácsműhelyt – tártak fel 2005-ben és 2012-ben (Gallina & Hornok 2006; Gallina et al. 2007; Gallina 2011).

A két leletanyagból 2005 és 2015 között 10 ércmintán 70 salakmintán (bucakemence- és kovácssalak) és 20 vastárgyon végeztünk kémiai és mikroszerkezeti anyagvizsgálatot. Ezeknél a vizsgálatoknál jellemző gypvasérc-összetételt és szerkezetet tapasztaltunk, felvázolhatóak lettek a

különböző típusú salakok jellegzetességei, a fém tárgyak metallográfiája pedig többféle megmunkálási módszerre utalt (Török & Kovács 2009; Török & Kovács 2011a; Török et al. 2015). Az eredmények, összefüggések mindazonáltal egy újabb, immár teljes körű, szisztematizált rendszerű kiválasztásra, kémiai, anyagszerkezeti, metallográfiái és ásványtani vizsgálat sorozatra predesztináltak, a leletanyag jellegének feldolgozása és a technológia leírása és rekonstruálása végett, amelyet korábbi – szkíta (Török et al. 2013a; Török et al. 2016), kelta (Török et al. 2013b; Török et al. 2014), gepida (Török & Kovács 2011b) - és későbbi - honfoglalás és Árpád-kori (Török 2008; Török 2011; Török & Kovács 2016) korszakok hasonló leletein történt vizsgálataink is alátámaszthattak.

Mindezekről inspirálva, 2015-ben három éves, párhuzamos interdiszciplináris komplexitású, NKFIH finanszírozású kutatási program indult, amelynek projektgazdája a Miskolci Egyetem. A projektben a Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportjának (ARGUM) tagjai mellett több régész és természettudományi területen tevékenykedő kutató is részt vesz. A kutatás párhuzamosan alkalmazza és egymáshoz kapcsolja a régészeti elemzést, archeometriai jellegű műszaki és természettudományos vizsgálatokat és a kapcsolódó rekonstrukciós kísérleteket, ezáltal jelentősen bővíthető a jelenlegi ismeretanyag. Jelen publikációban a projekt archeometriai anyagvizsgálatainak belül – a vizsgálati területek és a vizsgált anyag típusok szerint tárgyalva – Zamárdi és Kaposvár salak- és vastárgy-leleteinek, kerámialeleteinek vizsgálatai eredményeit, valamint a kapcsolódó archeobotanikai vizsgálatok eredményeit, illetve a levonható konklúziókat összegezzük. Hangsúlyozzuk, hogy ez a dolgozat kimondottan a műszaki és természettudományi vizsgálatokra – annak metodikájára, eredményeire és a belőlük levonható, zömében általános jellegű konklúziókra, tehát a „metriára” – fókuszál és nem a régészeti részletek (tárgyak, objektumok, stb.) konkrét beazonosítására. A két említett ásatási helyszínhez való, komplex kutatási projektünk általi kötődést itt csak alapvető szinten kívánjuk demonstrálni. A kapcsolódó részletesebb régészeti vonatkozásokat – a jelen írásban is megjelölt, már megjelent, illetve megjelenés alatt lévő publikációink mellett – teljes interdiszciplinaritásukban az említett NKFIH (OTKA)-projektünket lezáró kéziratban és a reményünk szerint abból elkészülő, nagyobb lélegzetű műben tervezzük megjelentetni.

Az avar kori vasművességhez közvetlenül köthető leletek műszaki vizsgálata

A projekt archeometriai részének, de mondhatni, hogy a teljes kutatási programnak gerincét képező

archeometallurgiai anyagvizsgálatok eredményeként Zamárdi, Kaposvár, illetve korban és technológiában kapcsolódó egyéb lelőhelyek leleteinek beazonosíthatóságát, anyagszerkezeti és fizikai-kémiai tulajdonságai alapján azok tipologizálhatóságát, a vasművesség folyamataiban betöltött szerepük definiálhatóságát tűztük ki célként elsősorban.

A vizsgált leletek három csoportba oszthatók: a kohósítás alap- és segédanyagai (vasérc, faszén, adalékanyagok, fűvóka, mellfal-darab, kemence- és tűzhelybélés-darab); a kohósítás és fémfeldolgozás melléktermékei (salakok, tapadványok, revék), illetve a fém tárgyak (bucavas, félkész- és késztermékek). A vizsgálatok jellegét tekintve szintén egyfajta hármas tagolásról beszélhetünk:

kémiai összetétel elemzése: ED-XRF – hordozható röntgenfluoreszcens elemző; ICP – axiális plazmafigyelésű, szimultán multielemes spektrométer; EDS – energiadisperzív röntgenspektrométer (az elektronmikroszkóphoz felszerelve),

ásványi összetétel vizsgálata: XRD – röntgen-diffraktométer, változtatható Bragg-Brentano és Göbel-tükör segítségével előállított párhuzamos nyaláb geometriával,

mikroszerkezet-vizsgálatok, metallográfia: OM – Zeiss optikai mikroszkópok (Stereo Discovery, AxioImager, AxioVert); SEM – EDS spektrométerrel és EBSD detektorral felszerelt Zeiss EVO MA10 pásztázó elektronmikroszkóp.

A vizsgálatokat az ARGUM tagjai, mint a projekt kutatói végezték el az egyetem különböző intézeteinek laboratóriumaiban.

Jelen dolgozatban a középkori vasművesség folyamatai közül a kohósításra (bucaeljárás) és a fémalakításra (bucatómörítés és kovácsolás) fókuszálunk, ezért a salakvizsgálatokról, illetve a metallográfiái vizsgálatokról és az eredményekből levonható következtetésekről számolunk be.

Salakvizsgálatok

A vizsgálatok bevezető lépéseként a mintegy 100 salaklelet külső jegyek alapján történő, lehetőség szerinti csoportosítása zajlott. A két lelőhelyről származó salakleletek relatíve kis hányadát tették ki a külső jegyek alapján is „klasszikus” folyósálakként definiálható darabok. A folyósálak a kohósítás tipikus mellékterméke (Pleiner 2000). Aránylag könnyen felismerhető, általában tömör, nehéz darabok, töretükben csak apróbb gázbuborékokkal. Jellegzetességük akár fényesre is törölhető, fekete felszínük, amelyen a folyás néha egészen absztrakt alakzatai gyakran megfigyelhetők.

1. táblázat: Néhány zamárdi salakminta ásványtani vizsgálatának eredményei (tömeg%)

F: folyósalak, K: kemencesalak, P: bucatömrítés salakja, S: kovácssalak

Table 1.: Results of mineralogical examinations of some slag samples from Zamárdi (wt%)

F: tap-slag, K: furnace slag, P: purification slag, S: smithing slag

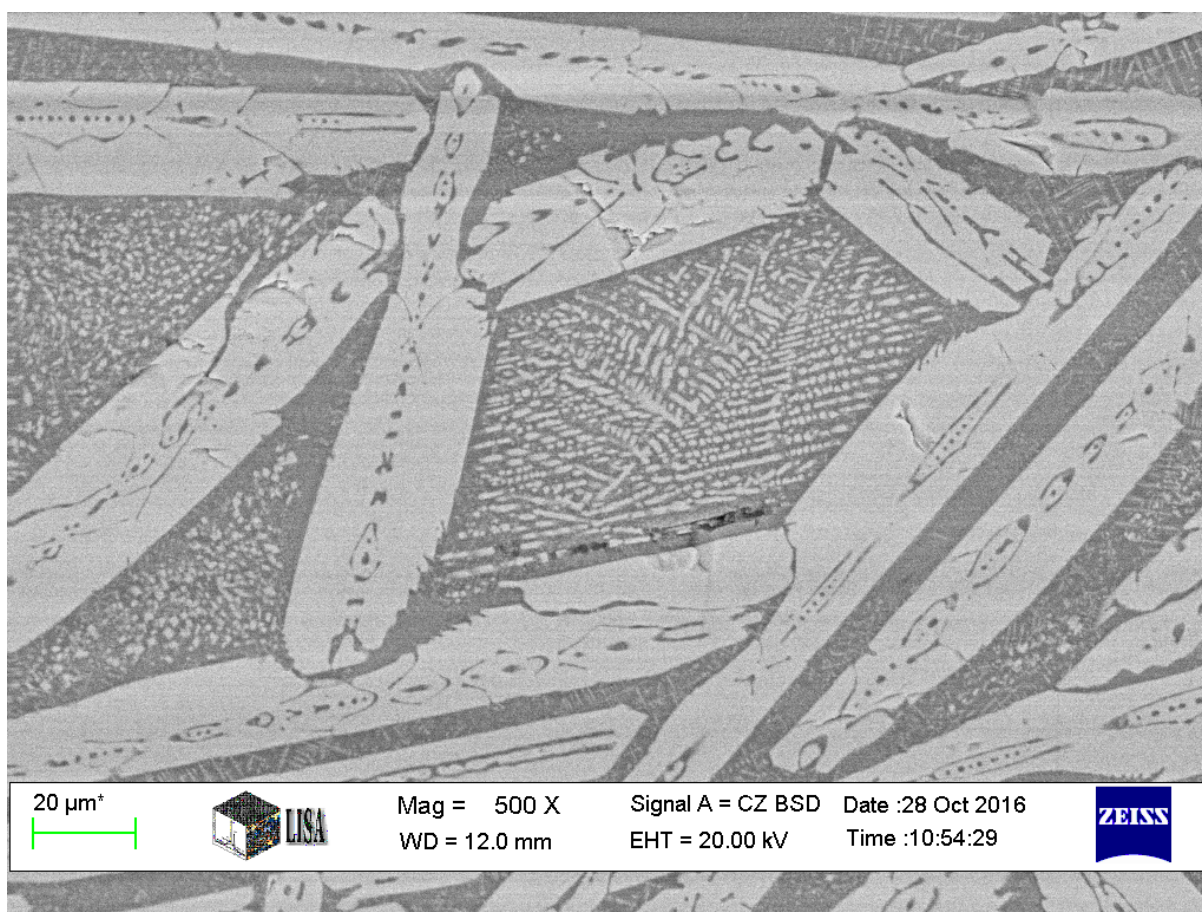
Komponens	Z89-662 F	Z58b-227 F	Z89-645 K	Z89-466 K	Z58a-156 K	Z89-468 P	Z58b-48 P, S(?)	Z56-160 S	Z58b-46	Z58a-74
Fayalit (Ca,Mn) (Ca,Mn,Fe ²⁺)SiO ⁴		36,0		69,0		52,0		2,9		
Fayalit (Mg) (Mg,Fe ²⁺)SiO ⁴			55,5		67,4					
Forsterit (Fe) (Mg,Fe ²⁺)SiO ₄			8,6							
Leucit KAlSi ₂ O ₆		3,8	8,5	8,0	2,9					0,7
Szanidin (Na,K)AlSi ₃ O ₈			11,0							
Kalsilit KAlSiO ₄		1,0			0,6		1,5	2,8		
Wüstit FeO		18,9				21,1	21,8	21,5		0,1
Titanomagnetit Fe ²⁺ (Fe ³⁺ ,Ti) ₂ O ₄					1,7					
Magnetit Fe ²⁺ Fe ³⁺ ₂ O ₄		2,0	4,4	1,5		1,6		6,1	1,1	0,5
Spinel (Fe) (Mg,Fe)Al ₂ O ₄				7,5						
Monticellit (CaMg)SiO ₄		9,9			4,5			29,0		
Kirschsteinit (CaFe ²⁺)SiO ₄							44,5			
Srebrodolskit Ca ₂ Fe ³⁺ ₂ O ₅									2,9	
Cristobalit low SiO ₂	2,1						0,6			1,4
Mullit Al ₆ Si ₂ O ₁₃	0,4									1,7
Cordierit Mg ₂ Al ₄ Si ₅ O ₁₈										0,3
Anorthit CaAl ₂ Si ₂ O ₈	4,2									
Diopszid CaMgSi ₂ O ₆	10,1									
Kvarc SiO ₂	27,1	2,3	1,1		1,8	0,7	6,5	4,7	15,5	32,8
Gehlenit Ca ₂ Al(AlSi)O ₇	0,3									
Zoizit Ca ₂ Al ₃ (SiO ₄) ₃ OH					2,1					
Szillimanit Al ₂ SiO ₅		4,1					2,5			
Kalcit (Mg) (Ca,Mg)CO ₃	0,8								5,4	
Dolomit CaMg(CO ₃) ₂			0,9						6,4	
Sziderit FeCO ₃									4,3	
Hematit Fe ₂ O ₃						0,3	0,2		11,7	0,4
Goethit FeOOH						9,3	4,4	10,0	8,2	0,9
Muszkovit KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂									3,7	
Kaolinit Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄									5,5	
Albit NaAlSi ₃ O ₈									4,3	0,2
amorf	55,0	22,0	10,0	14,0	19,0	15,0	18,0	23,0	31,0	61,0

