

HAJDÚNÁNÁS, MÁCSI-DŰLŐ ÉS HAJDÚNÁNÁS, FEKETE-HALOM AVAR KORI TELEPÜLÉSEK SALAKANYAGÁNAK RÉGÉSZETI ÉS ARCHEOMETRIAI ELEMZÉSE

ARCHAEOLOGICAL AND ARCHAOMETRICAL INVESTIGATION OF FINDS FOUND IN THE LATE AVAR AGE SETTLEMENTS AT HAJDÚNÁNÁS, MÁCSI- DŰLŐ AND HAJDÚNÁNÁS, FEKETE-HALOM (COUNTY HAJDÚ-BIHAR, HUNGARY)

BAJKAI ROZÁLIA¹; B. KISS GABRIELLA²; DÓDONY ISTVÁN³

¹ MTA, Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet, Budapest

^{2,3} ELTE Természettudományi Kar, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Földtudományi Központ, Ásványtani Tanszék, Budapest

E-mail: bjakai.rozalia@mta.btk.hu; gabriella.b.kiss@ttk.elte.hu; dodony@t-online.hu

Abstract

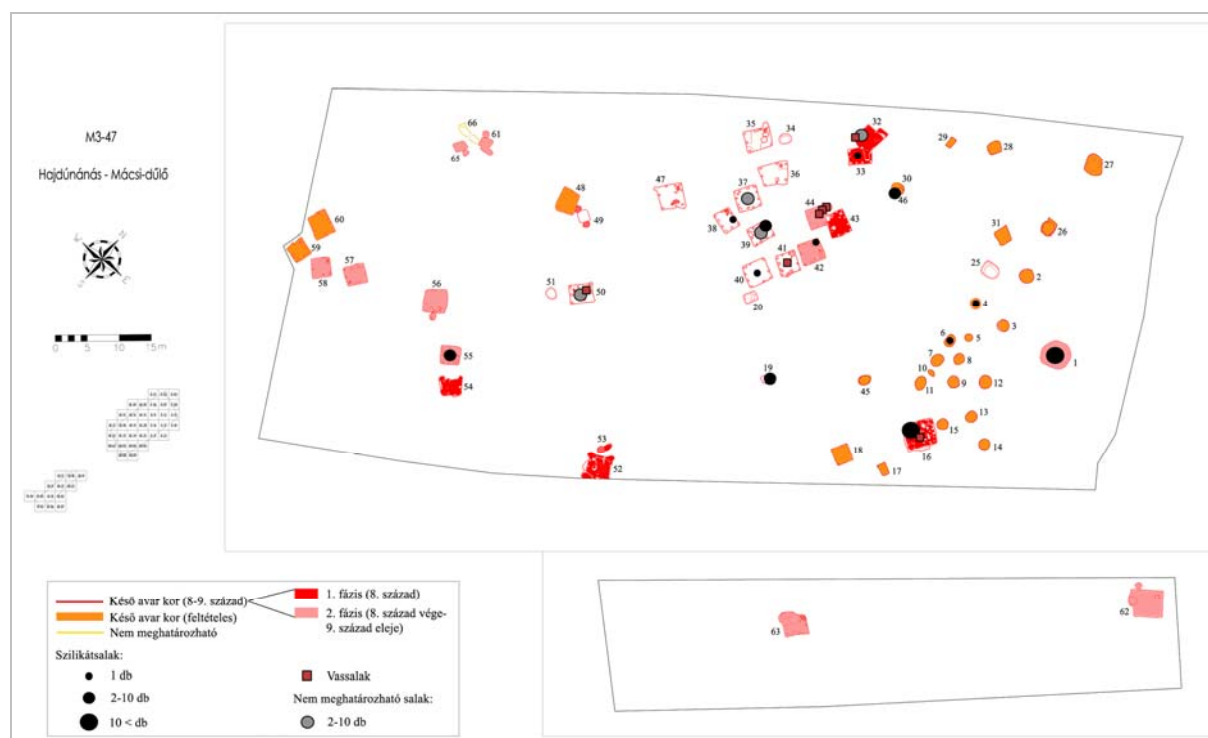
Iron slags represent almost the only traces of Avar Age metalworking in the Great Hungarian Plain. However, these artefacts are still disregarded among the archaeological material of a settlement. The slag samples from the sites Hajdúnánás, Mácsi-dűlő and Hajdúnánás, Fekete-halom were found in secondary archaeological context; objects related to metal working, smithing or smelting were not found in the area. Therefore the main aim of our macroscopical investigations, analyses by polarizing microscope, scanning electron-microscope (SEM-EDS) and X-ray diffractometer (XRD) was to obtain detailed data for documentation purposes as well as to draw the possible conclusions about the metal working. Based on the appearance, the mineralogical composition and the small amount of the slags, it is not possible to determine for sure, to which metal is their origin related. However, the copper and base metal free composition of the main components (glass and fayalite) would support the iron working related origin. The texture let us assume a local smithy in the settlements, which is also supported by the studied iron tools, whose composition also points to the presumed local smithy. On the basis of the element association of Ni, Cu, As, Sb identified by SEM-EDS analyses (and the missing of P and Mn) we can exclude the bog iron ore origin. The region around Dobsina/Dobšiná, Alsósajó/Nižná Slaná, Rozsnyó/Rožňava, Szomolnok/Smolník (Slovak Ore Mountains) 150-200 km away can be hypothesised as the potential source ore deposit, containing a siderite-sulphide mineralisation. This provenance and the long delivery route is unique in the Avar Age, although the ore deposits of the region could have been known in earlier times as well. The raw metal could arrive in the form of iron bloom to the sites, where the smith shaped it to iron tools.

Kivonat

A késő avar kori Alföldet tekintve a korabeli fémművességre utaló nyomokat szinte kizárólagosan a fémalakok képviselik, melyekre alapvetően kevés figyelmet fordított a kutatás a települések leletanyagai között. Hajdúnánás mácsi-dűlői és fekete-halmi települések salaktöredékei másodlagos régészeti kontextusból származnak és a területen nem ismert fémművességre, kovácsolásra, vagy kohósításra utaló jelenség. Éppen ezért az elvégzett makroszkópos, polarizációs mikroszkópos, pásztázó elektronmikroszkópos és röntgen pordiffrakciós vizsgálatok alapvető célja a minél részletesebb dokumentáció mellett a fémművességgel kapcsolatosan kinyerhető információk megszerzése volt. A salakok megjelenése, ásványos összetétele és kis mennyisége alapján nem dönthető el biztosan, hogy milyen fém feldolgozásához köthető az eredetük, ugyanakkor a fő alkotók (üveg és fayalit) réz- és színesfém mentes kémiai összetétele a vasművességhez kapcsolódó keletkezést támasztja alá. Szöveti jellemzők alapján kovácsoláshoz kötődő eredetet valószínűsíthetünk, amit megerősít az, hogy a kutatás során vizsgált vas eszközök összetétele kapcsolatot feltételez a salakok által sejtetett lokális kovácsműhellyel. A vas mellett azonosított Ni, Cu, As, Sb elemasszociáció alapján (valamint a P és Mn hiánya miatt) kizárható a gyevasérc eredet. Egy viszonylag közeli (150-200 km) potenciális érc származási területként a Kárpátokban Dobsina/Dobšiná, Alsósajó/Nižná Slaná, Rozsnyó/Rožňava, Szomolnok/Smolník környékén megjelenő sziderites-szulfidos ércesedést lehet megjelölni. Ez a beszerzési terület, ill. a hosszú szállítási útvonal teljesen unikális a korszakban, bár ércbázisai korábban is ismertek voltak. Feltételezhetjük, hogy a nyersanyag szállítható vasbucsa formájában került a fenti településekre, ahol kovácsolással tovább alakították azt.

