

BÁTASZÉK-NAGYORROS AVAR KORI KOHÓTELEP ÉRC- ÉS SALAKANYAGÁNAK ARCHEOMETRIAI ELEMZÉSE

ARCHAEOMETRICAL INVESTIGATION OF FINDS FOUND IN THE LATE AVAR AGE BLOOMERY WORKSHOPS AT BÁTASZÉK-NAGYORROS (COUNTRY TOLNA, HUNGARY)

GYÖRKE RÉKA¹; FINTOR KRISZTIÁN²; BOZSÓ GÁBOR²; SZABÓ MÁTÉ³

¹ Szegedi Tudományegyetem, Régészeti Tanszék, Szeged

² Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Közöttani Tanszék, Szeged

³ MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet, Budapest

E-mail: reka.gyorke87@gmail.com

Abstract

In Bátaszék some Avar age bloomery workshops were excavated by Attila Czövek in 2008. Based on the 4 subtypes of the 25 bloomeries of the multi period iron production site, the differing number of bloomeries per working pit and the lack of other remains which can be related to metallurgical work (ore roasting heart, remains of charcoal piles or forge), this site might be one of the missing links between the workshops in the late avar age and the period of the Hungarian Conquest. Based on the result of the chemical, metallographical and mineralogical examination the process of the bloomery iron production was carried out the same way as in the site of similar age. Basically the ore samples analyzed are of bog iron origin. The slag samples are low basicity fayalite dominant types. Occurrence of high fayalite in the slags and occurrence of several stone fragments at the site indicate potential stone dosage into the furnace.

Kivonat

A Tolna megyei, Bátaszék határában, 2008-ban Czövek Attila vezetésével feltárt, több periódusú kohótelep 25 olvasztókemencéjének 4 különböző típusa, az egy munkagödörhöz tartozó kohók eltérő száma és a vasgyártáshoz köthető további objektumok (ércpörkölő gödör, faszénégető boksa, (kovács)műhely hiánya alapján ez a lelőhely talán az egyik hiányzó láncszem a késő avar kori és a magyar honfoglalás kori műhelyek közt. A érc és salakok kémiai, metallográfiai és ásványtani vizsgálati eredményei alapján a bucavasgyártás munkaszervezése oly módon történt, mint a hasonló korú telepeken. A vizsgált ércminták alapvetően goethites ásványtípusúak, gypvasérc eredetűek. Vastartalmuk kicsi, meddőanyag összetételük savanyú jellegű, alacsony CaO/ SiO₂ bázikusságú. A Ca fayalit fázisban mért értéke alapján feltételezhető a tudatos mészsadalagolás, amit a lelőhelyen talált nagyobb mennyiségű mészkődarab megléte is alátámaszthat.

KEYWORDS: ARCHAEOMETALLURGY, AVAR AGE, BOG IRON ORE, IRON SLAG

KULCSSZAVAK: ARCHEOMETALLURGIA, AVAR KOR, GYEPVASÉRC, VASSALAK

Bevezetés, a lelőhely ismertetése

2008-ban az épülő M6-os autópálya megelőző feltárása során, egy több periódusú, avar kori kohótelep került elő a mai, Tolna megyei Bátaszék település határában (1. ábra). A lelőhelyen 25 bucakemencét sikerült megfigyelni, melyek formatipológiai szempontból 3 különböző típusba sorolhatóak (Czövek 2010). A feltételezhetően huzamosabb ideig működő kohótelep első használati periódusában egy bucakemencéhez egy kisebb munkagödör tartozott. Legkorábban az alsó medencerészükön 30-40 cm mélyen beásott, szabadon álló avar típusú kohók és azok variánsai voltak használatban (2. ábra 1). Ebből alakulhatott ki a későbbiekben a 60-70 cm mélyen beásott, tölcseres torok-kiképzésű avar típusú kohók bátaszéki változata (2. ábra 2.). A korabeli kohászok próbálkoztak olyan megoldással is, hogy

a mellfallal ellátott bucakemencét a munkagödör oldalában, a korabeli felszín alatt építették ki, ami formajegyei alapján a Kr.u. 10-11. században elterjedt fajszi típusú kohók közé sorolható (2. ábra 3.). A telep későbbi használati periódusaiban pedig megjelentek a kisebb műhelyek (kohóbokrok) is, amikor már 1 nagyobb munkagödörhöz 2 vagy 3 (esetleg több) avar, illetve bátaszéki típusú kohó tartozott.