A lelőhelyekhez kapcsolódó korábbi (Török et al. 2015) és jelen kutatási projektünk alatt végzett kémiai analízis alapján a folyósalakok két domináns összetevője a SiO_2 (általában 27-30 tömeg%, de esetenként eléri a 60-65 tömeg%-ot is), illetve az FeO (általában 40-45 tömeg%, de néhány esetben mindössze 4-5 tömeg% mérhető). Az ilyen típusú salakok CaO -tartalma relatíve alacsony volt (2-5 tömeg%).

Az **1. táblázat** néhány tipikus salakminta ásványi összetételét mutatja. A folyósalakok kristályos fázisai általában 750-800 °C közötti hőmérsékleten keletkeznek, ezeknek a salakoknak az olvadáspontja jellemzően 1100-1150 °C között van. Mindazonáltal a salaktípuson belül találkozhattunk igen különböző ásványi összetétellel is (Z89-662 és Z58b-227). Az amorf hányad megnövekedése jellemzően a nagy SiO_2 -tartalom függvénye, amely

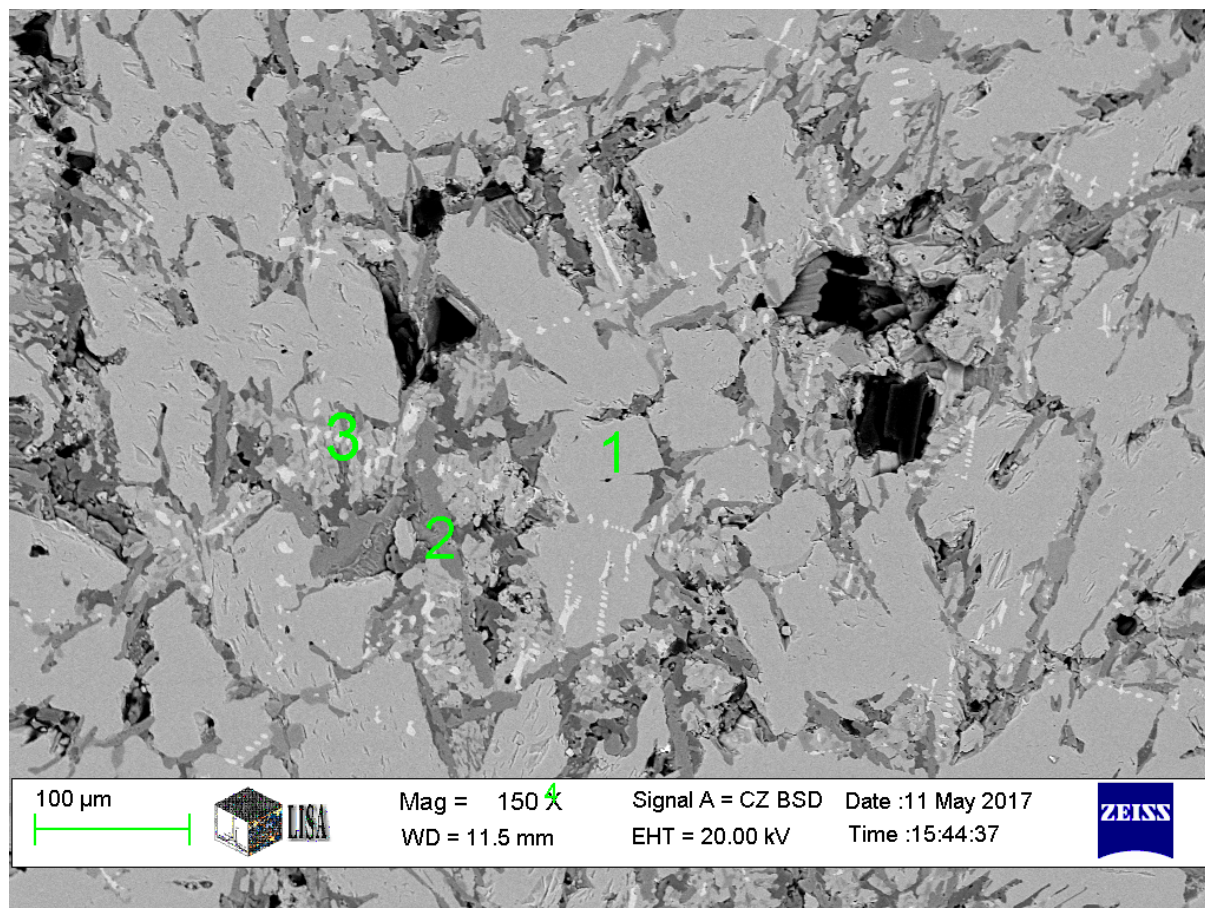
az alacsony Fe- és Mg-tartalommal együtt nagy viszkozitású olvadt salakot indukál, amely aztán a kemencéből kifolyva gyorsan dermed. A fayalit ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) és a wüstit (FeO) domináns jelenléte viszont némileg lassabb ütemű hűlésre utal 900-1200 °C között, oxidáló atmoszférában. A folyósalakok mikroszkópos vizsgálatánál gyakorta tapasztalt üveges fázis összhangban van az XRD-vizsgálat által kalkulálható amorf anyaghányaddal.

Folyósalakok jellegzetes mikroszerkezeteként lehet említeni az **1. ábrán** látható SEM-képet. A szürke fayalit lécek közepén gyakran jellegzetes mintázat figyelhető meg, a fayalitot piroxén háló és/vagy üveges fázis veszi körbe. Folyósalakok esetén wüstit dendritok is megjelenhetnek, bár ennél a salaktípusnál a dendritágak gyakran igen kicsik, illetve a fayalit táblás formában is előfordul (**2. ábra**).



1. ábra: Folyósalak jellegzetes mikroszerkezete lécesen kristályosodott fayalittal

Fig. 1.: Typical microstructure of a tap-slag with fayalite laths



2. ábra: Folyósalak SEM-képe. Főbb elemek EDS-vizsgálattal (tömeg%): 1 – O:18.58; Mg:1.35; Si:18.16; P:1.05; Mn:4.82; Fe:54.88; 2 – O:24.91; Na:1.78; P:25.98; Ca:37.72; Mn:1.07; Fe:7.15; 3 – O:13.31; Mn:1.16; Fe:83.62

Fig. 2.: SEM-micrograph of a tap-slag. Main chemical components (EDS-analysis, wt%): 1 – O:18.58; Mg:1.35; Si:18.16; P:1.05; Mn:4.82; Fe:54.88; 2 – O:24.91; Na:1.78; P:25.98; Ca:37.72; Mn:1.07; Fe:7.15; 3 – O:13.31; Mn:1.16; Fe:83.62

Néhány irodalomban kihangsúlyozzák, hogy a folyósalak FeO-tartalma elérheti a 70 tömeg%-ot (Tylecote 1986), de Zamárdi és Kaposvár beazonosítható folyósalakjai esetében ez egyáltalán nem volt jellemző, sőt bizonyos esetben igen alacsony vasoxid tartalmat mérhettünk. Mindamelllett, hogy a salak FeO-tartalma és viszkozitása fordítottan arányosak egymással (Buchwald 2005), illetve hogy a Zillingtal-ban feltárt (Burgenland) avar bucakemencék esetében Mehofer azzal magyarázta a folyósalak hiányát, hogy nem volt elegendően magas hőmérséklet a kohóban megfelelően folyékony salak képződéséhez (Mehofer 2010), a vizsgálataink alapján inkább a kohó kialakításának volt nagyobb hatása a kifolyt salak mennyiségét illetően.

A bucaeljárás salakjainak másik, igen változatos csoportja az ún. kemencesalakok (Pleiner 2000). Nevüket onnan kapták, hogy a kohósítás folyamán mindvégig a kemencében maradnak, ott többféle formátumban is kialakulhatnak. A leggyakrabban megtalálható formájuk erősen csipkézett, néha

szinte szivacszerű szerkezetű, a folyósalaktól kisebb fajsúlyú, gázbuborékokkal, lunkerekkel erősen tagolt. Színük változatos, világos vagy sötét szürke, gyakran rozsdaszínű, vagy akár fehér foltokkal. Beágyazódott faszéndarabkák, félig redukált ércszemcsék, mészkő- vagy kavicsdarabkák, illetve kemencefalazat-darabok egyaránt előfordulhatnak bennük. Speciális változataik a kemencebéléshez, fűvókához vagy mellfalhoz tapadt salakok, amelynek gyakran üvegszerű, alumínium-szilikátos részei a homokkal soványított agyagból olvadtak ki a kohósítás során. Külön említést érdemelnek a kemence alján összegyűlt és ott megdermedt nagy salaktömbök (medvék), amelyek esetenként *in situ* találhatók meg és azonosíthatók.