KEYWORDS: LATE AVAR AGE, IRON SLAG, SILICATE SLAG, SMITHING

KULCSSZAVAK: KÉSŐ AVAR KOR, VASSALAK, SZILILÁTOS SALAK, KOVÁCSOLÁS



1. ábra: Hajdúnánás, Mácsi-dűlő 8-9. századi településrészlet térképe a részletes kronológiai fázisokkal és az objektumokból előkerült salakok típusonkénti eloszlásával

Fig. 1.: Map of the 8th-9th century settlement section from Hajdúnánás, Mácsi-dűlő with the chronological phases and with the excavated slugs of different types

Bevezetés, a lelőhelyek ismertetése

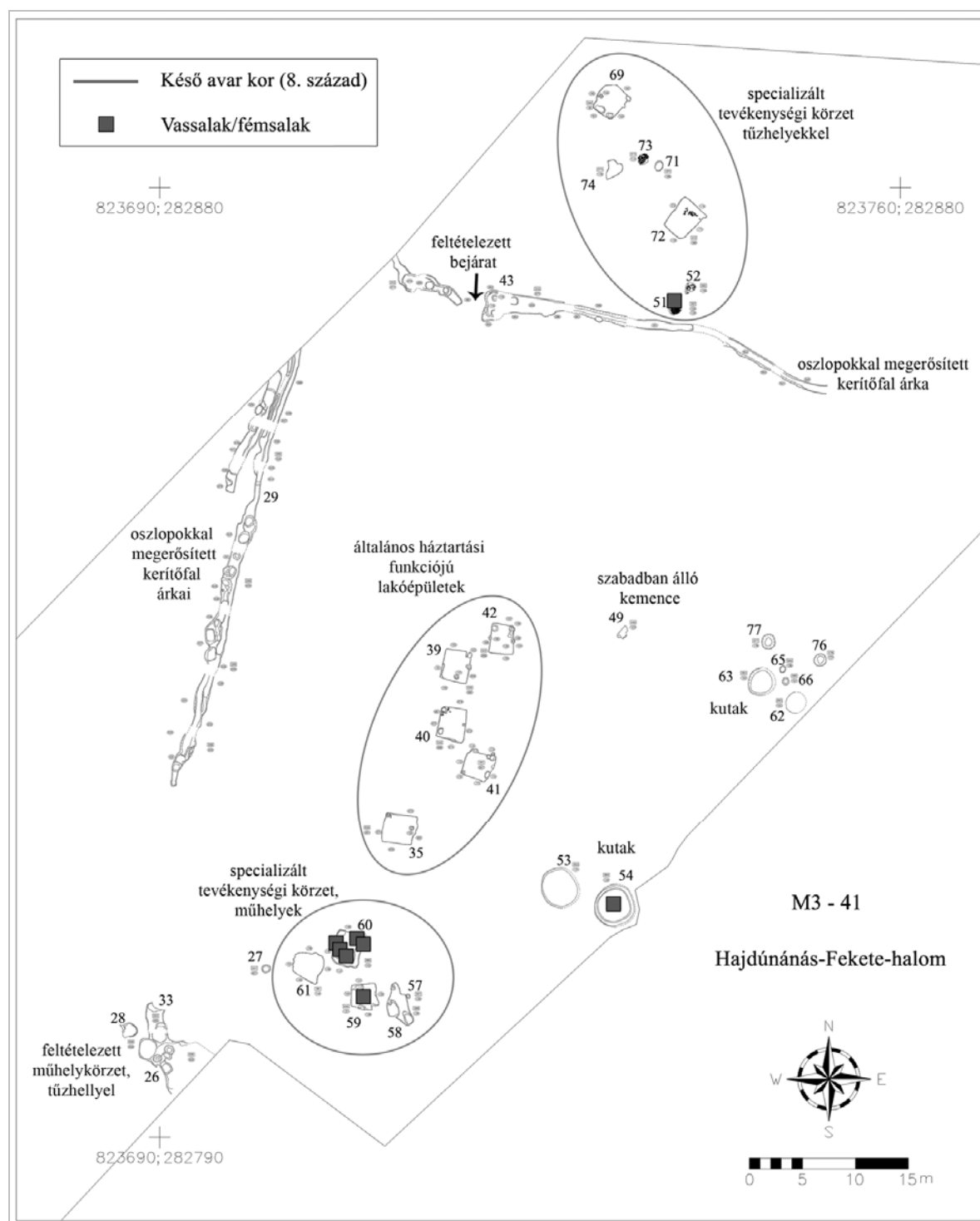
Hajdúnánás – Fekete-halom (M3-41) és Hajdúnánás – Mácsi-dűlő (M3-47) lelőhelyeket az M3-as autópálya építését megelőző feltárások során 2003-ban, illetve 2005-ben tárta fel az Eötvös Loránd Tudományegyetem Régészettudományi Intézete és a Hajdú-Bihar Megyei Múzeumok Igazgatósága (ma: Déri Múzeum); előbbi Raczy Pál, Anders Alexandra és Nagy Emese Gyöngyvér, utóbbit Sebők Katalin és V. Szabó Gábor vezetésével. Mácsi-dűlő lelőhelyen 9415 m² területen egy 8-9. századra keltezhető település legalább 34, maximum 60 objektuma került elő: félig földbemélyített gödörházakkal, gödrökkel, szabadban álló kemencékkel és egy kúttal (**1. ábra**). Fekete-halom lelőhelyen 9600 m² területen egy 8. századra keltezhető település legalább 12, maximum 32 objektuma került elő: félig földbemélyített gödörházakkal, gödrökkel, szabadban álló kemencékkel, tűzhelyekkel, kutakkal és árkokkal (**2. ábra**).

Mindkét késő avar kori településen az objektumokból nagyobb mennyiségben kerámia, kisebb részben állatsontok, csonteszközök, vastárgyak, salakok, tapasztások, köeszközök és kötőredékek kerültek elő. A csontárák és kaparók bőrfeldolgozással vagy egyéb tevékenységgel (textilkészítés, varrás, kéreg megmunkálása)

hozhatók összefüggésbe, míg a kézi malomkö töredékek és marokkövek gabonaörlésre, valamint zöldségek, gyümölcsök összezúzására, magok tisztítására szolgálhattak (Bajkai 2012; Bajkai 2014; Bajkai 2015). Mácsi-dűlőn összesen 17 objektumból került elő fémsalaknak vagy szilikátsalaknak meghatározható lelet, ezzel szemben a fekete-halmi településen négy objektum betöltésében voltak fémsalakok: minden esetben másodlagos régészeti kontextusból származnak. Míg a mácsi-dűlői lelőhelyen területileg a salakok a feltárt településrész K-i/ÉK-i és középső részén csoportosultak, addig a fekete-halmi telepen a salakok az általános háztartási funkcióval (lakás) bíró épületek mellett létezett, talán specializált tevékenységgel (műhelyek?) bíró területi egységből kerültek elő (Bajkai 2015) (**1-2. ábra**). Megjegyzendő azonban, hogy egyik településen sem került elő régészetiileg azonosíthatóan kohó vagy kovácsműhely maradványa.

Kérdésfeltevések

A két hajdúsági, késő avar kori település salakjainak vizsgálata még manapság is ritkaságszámba menő vállalkozás, jól kiegészíti Török és mtsi. (2015 és a benne található hivatkozások) évek óta tartó, nyugat-magyarországi munkásságát.



2. ábra: Hajdúnánás, Fekete-halom 8. századi településrészlet térképe a lehetséges funkcionális térfelosztással és az objektumokból előkerült salakok típusonkénti eloszlásával

Fig. 2.: Map of the 8th century settlement section from Hajdúnánás, Fekete-halom with the possible activity areas and with the excavated slags of different types

Alapvető célkitűzésünk a fém- és szilikátos salakok részletes jellemzése, valamint annak körüljárása, hogy a rendelkezésre álló információk alapján meghatározhatóak-e a fémművesség jellemzői és a felhasznált érc típus ill. ércbázis. A vizsgálatok

második fázisában a salakok és a településről előkerült mindennapi használatú vastárgyak közötti esetleges kapcsolatra kívántunk fényt deríteni, mely a helyben történt kovácslást támasztaná alá. Mácsi-dűlő 16. objektumából egy

olyan karikás végű bronz övveret került elő, melynek felületét ónozhatták, viszont szabad szemmel látható nyoma már nem volt (Bajkai 2012). Ezt is célunk volt megerősíteni vagy cáfolni a vizsgálatokkal, teljessé téve a lelőhelyek fémleleteinek vizsgálata alapján megszerezhető ismereteket.