Anyag és módszer

A kutatás során a bucakemencékhez köthető érc- és vassalakmintákat kémiai, mikroszerkezeti és ásványtani vizsgálatait végeztük el. Vizsgáltunk pörkölten (2. minta, 32. minta) valamint pörkölt vasérc mintát (32. p. minta). (1. táblázat 1-3. oszlop).



1. ábra: A bányászati kohótelep felszínrajza (Czövek 2010) a mintavételi helyek megjelölésével

Fig. 1.: Multi-context plan of bloomery workshop in Bátaszék (Czövek 2010), with the marks of the sampling places

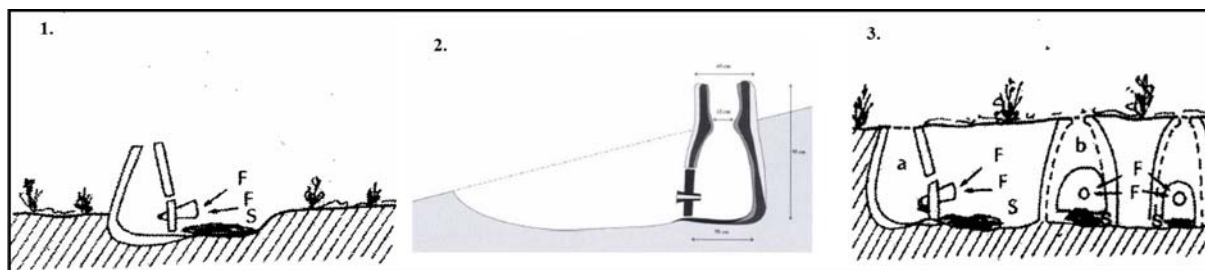
A vassalakminták válogatása során a következő két szempontot vettük figyelembe:

A bucakemencék eltérő típusait. Az avar típusú kohókból négy salakmintát (20., 37., 114., 117. minta), míg az avar típusú kohók bányászati változatából három salakmintát (27., 36., 43. minta) válogattunk ki összehasonlító elemzésre. A fajszi típusú kohókat képviselő salakmintát nem sikerült vizsgálni, mivel a kemencebontások miatt konkrétan a bucakemencéhez köthető salakanyag nem volt elkülöníthető;

Az egy munkagödörhöz tartozó bucakemencék számát. Öt salakminta származik olyan bucakemencéből, melyhez egy kisebb munkagödör tartozott (20., 37., 27., 36. és 43. minta), míg a műhelyekhez (1 munkagödöröz 2 vagy 3 kohó tartozott) köthető bucakemencék salakanyagát 2 minta reprezentálja (114. és 117. minta).