Zamárdi és Kaposvár salakjainak zöme kemencesalakként azonosítható. Alapvető, markáns eltérés nem mutatkozik a folyósalak és a kemencesalak kémiai összetételét illetően, viszont a két és a három vegyértékű vas által alkotott oxidok – titrálás és az összes vastartalomból való

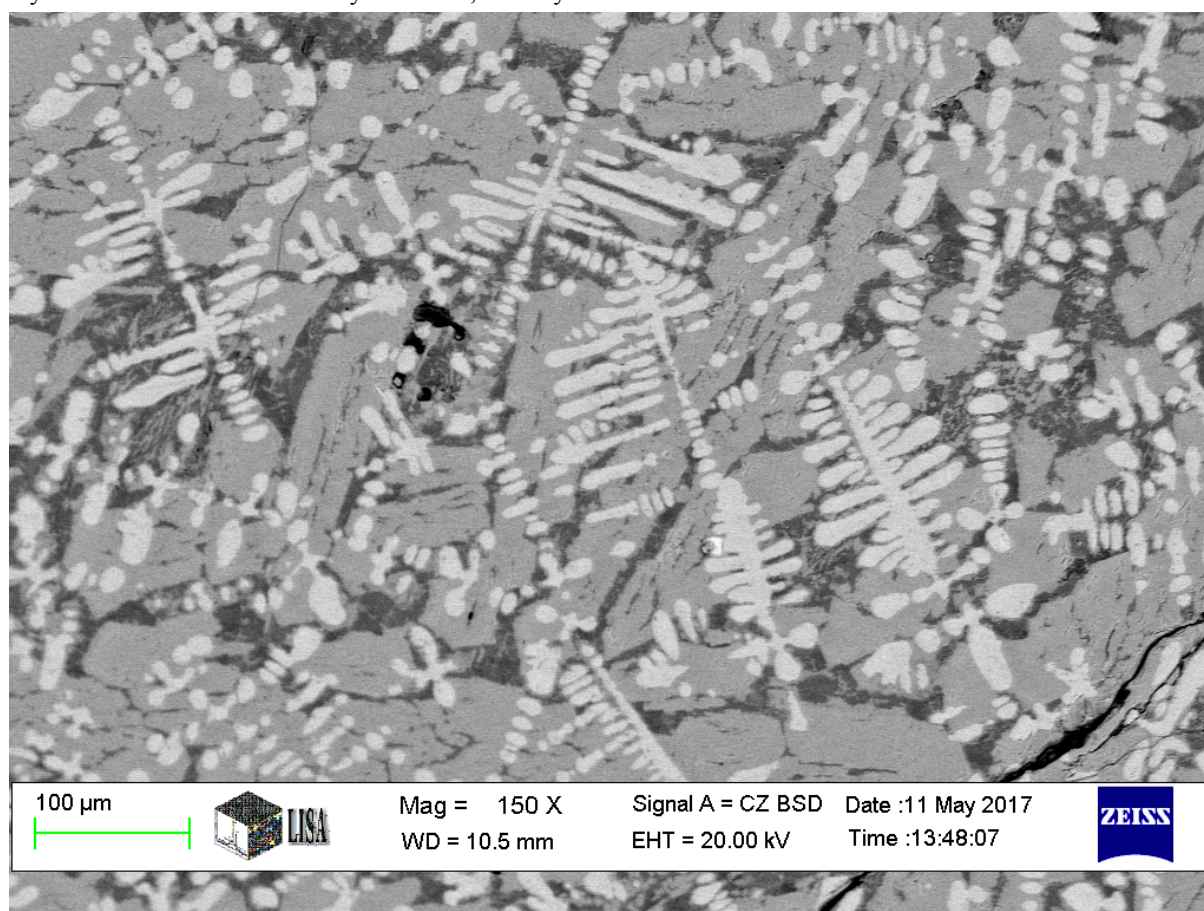
kalkuláció segítségével meghatározott - aránya a kemencesalakok esetében jellemzően az utóbbi nagyobb értéket mutatja. Már korábbi vizsgálataink is rámutattak arra, hogy számos kemencesalak mintánál 20-35 tömeg% FeO-tartalom mellett akár 20-30 tömeg% Fe_2O_3 -tartalom is számolható (Török et al. 2015). Bár az XRD és a SEM-EDS vizsgálatok nem adnak információt az amorf fázis vastartalmának vegyértékéről, azonosítani tudtuk az Fe^{2+} és Fe^{3+} tartalmú kristályos fázisokat. A magasabb oxidációs fokú vasoxid származhat az érc elégtelen redukciójából, vagy akár már fémeseedett vasszemcsék hosszú évszázadok alatti oxidációjából is.

Megemlítendő, hogy a vizsgált kemencesalakok közül számos mintának relatíve magas MnO-tartalma volt (6-9 tömeg%). Tekintve más kora középkori, a Kárpát-medence egyéb tájairól származó salakminta kémiai összetételét (Török 1999; Gömöri & Török 2002), ez regionális sajátosságnak tekinthető.

Több kemencesalak mintánál az EDS-vizsgálat említésre méltó foszfortartalmat mutatott ki (0,3-0,6 tömeg%). Az XRD-vizsgálat szintén kimutatott olyan foszfortartalmú kristályos fázist, amely

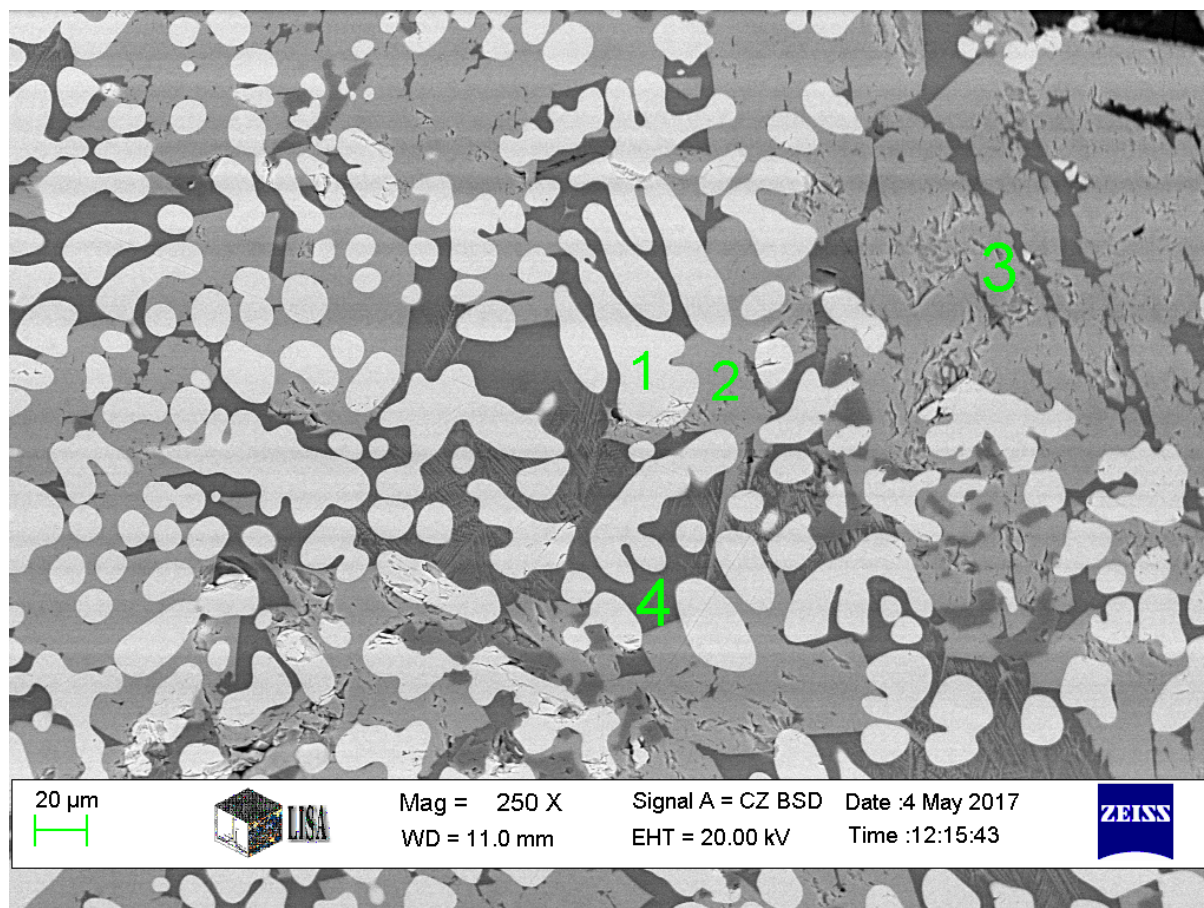
ásványi összetevő, a K- és Na-tartalmú összetevőkhöz hasonlóan, még 800-950 °C-os hőmérsékleten is nagy likviditású salakot eredményez. A kohósítás salakjainak a kovácsolás salakjaitól való megkülönböztethetőség szempontjából a P_2O_5 fontos indikátor, mivel előzőekben – ércminőségtől függően - gyakorta jelentős mértékben előfordul, addig utóbbiban alig, vagy egyáltalán nem (Selskiené 2007).

A középkori bucaeljárásra jellemző, három fázis – fayalitos mezők, wüstit dendritek és alacsony atomszámú elemek komplex oxidjai - alkotta salak mikroszerkezete a kohósítás gyakorlatilag bármelyik salaktípusánál előfordulhat és szakirodalmi párhuzamot is szép számmal találhatunk rá (Buchwald 2005). A kemencesalakok SEM-vizsgálatai alkalmával az ilyen salakszerkezet több változatával is találkoztunk (**3. ábra**). A fayalit táblás kristályosodása aránylag lassú hűlésre, míg a léces forma a gyors dermedésre utal (Török & Kovács 2010). A fayalit magnéziumos, illetve mangános és/vagy kalciumos komplex fázisban való jelenléte mintegy 1200 °C-os hőmérsékletre utal (Deer et al. 1997), amely elég magas ahhoz, hogy a salak elválasztódjon a képződő vascutától.



3. ábra: Kemencesalak SEM-képe. Wüstit dendritek (világosszürke), fayalitos részek (szürke), Al-Na-Ca-szilikátok (sötétszürke).

Fig. 3.: SEM-micrograph of a furnace slag. Wuestite dendrites (light grey), fayalitic parts (grey), Al-Na-Ca-silicates (dark grey).