Vizsgálati módszerek

A salak leletek vizsgálata előtt fotódokumentáció és tömegmérés történt, majd a makroszkópos megfigyelések után a hagyományos módszerekkel jelentősen kíméletesebb precíziós lassúvágóval készítettük elő a preparátumokat. A polírozott vékonycsiszolatok szabványos, 27x47x1,3 mm-es üveglemezre készültek, a ragasztás kétkomponensű műgyantával, a polírozás gyémántsuszpenzióval történt. A polarizációs mikroszkópos megfigyelések Zeiss Axioplan típusú mikroszkóppal készültek, a fotódokumentációhoz Olympus Camedia C5060 típusú fényképezőgépet használtunk. Elsősorban a szilikátos salakok összetételének vizsgálatára röntgen pordiffrakciós mérések is készültek, Siemens D-5000 típusú Bregg-Brentano geometriájú diffraktométerrel, Θ - Θ üzemmódban, Cu K α ($\lambda=0,154178$ nm) sugárzás, másodlagos grafit kristály monokromátor és szcintillációs detektor használatával. A fenti vizsgálatok az ELTE TTK Ásványtani Tanszékén készültek. A fém tárgyak vizsgálata, valamint a kiválasztott vékonycsiszolatok további vizsgálata az ELTE TTK Kőzettani Tanszékén található AMRAY 1830 SEM-EDS műszerrel készült. Az eszköz PV9800

EDS detektorral felszerelt, fókuszált elektronsugárral, 20 kV gyorsító feszültség, 1 nA sugáráram és 100 sec mérési idő mellett működött. A műszer kalibrálását természetes és mesterséges ásvány sztenderdek segítségével végezték el, kimutatási határa a vizsgált elemekre 0,1 t%.

Eredmények

Hajdúnánás, Mácsi-dűlő

Fém- és szilikátalakok

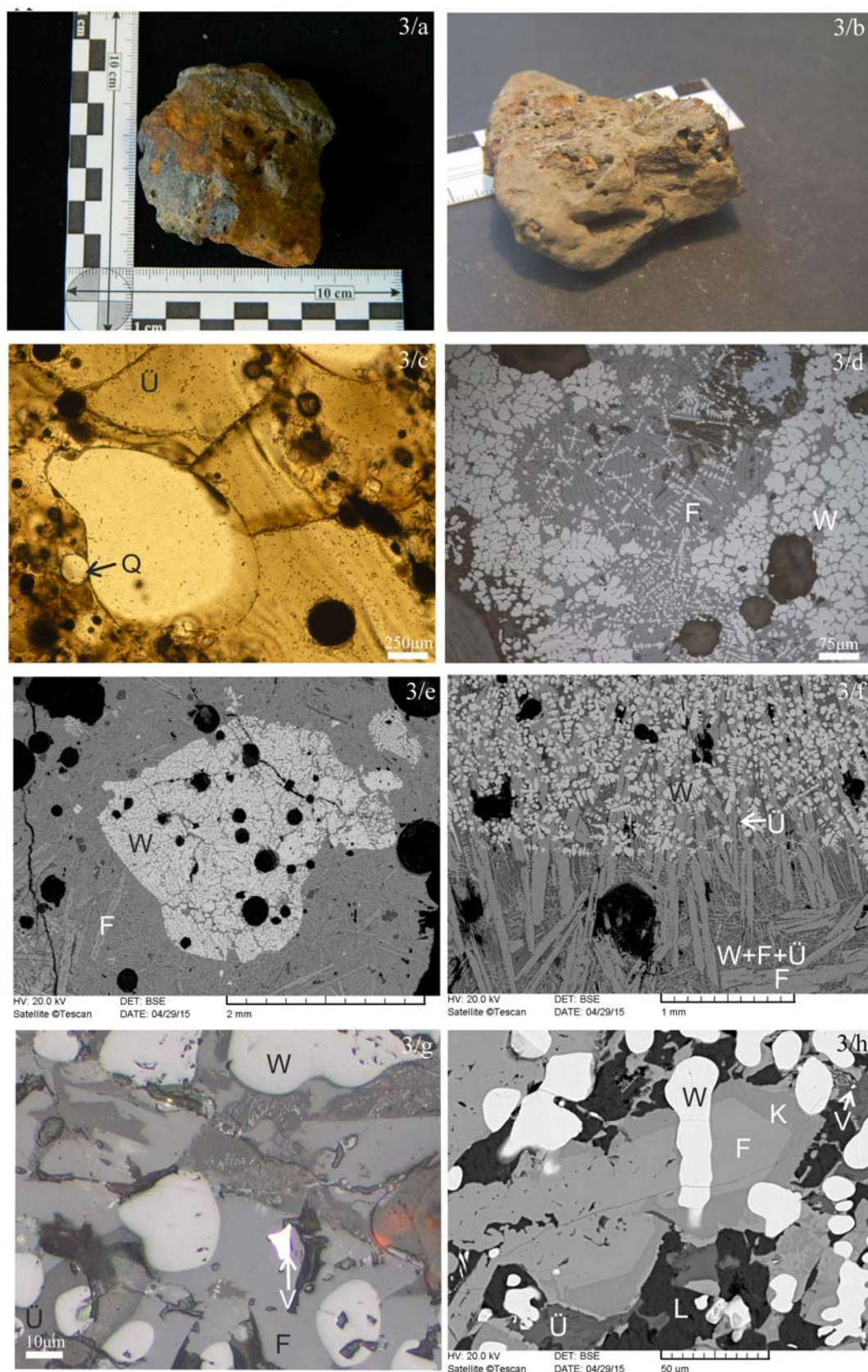
A lelőhelyről 12 vassalak lelet került elő, melyek maximális mérete 13x7x4 cm, közös jellemzőjük a szürke szín, a barna bevonat, az üreges, lukacsos, gyakran üveges szövet. Alakjuk többnyire szabálytalan, de előfordul lekerekített, ill. plan-konvex morfológiához hasonló formát mutató lelet is. Általánosan jellemző a salakokra az inhomogenitás, ami leginkább az eltérő mágnesezhetőségben, ill. üvegeességben nyilvánul meg. Az üregek többnyire 1-5 mm-es átmérőjűek, a leletekben továbbá maximum 1 cm-es faszén lenyomatokat ill. < 1mm-es fém szemcséket is azonosítani lehet (**3/b. ábra**).

A mikroszkópos vizsgálatok alapján a salak fő alkotói a fayalit és a wüstit, ezeken felül különböző mennyiségben üveges-mikrokristályos alapanyag (összetételéről további információkat a SEM-EDS mérések szolgáltatnak, ld. alább), magnetit, vas oxid-hidroxidok, hematit, kvarc és fém szemcsék is előfordulnak.