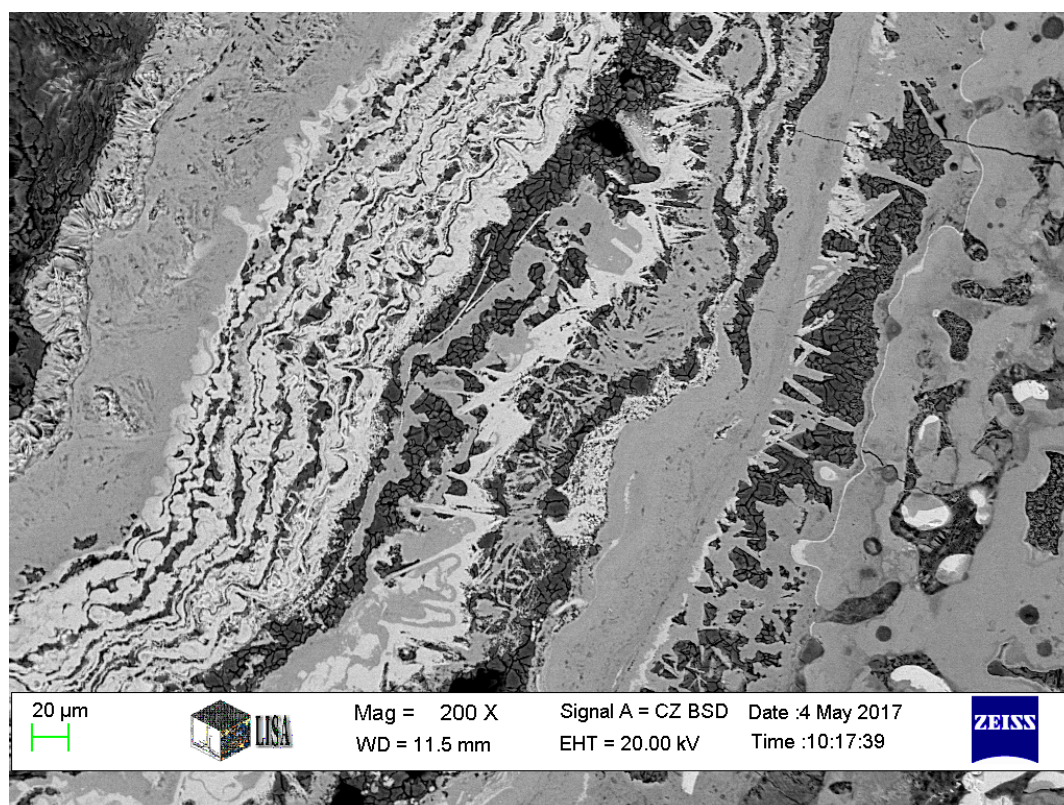
4. ábra: Bucatömörítés salakjának SEM-képe. EDS vizsgálat (tömeg%): 1 - O:12,68, Mg:0,32, Al:0,76, Si:0,15, P:0,06, K:0,15, Mn:4,70, Fe:81,06; 2 - O:19,57, Na:0,26, Mg:3,04, Al:0,23, Si:18,67, P:0,22, Ca:1,79, Mn:10,72, Fe:45,41; 3 - O:19,62, Na:0,10, Mg:2,71, Al:0,18, Si:18,40, P:0,16, K:0,11, Ca:2,16, Mn:10,79, Fe:45,78; 4 - O:23,41, Na:0,53, Mg:0,35, Al:9,56, Si:21,34, P:0,88, K:3,27, Ca:11,71, Mn:4,67, Fe:24,30

Fig. 4.: SEM-micrograph of a purification slag. EDS-analysis (wt%): 1 - O:12.68, Mg:0.32, Al:0.76, Si:0.15, P:0.06, K:0.15, Mn:4.70, Fe:81.06; 2 - O:19.57, Na:0.26, Mg:3.04, Al:0.23, Si:18.67, P:0.22, Ca:1.79, Mn:10.72, Fe:45.41; 3 - O:19.62, Na:0.10, Mg:2.71, Al:0.18, Si:18.40, P:0.16, K:0.11, Ca:2.16, Mn:10.79, Fe:45.78; 4 - O:23.41, Na:0.53, Mg:0.35, Al:9.56, Si:21.34, P:0.88, K:3.27, Ca:11.71, Mn:4.67, Fe:24.30

A bucakemencéből kiemelt izzó, illetve kihűlése után újraizzított vasbuca tömörítő, salaktalanító kalapálása során keletkező salak egy sajátos, nem mindig könnyen azonosítható salaklelet fajta. A relatíve kisméretű darabok gyakran plan-konvex formában, heterogén, réteges szerkezetet alkotva gyűlnek össze az újraizzító tűzhely alján (Buchwald 2005). Tipikus kémiai összetételt nem figyeltünk meg az ilyen salakok esetén, jellemző SEM-képet mutat viszont a **4. ábra**.

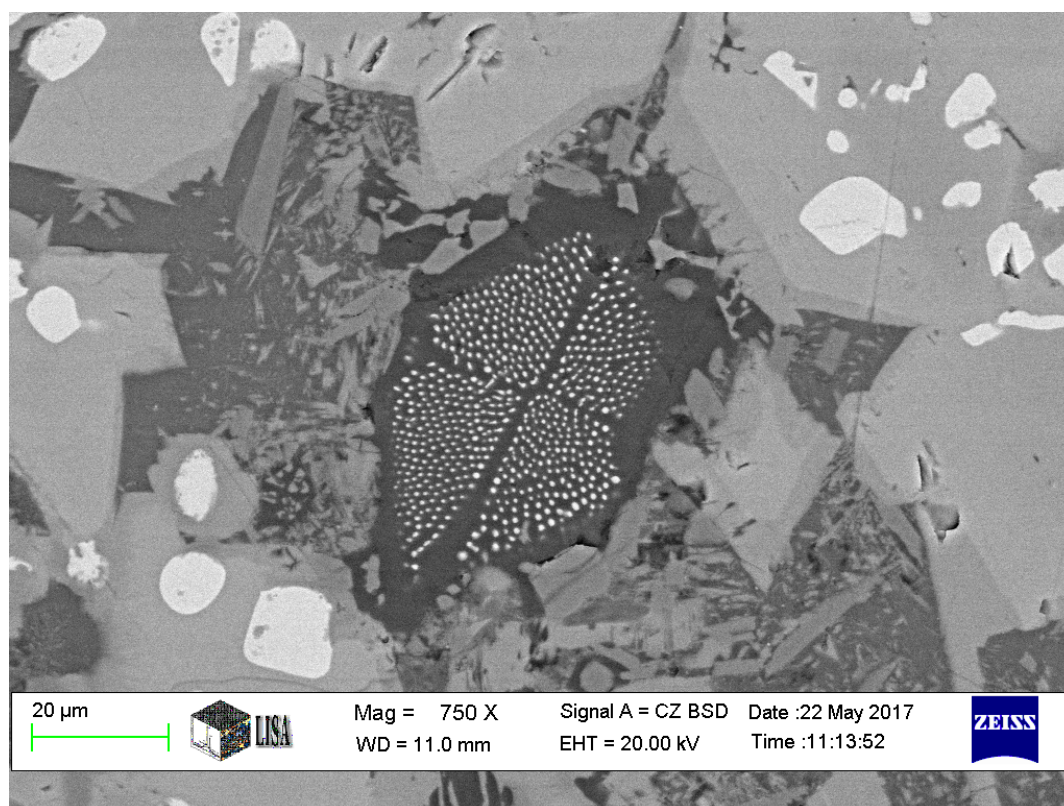
A feltárt avar kohótelepeken kevés kovácsolásra utaló objektum került elő, Zamárdiban például csak egy jól beazonosítható kovácsműhelyre bukkantak (Gallina et al. 2007). Éppen ezért tipikus kovácssalak nagy tömegű előkerülése sem volt várható. A kovácssalak egyébként sem könnyen

megkülönböztethető az előbb említett bucatömörítés salakjaitól. A réteges, heterogén szerkezet itt is jellemző (**5. ábra**). A feltételezhető kovácssalakoknál, de a bucatömörítés salakjainál és a kemencesalakoknál is többször találoztunk a **6. ábrán** látható mikroszerkezettel. A pontszerű wüstit szemcsék főként leucitos mezőben láthatóak, körülöttük fayalit táblákkal. Ez az eutektikum-szerű szerkezet jellemzően káliumban dús (helyenként 19-20 tömeg%), illetve Al-szilikátos környezetben volt megfigyelhető, amelyek feltételezhetően a faszénhamuból, illetve a kemence falzatából származnak. Tipikus sajátosság a kovácssalakoknál a wüstit markáns jelenléte, a kvarc, illetve üveges fázis kis hányada, valamint a fayalit hiánya. Fayalit helyett főként monticellit és kirschsteinit volt kimutatható, amelyek 900 °C alatt kristályosodnak.



5. ábra: Réteges szerkezetű salak SEM-képe (kovácssalak vagy bucatömörítés salakja)

Fig. 5.: SEM-micrograph of a slag with layered structure (smithing slag of purification slag)



6. ábra: Kálium-dús közegben pontszerű mintában eloszlott wüstit, fayalitos részekkel (szürke) és vas-oxid szemcsékkal (fehér – O: 12,32 tömeg%, Fe: 82,65 tömeg%) körülvéve.

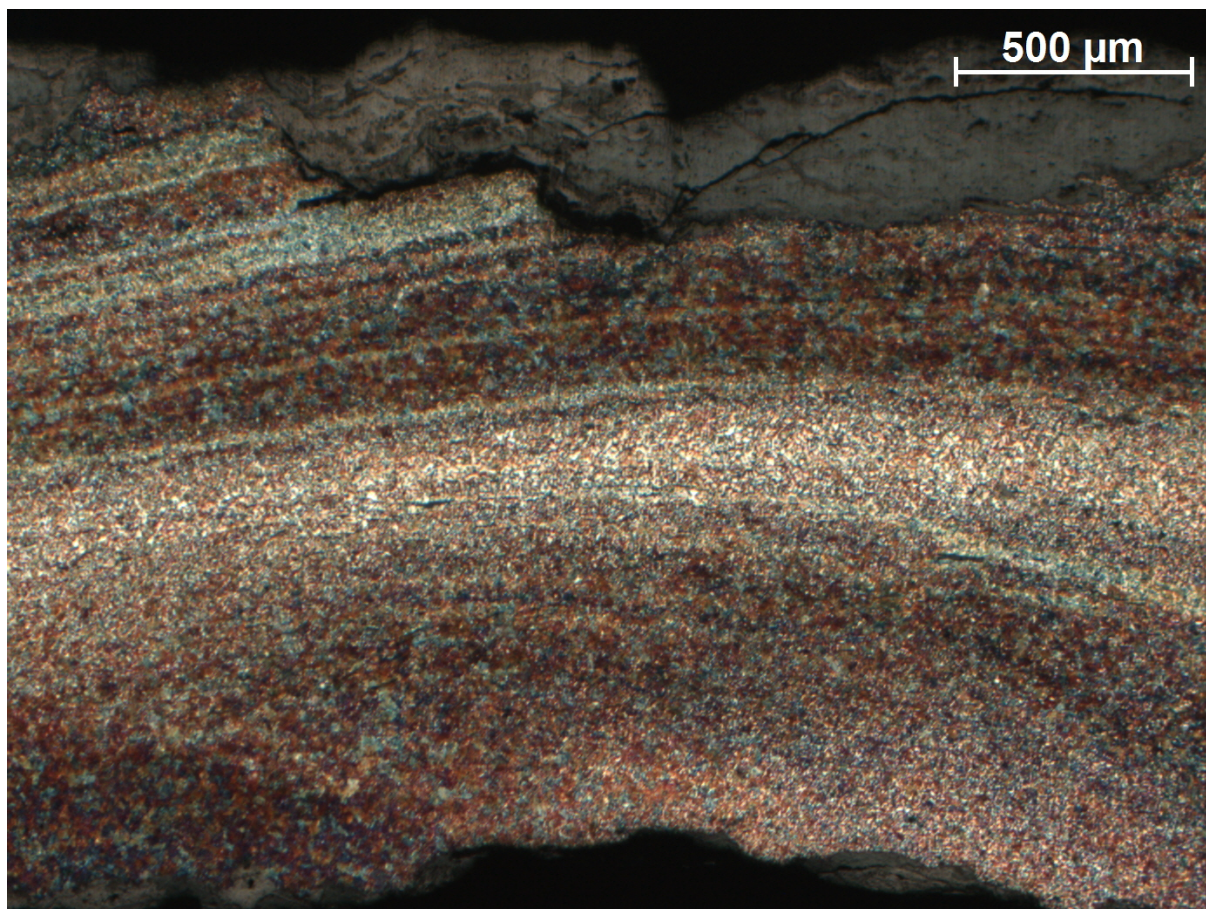
Fig. 6.: Exsolved wüstite in intricate patterns in a potassium-rich environment surrounded by fayalite parts (grey) and iron oxide grains (white - O:12.32 wt%, Fe:82.65 wt%).

Vastárgyak metallográfiai vizsgálata

Zamárdi és Kaposvár avar kori kohótelepein talált vastárgyakból kiválasztott darabokon végeztünk optikai és elektronmikroszkópos metallográfiai vizsgálatokat. A kiválogatás az alapján történt, hogy mind az eszközök formáját, jellemző anyagvastagságát, illetve felhasználás jellegét is tekintve a lehető legteljesebb spektrum képviselve legyen. Főként késeket, szögeket, hajtűket, ásópapucsot, láncszemeket és egyéb beazonosítható és be nem azonosítható funkciójú vastárgyat vizsgáltunk, tehát alapvetően a köznapi élet, a háztartás és a ház körüli munkákhoz kötődő vaseszközöket. A tárgyakból keresztmetszeti mintát vágunk, amiből 2%-os nithallal történt maratással csiszolatot készítettünk. A Zamárdiban és Kaposváron alkalmazott avar kovácstechnológia megfogalmazásánál a szintén a lelőhelyekről származó, 2005 és 2015 között vizsgált vastárgyak eredményeit is számításba vettük (Török & Kovács 2009; Török & Kovács 2011a; Török et al. 2015).

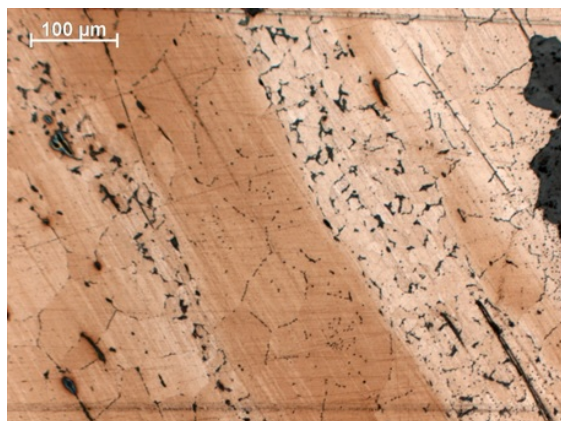
A vizsgált tárgyak zöme réteges szerkezetű (7. ábra). A tárgyak anyaga gyakorlatilag

ötvözetlen lágyvas, az egyes rétegek közötti különbséget a karbon tartalom heterogén eloszlása jelenti. Az egyik jellemző réteg teljesen ferrites szövetszerkezetű, esetleg kevés perlittel, általában 0,3 tömeg%-nál kisebb karbon tartalommal - a karbon tartalmat a SEM-képek ferrit-perlit szövetarányaiból becsültük meg – míg a másik tipikus anyagnak teljesen perlites mikrostruktúrája volt, mintegy 0,8 tömeg% átlagos karbon tartalommal. Ezeket a rétegeket magas hőmérsékleten, az ausztenites területen kovácsolták össze. A rétegek közötti széles diffúziós zónák igazolják ezt a megállapítást. A rétegek vastagsága alapján közepes erejű és intenzitású megmunkálásra következtethetünk, amelyre főként a vizsgált kések éleinek perlites szerkezete szolgáltat tanúbizonyságot. Az eltérő karbon tartalmú sávok, rétegek különböző arányai az átlagos karbon tartalom tekintetében is eltérő minőséget eredményeznek. A legtöbb vizsgált tárgy becsült karbon tartalma 0,4-0,6 tömeg% között volt, e fölötti átlagos karbon tartalommal ritkán, viszont 0,3 tömeg% alattival több mintánál találkozhattunk.



7. ábra: Vizsgált vaskés réteges szerkezetének optikai mikroszkópos képe.

Fig. 7.: OM-image of a layered structure of an examined iron knife.



8. ábra: Réteges szerkezet nagyobb nagyítású optikai mikroszkópos képe

Fig. 8.: OM-image of a layered structure at higher magnification

A metallográfiai vizsgálatok alapján elmondható, hogy az avarok tudatosan, többféle kovácsolási stratégia, alakítási módszer közül választottak. Ha kevés számban is, de találtunk példát arra, hogy egy darab tömörített vasbucából, hajtogatás, rétegezés nélkül, „szabadkovácsolással” készítették el a tárgyat, amely rendszerint közepes átlagos korbontartalmú (0,4-0,5 tömeg%) volt, viszont szegélyét, élét (ásópapucsnál, néhány késnél) többször átkovácsolták és nagyobb korbontartalmú anyag volt.

A jóval gyakrabban észlelt, réteges szerkezet esetén (**8. ábra**) a heterogén nyersanyag különböző korbontartalmú rétegeit rendszerint közepes erővel, valószínűleg többszöri újrahevítéssel összekovácsolták. Az újraizzítás a legtöbb esetben teljesen újrakristályosította a szerkezetet, amelynek következtében gyakori a nagy szemcseméretű ferrit. Észleltünk 250-500 μm vastagságú rétegeket is, ilyen esetben a kovácsolást erőteljesebben, intenzív alakítással végezték. Alakítás után a tárgyat szabad levegőn hűtötték, ami normál szerkezetet biztosított. Martenzites szövetet eredményező edzést a jelek szerint nem alkalmaztak, illetve szándékos, utólagos hőkezelés nyomait sem találtuk.

A zárványvizsgálatok eredményeinél néhány esetben találkoztunk a salakvizsgálatoknál már említett kimondottan magas Mn-tartalommal, egy esetben 7-9 tömeg% közötti értéket mértünk, egyébként általában 1-3 tömeg% közötti Mn-tartalom volt a jellemző. Néhány esetben kiemelkedően magas foszfortartalmú salakzárványt is találtunk (1.5-3.5 tömeg%), ugyanakkor a fémekben jellemzően nem detektáltunk jelentős foszfortartalmat.

A kohótelepeken talált kerámiák tipokronológiai és petrográfiai vizsgálata

Interdiszciplináris jellegű kutatási projektünk említett komplexitását az archeometriai vizsgálatok széles spektruma is képviselte. A lelőhelyekhez kapcsolt természettudományi jellegű vizsgálatok egyik sarkalatos példája volt a kerámiák petrográfiai vizsgálata. Ugyanakkor a korabeli vasművesség alapvetően összefügg a kerámiakészítéssel, hiszen a vaskohászat több objektumának, eszközének (kemencék, tűzhelybélések, fűvókák, mellfalazatok) nyersanyaga azonos, vagy hasonló lehet a háztartási kerámiák készítéséhez használt anyaggal. A kerámiavizsgálat alapvető kapcsolatokra mutathat rá a kerámiakészítés és vasművesség között. Másrészt a vizsgálatban részt vevő településkerámiák technológiai vizsgálata segít a különböző kerámiatípusok kapcsolatának és technológiai fejlődésének vizsgálatában, ezáltal a kerámiatípusok kronológiájának pontosításában.

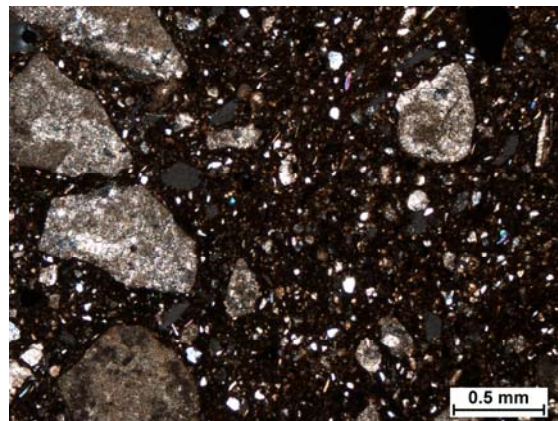
A kutatási programban 38 kerámia petrográfiai vizsgálatát végeztük el Kaposvárról, míg Zamárdiból 45 kerámiát vizsgáltunk. A vizsgálatok célja az avar kori kerámiák polarizációs mikroszkópos vizsgálata és összehasonlító elemzése, az egyes kerámia típusok összehasonlítása, azok kapcsolatának, egymásra való lehetséges hatásának elemzése. Vizsgáljuk a lehetséges technológiai párhuzamosságot, különös tekintettel a lassú- és gyorskorongolt kerámiák kapcsolatára. A kerámiák készítéseknikájának részletes vizsgálatával és a nyersanyagaik elemzésével megpróbáljuk lehatárolni, hogy mely kerámiák készülhettek egy műhelyben, vizsgáljuk a kerámiák lehetséges import eredetét, illetve finomítjuk a kerámia típusok kronológiai kapcsolatait is.

A Zamárdi telep rendkívül hosszú ideig, az avar kor teljes időtartamán át fennállt, előzménye azonban már a 6. században, a langobard időszakban is kimutatható, ahogy az avar kor vége után is követhető a település megléte. A település intenzitása a 7. század folyamán egyre erősödött, a települési objektumok több száz méteren keresztül követhetők, kisebb-nagyobb csoportokat alkotva. A legintenzívebb szakasz a település életében az eddigi eredmények alapján a 7. század közepétől a 8. század elejéig terjedő időszak volt. A 8. században a település mérete – és talán a jelentősége is – csökkent, de fennállása az avar kor végéig követhető. A vaskohászati tevékenység az avar település legkorábbi időszakában még alig mutatható ki, annak kohászati telep jellege a 7. század folyamán alakult ki, és a 8. század első feléig meghatározó lehetett. A település feltárt részén a 8. századi objektumok között vasművességre utaló nyom azonban már csak

elvétve található, leginkább a település déli részén, itt is az avar kor legvégére tehető periódusban. A Kaposvár–fészerlaki avar kori kohászati telep a 7. század közepe táján létesülhetett, és fennállása az avar kor végéig valószínűsíthető.

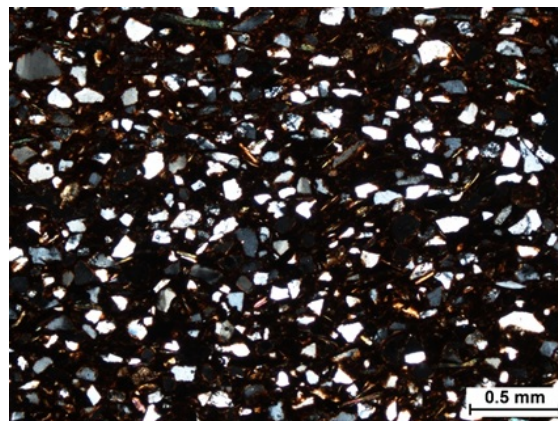
A kerámia tipokronológiai vizsgálata alapján a Zamárdi telep leletanyagában már a legkorábbi, germán jellegű bepecsételt kerámiát tartalmazó időszakától nagy mennyiségben kimutathatók a késő antik eredetű kerámiák gyorskorongolt és lassúkorongolt/kézikorongolt változatai egyaránt. A későantik kézikorongolt kerámián belül a legjelentősebb egységet az ún. mészkővel soványított bögrék és fazekak csoportjai képezik. Ez a típusú kerámia már a langobard időszak leletanyagában is megtalálható, de jelentős hányadban megfigyelhető más, Balaton parti későantik–langobard kori lelőhelyek kerámiájában is (Pánczél-Bajnok et al. 2014). A Zamárdi település anyagában a mészkővel soványított lassúkorongolt kerámia az avar kor legvégéig az egyik jelentős alkotóelem. Tágabb kitekintéssel a Balaton medencéjében, az avar kor második fele temetőinek és telepeinek is az egyik leggyakoribb kerámia csoportját alkotják a mészkővel soványított („balatoni” típusú) edények (Skriba 2011.) A petrográfiai vizsgálatok alapján a különböző balatoni típusú kerámiák nyersanyagai jó egyezést mutatnak a késő antik típusú kerámiák készítmódjával. A mészköves soványítású kerámiának a lelőhelyen – valamint általánosan a Balaton régiójában – való ilyen mennyiségű előfordulása, továbbá a későantik és langobard kori előzményei alapján ezt az anyagot a terület helyi eredetű és hagyományú kerámiájának tekinthetjük, amelyet a petrográfiai vizsgálat is kiválóan igazol (9. ábra).