1. táblázat: Tipikus összetételi adatok a SEM-EDS mérések alapján (tömeg%-ban megadva)

Table 1.: Typical composition data of fayalite, kirschsteinite, leucite, wuestite, Cu-bearing metal and iron grains based on SEM-EDS measurements (given in mass%)

Fayalit	Fayalit	Kirschsteinit	Kirschsteinit	Leucit	Wüstit	Wüstit	Fém (rezes)	Fém (rezes, agytekervényes wüstit klasztban)	Fém (rezes, nem klasztban)	Fém (vas)
Fekete-halom	Mácsi-dűlő	Fekete-halom	Mácsi-dűlő	Fekete-halom	Fekete-halom	Mácsi-dűlő	Fekete-halom	Mácsi-dűlő	Mácsi-dűlő	Mácsi-dűlő
SiO ₂ 30,59	SiO ₂ 30,66	SiO ₂ 31,83	SiO ₂ 31,15	SiO ₂ 55,67	MgO 0,39	MgO 0,36	Fe 16,27	Fe 52,9	Fe 6,49	Fe 98,32
FeO 63,86	FeO 62,37	FeO 45,12	FeO 49,42	Al ₂ O ₃ 22,88	FeO 99,61	FeO 99,64	Ni 0,69	Ni 4,67	Ni 1,51	Cu 1,68
MgO 3,05	MnO 0,17	MgO 2,24	MgO 0,87	K ₂ O 21,45			Cu 78,35	Cu 21,88	Cu 86,12	
CaO 2,49	MgO 3,84	CaO 20,81	CaO 18,56				As 0,45	As 7,53	As 2,64	
	CaO 2,96						Sb 4,25	Sb 13,02	Sb 3,23	
Total 100	Total 100	Total 100	Total 100	Total 100	Total 100	Total 100	Total 100	Total 100	Total 100	Total 100



3. ábra: A vizsgált fémsalakok szöveti jellegzetességei makroszkópos, polarizációs mikroszkópos és pásztázó elektronmikroszkópos felvételeken

Fig. 3.: Textural features of the studied metal slags on macroscopic, polarising microscopic and backscattered electron images

3. ábra részletei:

3/a.: Fémes megjelenésű, kevés üreget tartalmazó, plan-konvex morfológiára emlékeztető, kiszélesedő formájú salak makroszkópos képe (Fekete-halom)

3/a.: Macroscopic photo of a convex-concave shaped slag with a few cavities and metallic appearance (Fekete-halom)

3/b.: Faszénlenyomatot tartalmazó salak makroszkópos képe (Mácsi-dűlő)

3/b.: Macroscopic photo of a slag with an imprint of a piece of charcoal (Mácsi-dűlő)

3/c.: Kvarc szemcse (Q) töredékek jelennek meg a kerekded üregeket tartalmazó, erősen üveges salakban (polarizációs mikroszkópos fotó, 1N, Mácsi-dűlő)

3/c.: Fragments of quartz grains (Q) are found in the glassy, roundish cavity-bearing slag (polarising microscopic image, 1N, Mácsi-dűlő)

3/d.: Erősen inhomogén szövet: tűs, helyenként dendrites és egészen durvaszemcsés wüstit (W) is előfordul a fayalit (F) mellett (reflexiós mikroszkópos fotó, 1N, Fekete-halom).

3/d.: Inhomogenous texture with needle-like, dendritic and coarse grained wuestite (W) with fayalite (F) (polarising microscopic image, refl 1N, Fekete-halom)

3/e.: Klasztként megjelenő ún. agytekervényes wüstit (W), körülötte léces, vázkristályos fayalit (F) (visszaszórt elektron kép, Mácsi-dűlő)

3/e.: Inhomogenous texture with needle-like, dendritic and coarse grained wuestite (W) with fayalite (F) (polarising microscopic image, refl 1N, Fekete-halom)

3/f.: Élesen változó szövetű részek egymás mellett, mintegy rétegeket formálva: fent dendrites wüstit (W) és léces, vázkristályos fayalit (F), míg lent tűs wüstit jelenik meg a léces fayalit mellett. Köztük üveg (Ü) figyelhető meg (visszaszórt elektron kép, Fekete-halom)

3/f.: Different textured parts are forming bands in the slag: above dendritic wuestite (W) and lath-shaped, skeletal crystal forming fayalite (F) are found, while below needle-like wuestite occurs next to the lath-shaped, coarser grained fayalite. Glass (Ü) is found in between (backscattered electron image, Fekete-halom)

3/g.: Vasszilánk (V) jelenik meg wüstit (W) és fayalit (F) mellett (reflexiós mikroszkópos kép, 1N, Mácsi-dűlő).

3/g.: Iron spill (V) occurs next to wuestite (W) and fayalite (F) (polarising microscopic image, refl 1N, Mácsi-dűlő)

3/h.: Zónás táblás fayalit (F)-kirchsteinit (K) - fayalit. Dendrites wüstit (W), apró fémvas szilánkok (V) és mindezek között leucit (L) és üveg (Ü) jelenik meg (visszaszórt elektron kép, Fekete-halom).

3/h.: Compositional zonation fayalite (F) - kirchsteinite (K) - fayalite is found in this tabular grain. Dendritic wuestite (W), tiny iron spills (V) and in between, leucite and glass are also observable (backscattered electron image, Fekete-halom)

A minták esetenként réteges megjelenésűek, de szabálytalanul megjelenő inhomogenitás is jellemző lehet. Ezt az inhomogenitást jól mutatja, hogy a fayalit mennyisége nemcsak mintánként, de egy mintán belül is akár 30-80% között változhat, valamint a szemcsék mérete (0,05-1,2 mm) és alakja (léces vázkristályostól a zömök táblásig) is eltérő lehet. A SEM-EDS mérések alapján a fayalit gyakran tartalmaz kis mennyiségben kalciumot, ill. a szegélyén akár kirchsteinit is megjelenhet (**1. táblázat**). A wüstit is igen változatos szöveti jelleggel bír; tűs, dendrites, és agytekervényes formában is megjelenhet (utóbbi azonban csak jól lehatárolható módon, mintegy klasztokat formálva, **3/e. ábra**). A SEM-EDS mérések alapján összetétele tiszta vas-oxid, nyomelemként ritkán magnézium volt kimutatható. Az üveges-mikrokristályos alapanyagban gyakran a magas Ca-tartalmú kirchsteinit, a leucit és a wüstit grafikus szövettel jelenik meg. A SEM-EDS mérések alapján az üveg a Fekete-halomról származó mintákhoz képest (ld. lentebb) valamivel alacsonyabb alkáliatartalmú, színesfém-tartalom nem volt mérhető, de a Ca-tartalom magasnak mondható, továbbá az erősebben üveges részekben 0,25-0,5 mm-es klasztokként ásványszemcse töredékek (kvarc, földpát, amfibol, apatit, kromit, cirkon és rutil/anatáz) is megjelennek (**3/c. ábra**). Az 5-250 µm-es fémszemcsék többnyire szabálytalan alakúak, gyakran szögletesek, de a klasztokként megjelenő, agytekervényes wüstitben előfordul, hogy csepp alakúak. Az előbbi típus megjelenése alapján valószínűleg fémszilánkként azonosítható (**3/g. ábra**). A SEM-EDS mérések alapján mind a szögletes, mind a ritkán előforduló, csepp alakú fém lehet inhomogén (láthatóan több fázis alkotja): nagyobb részt tiszta vas fázis, de mellette kisebb részt Cu, Sb, Ni és As tartalmú fázis is azonosítható (**1. táblázat**). Igen gyakran megtalálhatóak továbbá tiszta fémvas ill. a vas mellett kis mennyiségben réz és/vagy nikkel tartalmú fém szemcsék, és igen ritkán réz szilánkok/szemcsék is megjelennek. Továbbá egy mintában egy erősen átalakuló félben levő Cu-Fe-S ásványt (arányait tekintve feltehetően bornit) is sikerült azonosítani. A vas-oxi-hidroxidok és a hematit hajszálrepedésekben, ill. a korábbi vasásványokat kiszorító módon jelenik meg.

A röntgen pordiffrakciós vizsgálatok egyfelől megerősítették, hogy a fémsalakok fő alkotói a fayalit, a wüstit és a leucit. Más részről azonban fontos információkkal szolgálnak a szilikátos salakokról. E leletek a vassalakokhoz hasonlóan többnyire szabálytalan alakúak, de lekerekített formákkal és hólyagos, habos szerkezettel jellemezhetőek. Több mint 6 kg súlyban álltak rendelkezésre a lelőhelyről, az egyes leletek mérete többnyire a 10x5x3 cm-t nem haladta meg. A vizsgálatok tanúsága szerint a leletekben kristályos fázisként különböző arányban kvarc, nagy hőmérsékletre jellemző albit és kalcit jelenik meg.