A zamárdi telep kézikorongolt edényeinek másik jelentős csoportját a vastag falú, általában nagyméretű főző vagy tároló fazekakból, vagy szintén vastag falú bögrékből/kisfazekakból álló kerámia adja, amely a Mezőföld avar kori temetői és telepei leletanyagának jellegzetes eleme. Ez a „mezőföldi” típusú kerámia a Balaton-part délkeleti sávjának sír- és telepkerámiájában is meghatározó, de megjelenése csak a 7. század közepétől adatolható, viszont az avar kor végéig kimutatható. A sírkerámia tipokronológiai vizsgálata mellett alátámasztja ezt az időintervallumot a zamárdi és kaposvári faszénből és állatcsontból vett mintákon elvégzett radiokarbon kormeghatározás is (MTA Atomki, Debrecen, 2017-ben; kalibrált naptári korok: 640-690, 660-770, 650-770). Ez a típus soványítás nélkül, valamint homok és tört kerámia, illetve durva homok soványítással készült. Fontos eredmény, hogy a Kaposváron előkerült mezőföldi típusok „receptje” hasonló a Zamárdiban megfigyeltékhez, de a nyersanyagok összetétele eltér.



9. ábra: Késő antik típusú lassúkorongolt fazék szöveti képe, Zamárdi

Fig. 9.: Fabric of a Late Antiquity type slow-wheeled pot, Zamárdi



10. ábra: Kaposvölgyi típusú lassúkorongolt fazék szöveti képe, Kaposvár

Fig. 10.: Fabric of a Kaposvölgy type slow-wheeled pot, Kaposvár

A Kaposvár–fészerlaki telep anyagában a legjellemzőbb kerámia csoportot a soványítatlan, jó minőségű, sötétvörösre-barnásvörösre égetett finomkerámia adja. Az edények többsége kézikorongon készült, de elkülöníthető egy kisebb csoport, amely a gyorskorongolt kerámia jellemzőit viseli magán. Ez a kerámiaanyag – az utóbbi csoportot kivéve a készítmódot leszámlítva – számos ponton kapcsolódik a kelet-dunántúli műhelyekben készült fekete kerámiához. Mivel a környező régiókban ez az anyag nem fordul elő, a Kapos-folyó völgyének avar temetőiben viszont igen, a régió helyi kerámiatípusának tekinthetjük, amit először ezen a lelőhelyen sikerült kimutatni. Ennek a „Kapos-völgyi” típusú kerámiának több, különféle anyaggal soványított alcsoportjait is elkülönítettük. Az egyik – mészköves soványítású – csoport kapcsolatba hozható a Balaton parti mészköves soványítású kerámiaanyaggal. Kaposváron ez a típus, a mészköves soványítás mellett, egy nagyon jól osztályozott nyersanyagból is készült (10. ábra), amely nyersanyag csak ennél

a típusnál jelenik meg, amely specializációra utal. A számos vizsgált kerámiatípus igen változatos nyersanyagokból és soványítással készült, de a gyorskorongolt kerámiák mutatják a legfinomabb nyersanyagokat (**11. ábra**).

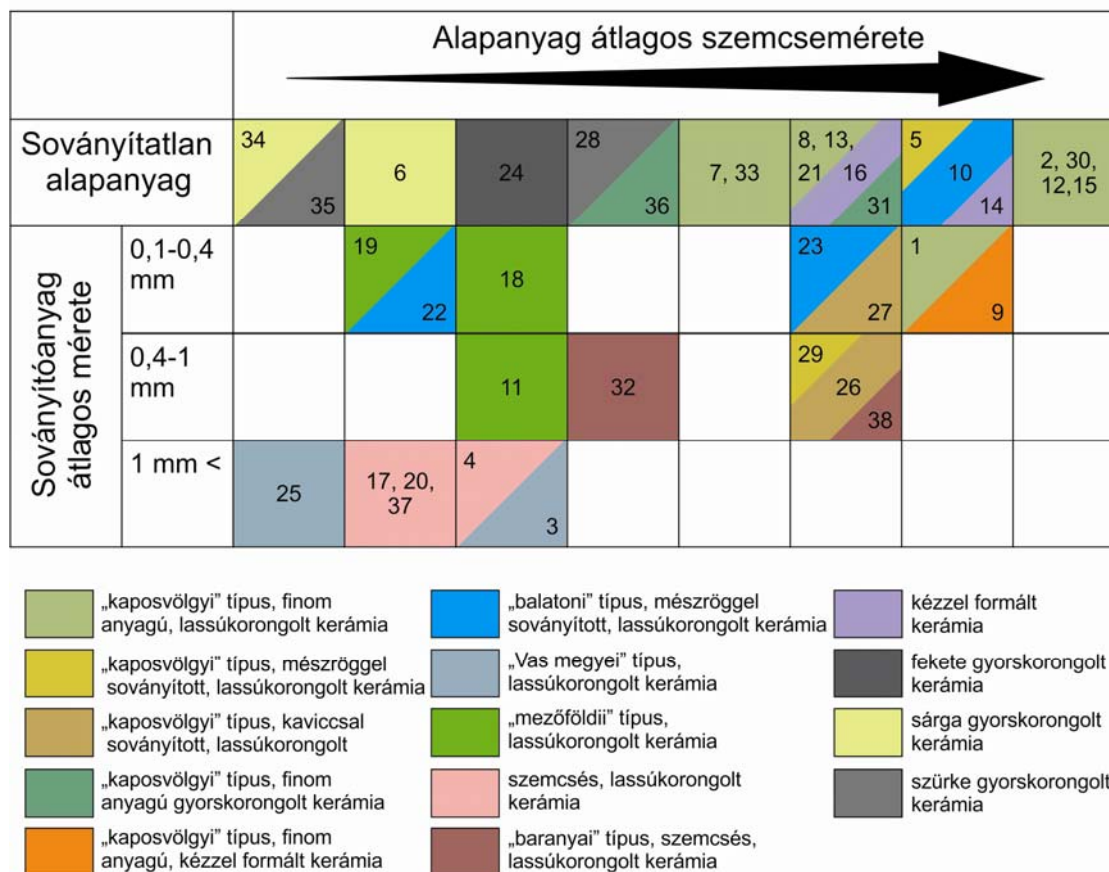
A kaposvári avar település leletanyagában a helyi eredetű kerámia mellett a környező régiókból származó „import” kerámiaanyag is jól kimutatható. A kelet-dunántúli specializált műhelyek anyagán (gyorskorongolt szürke, majd sárga kerámia – ez utóbbi a telepényekre nem

jellemző magas számban van jelen) kívül szép számmal előfordulnak a „mezőföldi-típusú” kerámia nagyméretű főzőfazék változatai, de Baranya megye későavar temetőinek jellegzetes szemcsés lassúkorongolt kerámiái is. A petrográfiai vizsgálatok alapján a „mezőföldi-típusok” a mezőföldi eredetet sugallják, a baranyai típusok összetétele pedig valóban a mecseki eredetet erősíti meg. A Kaposvárról vizsgált különböző típusú import kerámiák kiterjedt kereskedelemi kapcsolatokra utalnak (**2. táblázat**), amely összefüggésbe hozható a vasgyártással.

2. táblázat: Kerámia típusok mintáinak vélt származási helye

Table 2.: Assumed provenance of the examined samples of different ceramic types

Típus	Helyben készült kerámiák	Feltételezeten helyben készült kerámiák	Import kerámiák	Feltételezett import kerámiák
1. „kaposvölgyi” típusú, finom anyagú, lassúkorongolt	2., 7., 8., 12., 13., 15., 21., 30., 33.			
2. „kaposvölgyi” típusú, mészkővel soványított, lassúkorongolt	5., 29.			
3. „kaposvölgyi” típusú, kavicsal soványított, lassúkorongolt	26., 27.			
4. „kaposvölgyi” típusú, finom anyagú, gyorskorongolt	36., 31.			
5. „kaposvölgyi” típusú, finom anyagú, kézzel formált	9.			
6. „balatoni” típusú, mészkővel soványított, lassúkorongolt		10., 22., 23		
7. „Vas megyei” típusú, lassúkorongolt			3., 25	
8. „mezőföldi” típusú kerámia, lassúkorongolt				11., 18., 19.
9. „szemcsés”, lassúkorongolt			17., 20., 37	
10. „baranyai” típusú, szemcsés, lassúkorongolt			32., 38	
11. kézzel formált	14., 16.			
12. fekete gyorskorongolt	24.			
13. sárga gyorskorongolt	6., 34., 39., 40.			
14. szürke gyorskorongolt	28., 35.			



11. ábra: A petrográfiai vizsgálatok során felállított csoportok kerámia típusokkal való kapcsolata

Fig. 11.: Relationship between petrographic groups and ceramic types

A kutatási projekt archeobotanikai vizsgálatai

Az avar kori vaskohászatban használt faalapú tüzelő és redukáló anyagok (tűzifa, faszén) közelebbi ismeretét, valamint az avar kori vaskohászati központok egy tágabb gazdaságtörténeti (vö. növény- és tájhasznosítási modellek) keretben való elhelyezését segítik elő az archeobotanikai vizsgálatok. A vizsgálatba vont minták makro- és mikro-archeobotanikai elemzése tovább részletezi az egyes avar populációk növénytermesztéshez és tájhasználatához való viszonyát.

Karpológiai vizsgálatok

Zamárdi 56. számú régészeti lelőhelyének késő avar kori (7-9. század) régészeti objektumaiból összesen 13 db talajminta került feldolgozásra. Ezek a minták ércpörkölő gödröket, hamus gödröket, épületeket, illetve további régészeti kontextusokat jelenítenek meg.

Az objektumbetöltésből származó antropogén üledékmintákat a standard archeobotanikai protokoll szerint kezeltük (Gyulai 2001; Kenward et al. 1980). A növényi makro-maradványok

identifikálása elsősorban az összehasonlító mag- és termésgyűjteményünkben található recens diaszpórákkal való összevetéssel történt, de meghatározásukhoz meghatározókat és archeobotanikai tanulmányokat is felhasználtunk (Schermann 1967, Cappers et al. 2006). Eredményeinket az egyéb avar kori lelőhelyeken talált növénymaradványokkal is összevetettük (Hartványi et al. 1968, Gyulai et al. 1992, Gyulai 1998, Gyulai 2010).

Az archeobotanikai makro-maradványok száma sajnálatos módon alacsony volt. Ennek oka valószínűleg az, hogy a feldolgozásra kapott talajminták többnyire ércmegmunkálással kapcsolatos objektumokból származnak. Ilyen helyeken ritkán találni magvakat, éppen ezért jelentőségük felértékelődik. A magkoncentráció értékek 0,5–2,3 db mag/kg között ingadoznak.

Összesen 6 növényfaj 35 magját/termését, valamint 73 db ételmaradvány töredékét találtuk meg. A következő gabonafajok szénült szemeit találtuk meg: árpa (21 db), köles (1 db), közönséges vagy vetési búza (1 db). A gabonaszemek arányából következően meghatározó lehetett az árpa termesztése és fogyasztása. A 11 db árpaszem

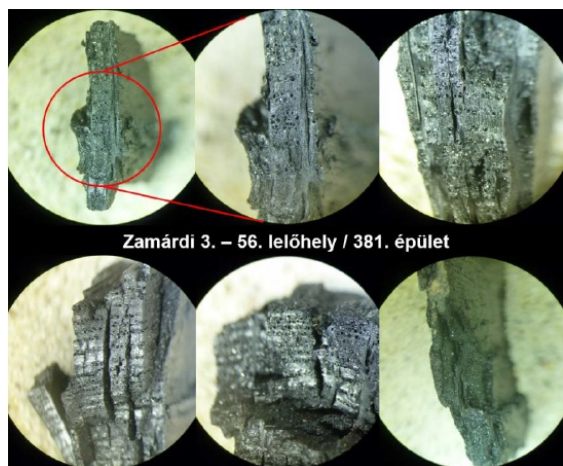
(*Hordeum vulgare* L.) töredék és a szemek jó megtartása miatt közelebből is meghatározható 10 db többsoros (négy/hatsoros) árpaszem (*Hordeum vulgare* L. subsp. *polystichum*) bizonyítja ezt. A köles (*Panicum miliaceum* L.) is jelentős kasanövény lehetett, bár mindössze 1 db szenült, csévelt és pelyvátlanított, tehát mindenképpen feldolgozott szemét találtuk meg. Mindamellát a fejlettebb agrikultúrát igénylő közönséges vagy vetési búza (*Triticum aestivum* L. subsp. *vulgare*) is előfordult itt, még ha csak 1 db szemterméssel is. Ősi pelyvás búza (alakor, tönke) szemtermését egyáltalán nem találtunk.

Az egykori telep emberjárta részeiből (ruderaliák) származó gyomok egy-egy magját is kimutattuk: fehér libatop (*Chenopodium album* L.), porcsin- vagy madárkeserűfű (*Polygonum aviculare* L.), fekete csucor (*Solanum nigrum* L.). Az egykori ruderalis (taposásos) növénytársulás eme fajainak magjait megtaláljuk minden olyan emberi behatásnak kitett területen (árkok, utak mentén, töltésoldalakon, parlagon, épületek környékén), ahol a talaj nitrogénben gazdag.

Anthrakológiai vizsgálatok

Anthrakológiai vizsgálatot 4 db faszén-mintán végeztünk, amelyek Zamárdi 56. lelőhelyről származnak. Ezek a minták egy épületből és két ércpörkölő gödörből kerültek elő.

A mintákon azonosításra alkalmas felületek létrehozása a cél, főként a transzverzális oldalon. A minták felületének megtisztítását követően makroszkópos vizsgálatot és leírást készítettünk, amelyet mikroszkópos vizsgálat követett. A minták az azonosítást követően mind faanatómiai, mind taxonómiai besorolásra kerültek (Babos 1994).



12. ábra: Zamárdiban előkerült szenült faanyag-mintacsoportra jellemző keresztmetszetek optikai mikroszkópos képei

Fig. 12.: OM-images of a charcoal sample from Zamárdi

A zamárdi lelőhelyről előkerült famaradványok jó megtartású szenült minták (**12. ábra**), amelyek mindegyike lombos fától, faanatómiai szempontból gyűrűslikacsú lombos fától (Babos 1994, Molnár et al. 2007) származik. Fajok tekintetében megállapítható, hogy a minták tölgyfajoktól, kocsányos és kocsánytalan tölgyektől (*Quercus robur* és *Quercus petraea*) származnak (Simon 2000).

Az archeobotanikai vizsgálatok következtetései

Az avarok növényhasznosításával kapcsolatos ismereteink a nagyfelületű leletmentő ásatások elterjedésével ugrásszerűen megnövekedtek. Az elmúlt időszakban egyre nagyobb számban feltárt avar kori telepek, teleprészetek kifejezetten jó alapot szolgáltatnak arra, hogy az avar társadalom mezőgazdaság-történetével, illetve a környezetükben elérhető növények hasznosításával kapcsolatban kiterjesszük tudásunkat (többek között pl. Pető és Herendi 2012; Pető et al. 2012; Herendi és Pető 2015; Kenéz és Pető 2015; Rapan Papeša et al. 2015).

A zamárdi lelőhelyről származó karpológiai és anthrakológiai adatok ugyan szegényesek és egysíkúak, de összefüggést mutatnak az eddigi ismereteinkkel a kor társadalmának növényhasznosítását illetően. Jelen esetben is – ahogyan a hasonló életstratégiát követő szarmaták esetében – megvannak a nomád gyökerekkel rendelkező népségek fő gabonafajai, mint az árpa és a köles, ugyanakkor a kenyérbúza előkerülése már egy modernebb, fejlettebb mezőgazdasági tevékenység lehetséges hírnöke.

Az árpa és a köles túlsúlya jellemző az avar kor valamennyi szakaszára (Gyulai 2011). Mindez erős nomád hagyományokon alapuló, de letelepült növénytermesztés eredménye (Pető et al. 2016). A késő avar korban mindez némileg kiegészül a közönséges vagy vetési búza termesztésével, különösen a dunántúli lelőhelyeken (Gyulai 2010).

A gyomok megjeleníthetik a fent említett őszi és tavaszi vetésű gabonafajok termőhelyét, de a taposott szántóföld szegélyekből vagy a telepen belüli ösvények szegélyzónáiból is származhattak (madárkeserűfű, fekete csucor). Szintén a csapások, utak bolygatott növénytársulásait jelzi a fehér libatop számunkra.

Az adott lelőhelyeken a faszén kiemelt jelentőséggel bírt, mint a vaskohászati tevékenység tüzelő és redukáló anyaga (csak az előhevítési, előpörkölési munkákat végezheték tűzifával is). A lelőhely kiterjedéséhez mérten (Gallina 2011), a sajátos környezet miatt minden bizonnyal relatíve nagy tömegben jelenlévő faszén előkerült mintái vélhetően a technológiai jellemzők mellett a tágabb környezetet is reprezentálhatják. Továbbá a jelentősebbnek tekinthető faszénigény felveti a

kérdést, hogy távolabbi területekről is származott-e faanyag, illetve nyers vagy már szenített állapotban érkezett-e a lelőhelyre.

Összefoglalás

Publikációnk főcímével megegyező elnevezésű, komplex projektünk itt közölt, Zamárdi-Kútvolgy és Kaposvár-Fészerlak lelőhelyekről származó leletek archeometriai vizsgálatainak eredményeit összegezve elmondható:

- A salakleletek kémiai, mikroszerkezeti és ásványtani vizsgálatai alapján nagy biztonsággal különválaszthatók egyrészt a kohósítás folyamatán belül képződött salakok (folyósalak és kemencesalak), illetve meghatározhatók a bucatömörítés és kovácsolás salakjainak jellegzetességei is (pl. réteges szerkezet, wüstit és leucit markáns előfordulása).

- A fémtárgyak metallográfiai vizsgálata alapján kiderült, hogy az avarok többféle kovácsolási módszert is alkalmaztak. Nagyobb számban talákoztunk különböző karbon tartalmú rétegek többszöri, közepes erővel való összekovácsolásával előállított tárggyal.

- Kaposváron a helyi eredetű kerámia leginkább soványítatlan, jó minőségű, sötétvörösre-barnászörösrre égetett anyagból készült termékei mellett a környező régiókból származó kerámiaanyag is jól kimutatható.

- A kerámiák tipokronológiája alapján a Kaposváron előkerült mezőföldi típusok „receptje” hasonló a Zamárdin megfigyeltékhez, de a nyersanyagok összetétele eltér.

- Az archeobotanikai vizsgálatok kimutatták az árpa dominanciáját, illetve a faszén-minták kocsányos és kocsánytalan tölgytől való származását, amely a vaskohászati tevékenység szempontjából is lényeges információ.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítése, illetve az ahhoz szükséges kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával történt (NKFIH K 116396 nyilvántartási számú támogatási szerződés, illetve kutatási program).

Az említett NKFIH-projektünk kutatói csapatához tartozik Gallina Zsolt, aki a szóban forgó ásatások vezető régészeként a régészeti leleteket, hasznos információkkal ellátva, rendelkezésünkre bocsátotta, és Gömöri János, a korai középkori vaskohászat régészeti emlékeinek hosszú évtizedek óta elismert kutatója is, aki tanácsaival segítette publikációnkat. Ez úton is köszönjük mindkettőjük közreműködését.

Az archeobotanikai kutatás részben a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával is történt.

Irodalom

BABOS K. (1994): *Faanyagismeret és fafaj-meghatározás restaurátoroknak*. Magyar Nemzeti Múzeum, Budapest, 153 p.

BUCHWALD, V.F., (2005): *Iron and steel in ancient times*. Historisk-filosofiske Skrifter 29, The Royal Danish Academy of Sciences and Letters, Copenhagen 96–99, 127, 136.

CAPPERS, R.T.J., BEKKER, R.M. & JANS, J.E.A. (2006): *Digital Seed Atlas of the Netherlands / Digitale Zadenatlas van Nederland*. Barkhuis, Nederland, 502 pp.

DEER W. A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1997): *Rock-forming minerals. Volume 1A, Orthosilicates*. London: The Geological Society, 132.

GALLINA, Zs., HORNOK, P. & SOMOGYI, K. (2007): Előzetes jelentés a Zamárdi, Zamárdit elkerülő 65101. sz. út 89., 58/a., 58/b., 56. lelőhelyeinek feltárásáról. – Preliminary report of the excavations of the 89, 58/a, 58/b, 56. sites on the encircling road No. 65101. around Zamárdi. *Somogyi Múzeumok Közleményei* 17/A 153–168.

GALLINA, Zs. & HORNOK, P. (2006): Avar kori vaskohászati centrum Zamárdiban (Magyarország, Somogy megye). – Avar-aged metallurgical centre in Zamárdi (Hungary, Somogy county). VIII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Sepsiszentgyörgy, 161–170.

GALLINA, Zs. (2002): Avar kori kohótelep Kaposvár-Fészerlakon. *Somogyi Múzeumok Közleményei* 15 75–85.

GALLINA, Zs. (2011): Avar kori vaskohászati és települési centrum Zamárdiban. A Barbaricum ösvényein. Konferenciakötet. *Archaeologia Cumanica* 1 179–198.

GÖMÖRI, J. & TÖRÖK, B. (2002): Technical Examination of the Early Medieval Ferrous Metallurgical Finds from Hungarian Sites. In: JEREM E. & T. BIRÓ K. eds., *Archaeometry 98, Proceedings of the 31st Symposium*, Budapest (1998), *British Archaeological Reports, International Series* 1043 (II), Oxford: Archeolingua, 375–381.