Vastárgy töredékek és a szíjveret

A fém tárgyak SEM-EDS vizsgálata alapján megállapítható volt, hogy a szíjveret felszínén valóban ónozás nyomai figyelhetők meg, valamint hogy a bevonat alatt az anyaga bronz (Fe=0,35t%, Cu=89,96t%, Sn=9,70t%). A vas tárgyak többnyire erősen átalakultak vas oxidokká és vas hidroxidokká, így csak elvétve voltak igen apró vas szemcsék (maradványok) azonosíthatóak. Ezek összetételében a vas mellett kis mennyiségben (szennyezőként) rezet sikerült kimutatni, más nyomelem nem jelent meg (Fe=99,73t%, Cu=0,27t%).

Hajdúnánás, Fekete-halom

A lelőhelyről összesen 9 darab fémsalak lelet került elő. A leletek maximális mérete 8x7x5 cm, alakjuk többnyire szabálytalan, de előfordul, hogy plan-konvex morfológiára emlékeztető formát vesz fel. Sűrűségük változatos, az egészen habos, kis sűrűségű lelettől a tömör, fémess megjelenésű, nagy sűrűségű leletig változhat. Hasonlóképpen a mágnesezettség és az üvegeség is inhomogenitásokat mutat, akár egy salak leleten belül is. A minták közös jellemzője a szürke szín, barna bevonat és az általában 1-15 mm-es üregek, valamint maximum 15 mm-es faszén lenyomatok megjelenése is (**3/a. ábra**).

A mikroszkópos megfigyelések alapján a vizsgált minták fő alkotója a fayalit és a wüstit, melyek között különböző mennyiségű üveges-mikro-kristályos alapanyag fordul elő. A fayalit akár 1,5 mm-es léces vázkristályok, vagy éppen 0,1-0,3 mm-es táblás, zömök kristályok formájában is megjelenhet. A SEM-EDS mérések alapján összetétele gyakran zonációt mutat; a belsejében kirchsteinit fordul elő, míg a szegélyén már tiszta, vagy alacsony Ca-tartalmú fayalit (**1. táblázat**). Az is előfordul, hogy az egész szemcse csak kirchsteinit vagy éppen fayalit összetételű, valamint fayalit-kirchsteinit-fayalit zónásság is megjelenhet (**3/h. ábra**). Mindezek a jelenségek függetlenek a szemcsék alakjától, természetétől, méretétől egyaránt. A wüstit többnyire tűs, dendrites, 0,1-0,4 mm-es szemcséket formál, de klasztokban akár agytekervényes szövettel is bírhat. A SEM-EDS

mérések alapján összetétele többnyire tiszta vas-oxid, nyomelemként csak ritkán volt kis mennyiségű magnézium azonosítható. A szövetre jellemző az inhomogenitás (**3/d-f. ábra**), akár kaotikusan megjelenve, vagy egyértelmű rétegzettségként, melyet például a wüstit változó aránya (<5-30-80%) és alakja is kijelöl. A SEM-EDS mérések alapján az ásványszemcsék között megjelenő devitrifikálódó üveg magas alkáliatartalmú (Na, K, Ca, Fe, P, S és Si is megjelenik, más nyomelem nem volt azonosítható), benne helyenként vékony, halgerinc-szerű alakban fayalit, törmeléként kvarcsemmcsék valamint grafikus szövetet alkotó leucit és wüstit is előfordul (**1. táblázat**). Mindezek felül a mintákban 10-80µm-es szabálytalan alakú, de többnyire szögletes, olykor többfázisúnak tűnő fémszemcsék (megjelenésük alapján valószínűleg fémszilánkok) jelennek meg. Közülük a ritkán előforduló világossárgában a SEM-EDS mérések alapján Cu>Fe>Sb>Ni,(As) volt kimutatható (**1. táblázat**), míg az igen gyakran megjelenő fehérekben csak vas volt azonosítható. Az is előfordul, hogy a rezes fázis szélén jelenik meg a vas (többfázisú, inhomogén fém) és ritkán a fémvas szemcsékben a kimutatási határ környéki mennyiségben Cu és/vagy Ni is látszik. A salakban kis mennyiségben magnetit, valamint hajszálrepedésekben, ill. kizsórító elegyrészként hematit és vas-oxi-hidroxidok is megjelennek

Következtetések

A vizsgált leletek minden esetben másodlagos régészeti kontextusból kerültek elő és egyik lelőhelyen sem azonosítottak a feltárás során fémművességre, kohászatra, vagy kovácsolásra utaló nyomokat, objektumokat (megjegyzendő azonban, hogy a fekete-halmi telepen feltehetően műhelyként funkcionáló területről kerültek elő a salakok). Ezért megállapíthatjuk, hogy a vizsgált salakok bár mindenképpen fémművességre utalnak, a további pontosításhoz számos tényezőt kell tisztázni, körüljárni.

Fémművesség a vizsgált lelőhelyeken

Az avar kori sírokból jelentős, kifinomult bronz- és vasművességre utaló leletek egyaránt ismertek, elég csak a késő avar kori öntött bronz övdíszekre gondolnunk. Arra azonban, hogy ezeknek a tárgyaknak a készítői kik lehettek, hol és hogyan dolgozhattak, kevés kézzel fogható bizonyítékunk van. A 8-9. századból műhely egyáltalán nem ismert a Kárpát-medencéből (Szenthe 2013). Az említett bronz övveretek öntőformái is hiányoznak, a kutatás a kizárólagos viaszveszejtési eljárással magyarázza a negatívok hiányát: a formaföldbe burkolt modelleknél a viasz kiégetése után annak helyére öntötték a bronzot, a bronztárgyat körbevevő agyagburkolat leverésével pedig megsemmisült a forma. Egyes kutatók a kétrészes

öntőformák használatát sem zárják ki (Bíró & Szenthe 2011). A mesteremberekről sem tudunk sokkal többet. Az avar kor első feléből, a 6-7. századból ismerünk olyan sírokat, melyekből értékes fémműves szerszámok kerültek elő, esetenként félkész és kész termékek, valamint nyersanyag és műhelyhulladékok is. A kutatás ezeket a sírokat ötvösök és kovácsok sírjaként értelmezi. A 8. századból is ismerünk hasonló temetkezéseket, de itt már csak 1-2 szerszámmal találkozunk, gyakran másodlagos felhasználásban. A sírokban talált leletek alapján az eltemetettek az ötvöstevékenység mellett néhány esetben vas kovácsolásával, esetenként fegyverkészítéssel is foglalkozhattak (Rácz 2009). Az avar kor második felétől a mai nyugat-magyarországi területeken több vasolvasztó telepet is feltártak faszénégető boksákkal, ércpörkölő gödrökkel, kohókkal, esetenként kovácműhelyekkel (Gömöri 2000). Az egyik legjelentősebb és napjainkban legjobban kutatott telep Zamárdi határában került elő (Gallina 2011; Török *et al.* 2015). Ugyanakkor az alföldi területekről eddig egyetlen hasonló sem ismert, csupán vasbuca és vassalak leletek tanúskodnak a településeken folyó kovácsolásról (Gömöri 2000). Az avar korban direkt eljárással végezték a vasolvasztást, ezt bucakohászatnak nevezzük. A kohókban keletkezett vasbucából tisztítás és tömörítés után kovácsolható vastömböt készítettek (Gömöri 2000; Pleiner 2000).

A vizsgált hajdúnánási salakok ásványos összetétele alapján nem lehet egyértelműen eldönteni, hogy milyen fémművességhez köthető az eredetük. Ennek oka, hogy bár a réz előállításához a vashoz képest alacsonyabb hőmérséklet is elegendő (a réz olvadáspontja 1084°C), a hőmérséklet mindkét esetben elérheti, illetve meghaladhatja az 1200°C körüli értéket, így – elvileg – a vas- és rézművesség során igen hasonló ásványos összetételű salak is keletkezhet. A fémsalakok fő alkotói így a fayalit, wüstit, leucit, spinellek és üveg, tehát elkülönítésük sokszor nehézségekbe ütközik (ld. pl. Killick és Gordon 1989; Kronz 2000; Kierczak és Pietranik 2010; Mihailova és Mehandjiev 2010). Ugyanakkor említést érdemel, hogy a (800-) 1000-1200°C-on elkerülhetetlenül képződő réz-oxid nyomot hagy a rézkohászatról és rézművességről. Például, az „egyiptomi kék”, a $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$, ami 800°C fölött stabilan képződik (Chakoumakos *et al.* 1993), makroszkóposan a feltűnő színével, röntgendiffraktogrammon jellegzetességeivel árulkodna a rézkohászatról, rézművességről (amit esetünkben nem tapasztaltunk).