GÖMÖRI, J. (2000): *Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat*; Soproni Múzeum és MTA VEAB kiadványa, Sopron, 373 p.

GYULAI F. (1998): A Kis-Balaton térségének archeobotanikai kutatási eredményei. A Kis-Balaton térségének magasabbrendű növényzetével kapcsolatos kutatási eredmények. Magyar Hidrológia Társaság és a NYUVIZIG konferenciája, Keszthely, 1998. március 24., 17–24.

GYULAI F. (2001): *Archaeobotanika*. Jászöveg Műhely, Budapest, 240 p.

GYULAI, F. (2010): *Archaeobotany in Hungary. Seed, Fruit, food and beverage remains in the Carpathian Basin from the Neolithic to the Late Middle Ages*. Archaeolingua, Budapest, 478 p.

GYULAI F. (2011): Újabb eredmények a késő népvándorláskor archaeobotanikai kutatásában: magvak és tanulságok. In: KOLOZSI B. & SZILÁGYI K. A. szerk.; Sötét idők falvai. 8-11. századi települések a Kárpát-medencében. 2006-ban Debrecenben megrendezett konferencia I. kötete. *Tempora Obscura*, Debrecen, 417 p., 209–252.

GYULAI, F., HERTELENDI, E., SZABÓ, I. (1992): Plant remains from the early medieval lakeshore settlement Fonyód-Bélatelep (Lake Balaton, Hungary) with especial emphasis on the history of fruit cultivation in Pannonia. *Vegetation History and Archaeobotany* 1, 177–184.

HARTYÁNYI B., NOVÁKI Gy., PATAY Á. (1968): Növényi mag- és termésleletek Magyarországon az újkőkortól a XVIII. sz.-ig I. *Magyar Mezőgazdasági Múzeum Közleményei*, 5–85.

HECKENAST, G., NOVÁKI, Gy., VASTAGH G. & ZOLTAY E. (1968): *A magyarországi vaskohászat története a korai középkorban*; Akadémiai Kiadó, Budapest,

HERENDI O. & PETŐ Á. (2015): Avar kori településnyom Hódmezővásárhely–Kopáncs I., Olasz-tanya lelőhelyen. Egy félig földbemélyített épület régészeti és természettudományos értékelése. In: TÜRK A. szerk., Hadak Útján XXIV. A népvándorláskor fiatal kutatóinak XXIV. konferenciája. *Studia ad Archaeologiam Pazmaniensia* Vol. 3.1, A PPKE BTK Régészeti Tanszék kiadványai – MTA BTK Magyar Őstörténeti Témacsoport Kiadványok. Archaeolingua Kiadó, Budapest–Esztergom, 2015, 831–857.

KENÉZ Á. & PETŐ Á. (2015): Szőlőmaradványok egy avar fegyveres férfi sírjából Dunaszentgyörgy–Kaszás-tanya lelőhelyről. In: Hadak Útján XXIV. A népvándorláskor fiatal kutatóinak XXIV. konferenciája. *Studia ad Archaeologiam Pazmaniensia* Vol. 3.1, Szerk.: TÜRK A., A PPKE BTK Régészeti Tanszék kiadványai – MTA BTK Magyar Őstörténeti Témacsoport Kiadványok. Archaeolingua Kiadó, Budapest–Esztergom, 2015, 691–706.

KENWARD, H.K., HALL, A.R. & JONES, A.K.G. (1980): A tested set of techniques for the extraction of plant and animal macrofossils from waterlogged archaeological deposits. *Science and Archaeology* 22 3–15.

MEHOFER, M. (2010): Archäologische und technologische Untersuchungen zur Eisenverhüttung und Verarbeitung in der awarischen Siedlung von Zillingtal/Burgenland, In: HEROLD, H. ed., *Die awarische Siedlung von Zillingtal*, Monographien des RGZM 80,2, Mainz 207–234.

MOLNÁR S., PESZLEN I. & PAUKÓ A. (2007): *Faanatómia*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 224 p.

PÁNCZÉL-BAJNOK, K., PÁNCZÉL, P., SZAKMÁNY, GY. & VIDA, T. (2014): 5–6. századi, Pannonia területéről származó kerámiák archeometriai elemzése. *Archeometriai Műhely* XI/1 1–12.

PETŐ Á. & HERENDI O. (2012): Fitolitkutatósi adatok a Hódmezővásárhely–Kopáncs II. lelőhely (Csongrád megye) környezeti rekonstrukciójához és archaeobotanikai elemzéséhez (Phytolith research data for the environmental reconstruction and archaeobotanical analysis of Hódmezővásárhely–Kopáncs II. [Csongrád County] archaeological site). In: KVASSAY J. szerk., Évkönyv és jelentés a Kulturális Örökségvédelmi Szakszolgálat 2009. évi feltárásairól.: Budapest, 431–459.

PETŐ Á., KENÉZ Á., HERENDI O. & GYULAI F. (2012): A késő avar kor növényhasznosítási és tájgazdálkodási potenciáljának értékelése egy dél-alföldi telepen végzett mikro- és makroarchaeobotanikai vizsgálat tükrében (Assessment of potential plant exploitation and land use of the Late Avar period in the light of micro- and macroarchaeobotanical analyses of an archaeological site in Southeastern Hungary). In: KREITER A., PETŐ Á. & TUGYA B. szerk., *Környezet – Ember – Kultúra. A természettudományok és a régészet párbeszéde*. Magyar Nemzeti Múzeum Nemzeti Örökségvédelmi Központ 2010. október 6–8-án megrendezett konferenciájának tanulmánykötete. Budapest 2012, 181–194.

PETŐ Á., KENÉZ Á., SALÁTA D. & GYULAI F. (2016): Régészeti növénytan adatok a késő avar kor növénytermesztési és növényhasznosítási szokásaihoz. „Hadak útján”. A népvándorláskor fiatal kutatóinak XXVI. konferenciája. 2016. november 3–4. ELTE BTK Régészettudományi Intézet, Budapest. Összefoglaló, 13.

PLEINER, R. (2000): *Iron in Archaeology – The European Bloomery Smelters*. Archeologický ústav AV ČR, Praha 262–263.

RAPAN PAPEŠA A., KENÉZ Á. & PETŐ Á. (2015): Arheobotanička analiza uzoraka iz kasnoavarodobnih grobova iz Nuštra (istočna Hrvatska). The Archaeobotanical Assessment of Grave Samples from the Avar Age Cemetery of Nuštar (Eastern Croatia). *Prilozi Instituta za*

arheologiju u Zagrebu (bilingual research paper). **32** 261–288.

SCHERMANN Sz. (1966): *Magismeret I-II*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 861 pp.

SELSKIENÉ, A. (2007): Examination of smelting and smithing slags formed in bloomery iron-making process. *Chemija* **18/2** 22–28.

SIMON T. (2000): *A magyarországi edényes flóra határozója. Harasztok – Virágos növények*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 976 p.

SKRIBA, P. (2011): Késő avar sírkerámia az Avar Birodalom nyugati részén. In: Borhy L. – Szabó D.: Doktori képzés az ELTE Régészettudományi Intézetében 2008 és 2010 között. *Archaeológiai Értesítő* **136** 297–312.

TÖRÖK, B. (1999): Latest Technical Examinations (1995–1997) of Medieval Iron Slags Found in Hungary – Metallurgical Processes in the Medieval Bloomery. In: MIHOK, L. & MIROŠŠAYOVÁ, E. eds., *Archaeometallurgy in the Central Europe*, Košice : Archeologický ústav Slovenskej Akadémie Vied Nitra, 213–218.

TÖRÖK, B. (2008): Alföldi jellegű egykori településeken feltárt 10. és 13. századi vaskohászati emlékek archeometallurgiai vizsgálata. In: WANEK F. szerk. X. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Nagyszeben, 99–105.

TÖRÖK B. (2011): A Cegléd 4/14.; 4/17. és 4/19. számú Árpád-kori lelőhelyekről származó vassalakok és vastörredékek műszaki vizsgálata. *Studia Comitatus* **31** 444–450.

TÖRÖK B. & KOVÁCS Á. (2009): Avar vastárgyleletek szövetszerkezetének elektron-mikroszkópos vizsgálata. Examinations of metallographic structure of Avar iron finds by electron microscope. In: WANEK F., szerk., XI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Máramarossziget, 91–95.

TÖRÖK, B. & KOVÁCS, Á. (2010): Crystallization of Iron Slags Found in Early Medieval Bloomery Furnaces. *Materials Science Forum* **649**, 455–460.

TÖRÖK, B. & KOVÁCS, Á. (2011a): Materials Characterization of Iron and Slag Finds of the Early

Medieval Avar Metallurgists. Proceedings of the 15th International Metallurgy & Materials Congress, Istanbul, 386–397.

TÖRÖK, B. & KOVÁCS, Á. (2011b): Kora középkori gepida kard archeometallurgiai vizsgálata. *Archeometriai Műhely* 2011/VIII./4, 337–343.

TÖRÖK B. & KOVÁCS Á. (2016): Csanádpalota II. Homokbánya lelőhelyen talált vas és nemesfém tárgyak anyagvizsgálata és készítés-technológiai jellemzői. In: TÜRK, A. *Hadak útján XXIV*. Magyar Őstörténeti Témacsoport Kiadványai, Esztergom, 777–784.

TÖRÖK, B., BARKÓCZY, P., KOVÁCS, Á., GYUCHA, A. & GULYÁS, Gy. (2013a): Szkíta vasfegyverek mikroszerkezete és készítési jellemzői. *Gesta XIII*. (2013); *Archaeometria és Régészet*, 14–24.

TÖRÖK, B., KOVÁCS, Á., BARKÓCZY, P. & KRISTÁLY F. (2013b): Ordacsehi-Csereföld kelta településéről származó vassalak és vastárgyak anyagvizsgálata és készítés-technológiai vonatkozásai. *Archeometriai Műhely X/1* 23–32.

TÖRÖK, B. – KOVÁCS, Á. – BARKÓCZY, P. & KRISTÁLY, F. (2014): Complex Archaeometrical Examination of Iron Tools and Slag from a Celtic Settlement in the Carpathian Basin; *Proceedings of the 39th International Symposium for Archaeometry*, Leuven. 125–134.

TÖRÖK, B., KOVÁCS, Á. & GALLINA, Zs (2015): Ironmetallurgy of the Pannonian Avars of the 7–9th century based on excavations and material examination. *Der Anschnitt, Beiheft* **26** 229–237.

TÖRÖK, B., GYUCHA, A., BARKÓCZY, P., KOVÁCS, Á. & GULYÁS Gy. (2016): Passage of technologies – an archaeometric case study of iron artifacts of a Scythian Age grave from the Carpathian Basin; In: DELFINO, D., PICCARDO, P. & BATISTA, J.P., *Networks of Trade in Raw Materials and Technological Innovations in Prehistory and Protohistory, an Archaeometry approach*. Archaeopress Archaeology **Volume 12**, 39–50.

TYLECOTE, R. F. (1986): *The Prehistory of Metallurgy in the British Isles*, London: The Institute of Metals, 176.