Az igen kis mennyiségű fémsalak lelet, a vasművességhez kötődő objektumok hiánya, valamint a salakban ritkán megjelenő réz, antimon, nikkel és arzén tartalmú fémszemcsék felvetik annak a lehetőségét, hogy a leletek

olvasztótégelyben történő bronz előállításához kötődjenek. Ilyen esetekben a salak megjelenése lehet réteges, homogén és inhomogén szövettel egyaránt bírhat. Az igen magas üvegtartalom (ami jellemzően magas fémtartalommal bír) mellett tipikus a réz szemcsék, az ón- és rézoxid szemcsék, valamint a malayait (CaSnSiO_5) megjelenése is, a salak felszínéhez közel előforduló magnetiten túl (Eliyahu-Behar *et al.* 2012). A bronz előállításához, illetve a rézművességhez kötődő salakok üvegének összetételében jelentős mennyiségű (a SEM-EDS kimutatási határánál akár egy nagyságrenddel nagyobb) réz, illetve egyéb nehéz- és színesfém fordul elő. Mindez annak köszönhető, hogy a kapcsolódó ércek többnyire a réz mellett más fémeket (pl. Zn, Pb, As, Sb, Ni) is tartalmaznak, és ezek mindegyike inkompatibilis nyomelem lévén az üveges anyagban dúsulni fog (Dill 2009; Eliyahu-Behar *et al.* 2012; Kierczak és Pietranik 2010). Mindezekon felül a réz és a cink igen reaktív elem lévén a szilikátos ásványfázisokba is belép, így a megjelenő fayalitban izomorf helyettesítésként jellemzően előfordulnak (Mihailova és Mehandjiev 2010; Kronz 2000). Az általunk vizsgált salak leletek makroszkópos szöveti jellemzői megfelelhetnek a fentiekben leírtaknak, az ásványtani elemzéseink azonban jelentős eltéréseket mutatnak. Nem voltak megfigyelhetők magas réztartalmú ércre utaló másodlagos réz-ásványok a salakban (Dill 2009) és igen ritkán jelentek csak meg réztartalmú fémszemcsék. Nem észleltünk a használt műszer kimutatási határa feletti mennyiségben megjelenő rezet (és más színes- ill. nehézfémeket) sem az üvegben, sem a fayalitban/kirchsteiniben. A réz előállítása során a salakban gyakran megjelenő reziduális szulfid zárványok (Kierczak és Pietranik 2010) sem voltak jellemzőek, összesen egy darab, erősen roncsolt bornit reliktumot azonosítottunk.

Az üveg és a fayalit/kirchsteinit színesfémmentes összetétele, a másodlagos réz-ásványok teljes hiánya, valamint a jelentős mennyiségű vasszemcse megjelenése felvetik annak lehetőségét, hogy a leletek – a kapcsolódó objektumok hiánya ellenére is – vasművességhez kötődjenek. A heterogén, akár réteges szövet és összetétel, valamint az olykor megfigyelhető plan-konvex morfológia tipikus jellemzője lehet az elsődleges, illetve másodlagos kovácsolásnak, amikor a tűzhely aljában gyűlik össze a salak, 800°C-nál magasabb hőmérsékleten (Eliyahu-Behar *et al.* 2012). Ezt erősítheti meg az összetételi zónásságot mutató, s így akár többszöri felfűtésre utaló fayalit/kirchsteinit, valamint a fém szilánkok megjelenése is, hiszen a szilánkos előforduláshoz mechanikai behatás (kalapálás) szükséges (Molnár 2008, Bayley *et al.* 2001). A salak leletekben továbbá élesen lehatárolódó klaszterekben ún. agytekervényes szövetű (Molnár 2008) wüstit jelenik meg. Ezek viszont feltehetően kohóból származnak. Nemcsak a tipikus wüstit

szövet, de a benne megjelenő csepp alakú fém szemcsék is ezt támasztják alá (Molnár 2008). Feltételezhető tehát, hogy azok a salak rétegek, melyekben e klaszterek megjelennek, azt az eseményt reprezentálják, amikor a kovács egy új munkába kezdett, és a kohóból érkezett vasbucát kezdte el kalapálni, hiszen az még tartalmazhatja az ott képződött salak darabjait, amit a kalapálással próbálhatott eltávolítani. Megjegyzendő azonban, hogy bizonyos jellemzők kérdésre adnak okot. Az egy helyütt előforduló bornit maradvány – szulfidásványként – a vasművesség ellen tesz le voksot, ám Dill (2009) véleménye szerint a nem teljes kohászati folyamat eredményeképpen vassalakban is maradhat elvéve szulfid reliktum. A vizsgált leletek esetében a vasszemcsék mellett ritkán réztartalmú szemcsék is megjelentek, ami szintén kérdésre adhat okot. Ugyanakkor azok elenyésző mennyisége és esetleges előfordulása inkább azt erősítenék meg, hogy a réz véletlenül került a rendszerbe, a vas ércanyagával együtt.

A vizsgált fém tárgyak közül a vas töredékek összetétele arra utal, hogy a tárgyak minden bizonnyal nem gyevasérből készültek, hiszen nem tartalmaznak a gyevasérc eredetre utaló nyomelemeket (foszfor, mangán; Dill 2009). A megjelenő réztartalom (szennyezés) felveti annak a lehetőségét, hogy a talált salakok és az általuk – vizsgálataink alapján feltételezhetően – jelzett kovácsműhelyek, valamint a vastárgyak között kapcsolatot kereshessünk. Természetesen ez utóbbi állítás biztos eldöntése is további vizsgálatokat igényel, de a vassalakokban megfigyelt vas szilánkok/szemcsék hasonló összetétele alapot ad arra, hogy feltételezzük ezt a kapcsolatot. Ez egyben megerősítené a fenti következtetéseket is.

Összegzőképpen tehát megállapíthatjuk, hogy a vizsgált salak leletek mindenképpen féművességhez köthetőek. Pontos eredetük kapcsán számos kérdés felvetődik, melyeket fentebb igyekeztünk körüljárni. Ezek alapján valószínűbbnek tűnik a vasművességhez kötődő eredet, de a téma megnyugtató lezárása mindenképpen további kutatásra sarkall.

A salakok eredete

A polarizációs mikroszkópos, XRD és SEM-EDS vizsgálatok alapján is azonosított főbb kristályos alkotók, mint a fayalit, wüstit és leucit 1000-1200°C-os keletkezési hőmérsékletre engednek következtetni (Bowen & Schairer 1935), ami magasabb, mint a kovácsützhelyeken általában jellemző 880-900°C (McDonnell 1995). Ennek ellenére ilyen ásványparagenezis megjelenhet nemcsak kohósalakokban, de kovácsalakokban is (Molnár 2008; Kramar *et al.* 2015). A viszonylag alacsony hőmérsékletet támasztja alá a kotektikus szövettel megjelenő wüstit és leucit is (Kronz 2000). A vizsgált szilikátos salakok kristályos

összetétele (kvarc, nagy hőmérsékletre jellemző albit és kalcit) 880-900°C-os keletkezési hőmérsékletre utal (Griffen 1992). A Hajdúság területén olyan kőzet található a talaj alatt, mely a mintánkhoz hasonló állapotú és összetételű salakká alakul 880-900°C hőmérsékleten, ha a tűzhely tapasztását ebből a kőzetből képződött sárral végezték (Sümegei P. *szóbeli közlése*).

Az üveges anyagban megjelenő törmelék ásványok feltehetően a salakképző anyag maradványai. Ezek az ásványok, valamint a tény, hogy a fayalit gyakran kalcium tartalmú, ill. hogy a vele elegysort alkotó, kalciumban gazdag kirchsteinit is megjelenik, azt támasztják alá, hogy a salakképzéshez feltehetően meszes homokkővet használtak (Kramar *et al.* 2015; Molnár 2008), bár megjegyzendő, hogy kalcium akár karbonátos ércből is kerülhet a rendszerbe (Molnár 2008). A fentebb említett ásványos összetétellel bíró, potenciálisan salakképzőként használható kőzetek az észak-magyarországi fiatal üledékes sorozatokban igen gyakoriak (és a mácsi-dűlői lelőhelyről vizsgáltunk is korábban egy meszes finomhomokkő leletet), így pontosabb forrásterület nem volna meghatározható.

Potenciális ércbázis

A SEM-EDS vizsgálatokkal nemcsak gyakran megjelenő vas szemcséket (esetenként alacsony Cu és/vagy Ni tartalommal), hanem ritkán rezes fázist (Cu, Sb, Ni, As, Fe) is sikerült azonosítani. Ezek vizsgálata azért is volt fontos, mert a salak és a benne megtalálható fém összetétele szoros összefüggésben van az érccel és a fűtőanyagként használt faszénnel (Buchwald & Wivel 1998; Dill 2009). Ezek alapján megállapítható, hogy a vasérc biztosan nem gyevasérc volt, mivel arra magas foszfortartalom és esetenként jelentős mangántartalom jellemző (az érc mangántartalma a képződő salakban többnyire a fayalitba épül be (Buchwald & Wivel 1998) ami esetünkben nem tartalmazott a kimutatási határ feletti mennyiségben mangánt), míg a nehéz- és színesfém tartalom nem lépi át a kéregre jellemző átlagértéket (Molnár 2008, Dill 2009). Ez a tény eltér a dunántúli avar vasművességgel kapcsolatos korábbi ismeretektől, ahol egyértelműen gyevasérccel dolgoztak, s így a salakokra magas foszfor- és mangántartalom volt jellemző (Török *et al.* 2015). Tehát valószínűleg nem a környékről származott az ércanyag, hanem távolabbi forrást kell keresni. A karakterisztikus elemasszociáció alapján a viszonylag „kézenfekvő” (mintegy 100-120 km-re található) Rudabánya, mint potenciális érclelőhely nem túl valószínű, mivel ott bár ismerünk a vasérc mellett Cu, Sb és As tartalmú ásványokat is, nem ismerünk a területről viszonylag nagy mennyiségben megjelenő Ni ásványt (Szakáll *et al.* 2005). A Ni, Cu, As, Sb elemasszociáció gyakran szulfidos érctelepek felszín közeli, ún. vaskalap zónáját jelöli ki az érc

lelőhelyeül (Molnár 2008), tehát az érctelepekhez kapcsolódó ún. *gossan* előfordulást, ami felhasználhatóságában sokban hasonlít a gypvasérccekhez (ám utóbbi nem igazi *gossan*, mivel nem kapcsolódik konkrét ércesedéshez) (Dill 2009). A legközelebbi hasonló elemasszociációval bíró lelőhely (150-200 km), és így potenciális érc származási területként megjelölhető régió a Kárpátokban Dobsina/Dobsiná, Alsósajó/Nižná Slaná, Rozsnyó/Rožňava, Szomolnok/Smolník környékén megjelenő szepességi kvarc-sziderites-szulfidos ércesedés (Udubaša *et al.* 2002). Hasonló sziderites-szulfidos, teléres ércesedés *gossanját* egyébként ugyanebben a korban a mai Bajorország területén is bányázták, és jellemzően a kapcsolódó salakban megjelentek a kapcsolt fémek, így a Ni, Cu, As, Pb és Zn is (Dill 2009). Mindenképpen fontos azonban megjegyezni, hogy a forrásterület biztos meghatározása további, sok részletre kiterjedő vizsgálatot igényel. Mindenesetre a fent jelzett, alapvetően metamorf folyamatokhoz kötődő ércesedésben a sziderit és ankerit (karbonátos vasérc) mellett olyan szulfidásványok fordulnak elő (pl. bornit, tetraedrit, gersdorffit, arzenopirit, millerit, nikkelin, stb., Hurai *et al.* 2008 és Russ *et al.* 2012, valamint a bennük található hivatkozások), melyek létrehozhatják a fenti elemösszetételt és magyarázhatják a ritkán megjelenő réz, arzén, antimon és nikkel tartalmú fém szilánkokat/szemcséket (ráadásul egy mintában egy erősen roncsolódott bornit reliktumot is sikerült azonosítani).

Ez a terület potenciális ércbázisnak számított már a vaskorban is (Myrošayová 1995), a római kor óta gyakorlatilag folyamatosan bányászott vidék, ahol elsősorban vasércet termeltek és dolgoztak fel, és csak a 14. századtól ismert rézművesség. A helyben fel nem használt vasat más magyarországi és lengyelországi területekre is exportálták (Petrik 2010). A legközelebbi késő avar korban lakott terület a Kassai-medence volt, ahol a megtelepedést jelző temetők mellett vaskfeldolgozásra utaló nyomok is vannak (Mihok & Olexa 1999). A kutatás szerint azonban a magyar honfoglalást követően a 13. század előtt észak-borsodi, Rudabánya környéki vasércikitermelés folyt, majd a 13. század közepétől kezdődött meg a gömöri és szepességi vasérctelepek kiaknázása (Heckenast 1968). Elképzelhető azonban, hogy a késő avar korban a Sajó és Tisza folyók egy olyan összeköttetést biztosítottak a feltételezett ércbázis és a potenciális felvevő helyként funkcionáló két Hajdúnánás környéki település között, mely utána egészen a 13. századig feledésbe merült. Éppen ezért fontos hangsúlyoznunk, hogy a hajdúnánási salakok vizsgálata egy olyan valószínűsített nyersanyag beszerzési területre és lehetséges szállítási útvonalra világított rá, mely eddig fel sem merült a kutatásban.

A távolról való szállítás lehetősége azt is felveti, hogy már esetleg a kész vasbucát szállították és nem az ércet, hiszen utóbbiból igen nagy mennyiséget kellett volna megmozgatni. Továbbá fontos érv az is, hogy az érc előkészítésére, pörkölésére majd a kohósítására is általában az érc begyűjtési vagy fejtési helyén került sor (Gömöri 2000). Mindez azt is magyarázná, hogy miért csak –feltételezhetően– kovácssalakokat sikerült azonosítani a területről.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet szeretnének mondani Józsa Sándornak, Szakmány Györgynek és Szakáll Sándornak a szakmai diszkusszióért valamint Bendő Zsoltnak a SEM-EDS mérések során nyújtott segítségével. Gömöri János és Török Béla konstruktív bírálata nagyban hozzájárult az eredeti kézirat szakmai fejlődéséhez. A kutatást az OTKA 104533. sz. pályázata („Az átalakulás évszázadai – települési struktúrák, települési stratégiák a Kárpát-medence központi részein a 8–11. században”) támogatta.

Irodalomjegyzék

- BAJKAI, R. (2012): Egy késő avar kori település kutatási lehetőségei az Alföld északi peremén. Hajdúnánás – Mácsi-dűlő. (Research possibilities of a Late Avar settlement at the northern edge of the Great Hungarian Plain. Hajdúnánás – Mácsi-dűlő), In: LISKA, A. & SZATMÁRI, I. (szerk.), Sötét idők rejtélyei. 6-11. századi régészeti emlékek a Kárpát-medencében és környékén. Békéscsaba, *Tempora Obscura* 3 9–44.
- BAJKAI, R. (2014): Késő avar kori település Hajdúnánás határában (Late Avar-age settlement on the fringe of Hajdúnánás), *A Debreceni Déri Múzeum Évkönyve* 85 29–60.
- BAJKAI, R. (2015): Késő avar kori település Hajdúnánás határában II. Hajdúnánás, Fekete-halom (M3-41), *A Debreceni Déri Múzeum Évkönyve* 86 7–61.
- BAYLEY, J., DUNGWORTH, D., PAYNTER, S. (2001): *Archaeometallurgy*. Centre for Archaeology Guidelines. London, English Heritage. 30 pp.
- BÍRÓ, CS., SZENTHE, G. (2011): Öntéstechnikai vizsgálatok késő avar kori bronztárgyakon (Sorozatok modellezése és sokszorosítása) / Investigations of Casting Techniques of Bronze Artefacts from the Late Avar Period (Modelling and Production of Serial Pieces). In: TÓTH, E. & VIDA T. (szerk.), *Corolla Museologica Tibor Kovács dedicata. Libelli Archaeologici Ser. Nov. No. IV. Magyar Nemzeti Múzeum*. Budapest, 155–174.

- BOWEN, N.L., SCHAIRER, J.F. (1935): The system MgO-FeO-SiO_2 . *American Journal of Science* **29** 151–217.
- BUCHWALD, W. F., WIVEL, H. (1998): Slag Analysis as a Method for the Characterization and Provenancing of Ancient Iron Objects. *Materials Characterization* **40** 73–96.
- CHAKOUMAKOS, B. C., FERNANDEZ-BACA, J. A., BOATNER, L. A. (1993): Refinement of the Structures of the Layer Silicates $\text{MCuSi}_4\text{O}_{10}$ (M = Ca, Sr, Ba) by Rietveld Analysis of Neutron Powder Diffraction Data. *Journal of Solid State Chemistry* **103/1** 105–113.
- DILL, H. G. (2009): Pyrometallurgical relics of Pb–Cu–Fe deposits in south-eastern Germany: An exploration tool and a record of mining history. *Journal of Geochemical Exploration* **100** 37–50.
- ELIYAHU-BEHAR, A., YAHALOM-MACKA, N., SHILSTEINA, S., ZUKERMAN, A., SHAFER-ELLIOTT, C., MAEIR, A. M., BOARETTO, E., FINKELSTEIN, I., WEINER, S. (2012): Iron and bronze production in Iron Age IIA Philistia: new evidence from Tell es-Safi/Gath, Israel. *Journal of Archaeological Science* **39** 255–267.
- GALLINA, ZS. (2011): Avar kori vaskohászati és települési centrum Zamárdiban. (Avarian Age iron smelting centre and settlement from Zamárdi). In: SOMOGYVÁRI Á. & V. SZÉKELY GY. (szerk.): A Barbaricum ösvényein... A 2005-ben Kecskeméten tartott tudományos konferencia előadásai. Kecskemét: *Archaeologia Cumanica* **1** 179–198.
- GÖMÖRI, J. (2000): *Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannoniában.* (The archaeometallurgical sites in Pannonia from the Avar and Early Árpád Period). Soproni Múzeum – MTA VEAB. Sopron. 373 pp.
- GRIFFEN, D. T. (1992) *Silicate Crystal Chemistry*. Oxford University Press. New York and Oxford. 442 pp., 263 figs.
- HECKENAST, G. (1968): A magyarországi vaskohászat története a XIII. század közepéig. In: HECKENAST, G.–NOVÁKI, Gy.–VASTAGH, G.–ZOLTAY, E. (szerk.) *A magyarországi vaskohászat története a korai középkorban (A honfoglalástól a XIII. század közepéig)*. Budapest, 131–171.
- HURAI, V., LEXA, O., SCHULMANN, K., MONTIGNY, R., PROCHASKA, W., FRANK, W., KONEČNÝ, P., KRÁL', J., THOMAS, R. & CHOVAN, M. (2008): Mobilization of ore fluids during Alpine metamorphism: evidence from hydrothermal veins in the Variscan basement of Western Carpathians, Slovakia. *Geofluids* **8** 181–207.
- KIERCZAK, J., PIETRANIK, A. (2010): Mineralogy and composition of historical Cu slags from the Rudawy Janowickie Mountains, southwestern Poland. *Canadian Mineralogist*, **49/5** 1029–1044.
- KILLICK, D., GORDON, R.B. (1989): The mechanism of iron production in the bloomery furnace. In R. M. FARQUHAR, R. G. V. HANCOCK, L. A. PAVLISH, eds. *Proceedings of the 26th International Archaeometry Symposium, held at University of Toronto, Toronto, Canada, May 16th to May 20th 1988*. Toronto: University of Toronto, 120–123.
- KRAMAR, S., TRATNIK, V., HROVATIN, I. M., MLADENOVIC, A., PRISTACZ, H., ROGAN ŠMUC, N. (2015): Mineralogical and Chemical Characterization of Roman Slag from the Archaeological Site of Castra (Ajdovščina, Slovenia). *Archaeometry* **57/4** 704–719.
- KRONZ, A. (2000): Self-mixing melt compositions in fayalitic slags - a key in understanding early metal production? In: RAMMLAIR et al. (eds.): *Applied Mineralogy*, Balkema, Rotterdam, ISBN 905809 163 5, 1005–1008.
- McDONNELL, G. (1995): *Iron working processes*. The Historical Metallurgy Society: Archaeology Datasheet No. 3. (Forrás: <http://hist-met.org/images/pdf/hmsdatasheet03.pdf>)
- MIHAILOVA, I., MEHANDJIEV, D. (2010): Characterization Of Fayalite From Copper Slags. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy* **45/3** 317–326.
- MIHOK, L., OLEXA, L. (1999): Research of roman and slav iron smelting and working methods in Nižná Myšľa – Alamev site. In: MIHOK, L.–MIROŠŠAYOVÁ, E. (eds.): *Archaeometallurgy in the Central Europe*. Košice, 41–76.
- MOLNÁR, F. (2008): Érc, salak, fémek. In: SZAKÁLL, S. (szerk.), *Az ásványok és az ember a mai Magyarország területén a XVIII. század végéig. Fókuszban az ásványi anyag.* Tudományos konferencia (2007. márc. 2.). Geotudományok. A Miskolci Egyetem Közleménye A sorozat, *Bányászat* **74** 91–111.
- MYROŠŠAYOVÁ, E. (1995): K počiatkom výroby a spracovávaní železa na východnom Slovensku. (On beginnings on iron metallurgy in Eastern Slovakia.) *Študijné Zvesti Archeologického Ústavu SAV* **31** 9–21.
- PETRÍK, J. (2010): The Metallurgy In Spiš County. *Karpatyka* **39** 171–184.
- PLEINER, R. (2000): *Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters*. Praha 2000.

RÁCZ, ZS. (2009): Avar kori ötvös- és kovácsszerszámok. In: NAGY, Z.–SZULOVSKY J. (szerk.): *A vasművesség évezredei a Kárpát-medencében*. Szombathely, Vas Megyei Múzeumok Igazgatósága, 67–96.

RUSS, A., STEVKO, M., TIMKO, M. (2012): Eisenblüte aus Dobsiná im Slowakischen Erzgebirge. *Lapis* 37/12 24–29.

SZAKÁLL, S., GATTER, I., SZENDREI, G. (2005): *A magyarországi ásványfajok*. Kőország Kiadó. Budapest. 427 pp.

SZENTHE, G. (2013): Technológiatörténet, kísérleti régészet és bronzöntés: eredmények és lehetőségek a korai középkor kutatásában. *Magyar Régészet* 2013/2 1–6. www.magyarregeszet.hu

TÖRÖK, B., KOVÁCS, Á., GALLINA, ZS. (2015): Iron metallurgy of the Pannonian Avars of the 7-9th century based on excavations and material examinations. *Der Anschnitt, Beiheft* 26 229–237.

UDUBAŞA, G., ĎUĎA, R., SZAKÁLL, S., KVASNYTSYA, V., KOSZOWSKA, E., NOVÁK, M. (2002): *Minerals of the Carpathians*. Prague, Granit kiadó, 479 pp.