A minták szerkezeti-szöveti sajátosságainak megfigyelésére első lépésben ércmikroszkópiát alkalmaztunk. A mikroszkópi vizsgálatok Nikon Microphot FXA típusú polarizációs mikroszkóppal történtek a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani Geokémiai és Kőzettani Tanszékén. A vizsgálatokat kiegészítettük röntgen pordiffrakciós fázisanálízissel. A röntgen pordiffrakciós vizsgálatok Rigaku Ultima IV típusú Bragg-Brentano elrendezésű röntgen diffraktométerrel történtek. A mérési beállítások a következők voltak: CuK α sugárzás, 50 kV csőfeszültség, 40 mA csőáramerősség, 3–70°2 θ mérési tartomány, 0,05° mérési gyakoriság, 2/3°-2/3° résrendszer, 0,5° offset szög, 0,5°/perc goniométer sebesség, hajlított grafit egykristály monokromátor, proporcionális számláló detektor. Az érc és salakminták elemösszetételét röntgenfluoreszcens-analízissel vizsgáltuk. A mérésekhez RIGAKU Supermini hullámhossz diszperzív röntgen fluoreszcens spektrométert használtunk, melynek a kimutatási határa elemenként 10 ppm. A műszer röntgensugár forrása palládium (Pd), a gerjesztő feszültség 50 kV, az anódáram 4 mA volt. Fő- és nyomelemek kvalitatív meghatározása EZ scan módszerrel, kvantitatív meghatározása pedig SQX félmennyeiségi kalkulációval történt. Az alábbi elemeket mértük: Főelemek: Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, SO₃, K₂O, CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O₃; Nyomelemek: Cr, Co, Ni, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Ba, As.

Az XRD és az XRF vizsgálatok a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani Geokémiai és Kőzettani Tanszékén történtek.



2. ábra: A lelőhelyen megfigyelt kohótípusok: 1. avar típusú bucakemence, 2. avar típusú bucakemence bányászati változata, 3. fajszi típusú bucakemence (Gömöri 2000, Czövek 2010)

Fig. 2.: Types of bloomeries on the site: 1. Avar type bog iron ore bloomery, 2. Bányászati változat of Avar type bog iron ore bloomery, 3. Fajszi type bog iron ore bloomery (Gömöri 2000, Czövek 2010)

1. táblázat: Érc-és salakminták WDXRF-fel mért mennyiségi elemeloszlása**Table 1.:** Chemical data of the measured ore and slag samples

Oxidok wt%	2. minta	32. minta	32.p. minta	20. minta	27. minta	36. minta	37. minta	43. minta	114. minta	117. minta
Na ₂ O	0.8	0	0	0.19	0.32	0.37	0	0	0	0.17
MgO	5.54	1.16	2	1.13	2.32	0.96	2.52	0.88	2.41	1.43
Al ₂ O ₃	9.97	5.19	7.06	6.43	7.5	5.35	6.88	5.11	8.34	5.91
SiO ₂	36.29	16.13	20.78	19.04	25.71	17.84	21.84	16.48	27.32	18.03
P ₂ O ₅	0.73	1.82	1.19	2.18	1.61	1.3	1.18	2.19	1.71	1.14
SO ₃	0.05	0	0.09	0.12	0.06	0.03	0.02	0	0	0.07
K ₂ O	1.92	1.15	1.06	2.22	2.37	1.72	1.96	1.4	1.75	1.69
CaO	15.93	3.29	16.25	3.15	11.07	5.85	9.56	10.36	7.11	9.64
TiO ₂	0	0.34	0.32	0.37	0.37	0.45	0.37	0.38	0.4	0.32
MnO	0.12	0.94	1.21	2.79	3.01	3.06	2.18	2.75	2.38	2.75
Fe ₂ O ₃	22.08	64.77	37.02	60.02	45.62	62.99	53.47	60.39	48.41	58.58
Össz.	93,43	94,79	86,98	97,64	99,96	99,92	99,98	99,94	99,83	99,73
LOI	5,56%	5,15%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nyomelemek /ppm										
Cr	282	374	0	380	0	401	0	0	15	164
Co	66	258	149	207	137	198	181	176	160	178
Ni	31	66	91	5	6	11	12	0	10	4
Zn	245	35	44	23	31	19	27	23	30	104
V	0	0	0	500	0	0	0	0	600	500
Rb	19.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sr	99	23	56	132	63	44	43	308	57	141
Y	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zr	127	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	605	2084	1087	3317	1181	1183	890	996
As	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Az elektronmikroszkopos vizsgálatokkal végzett mikrokémiai elemzések révén pedig a salakok egyes alkotóit külön-külön is meghatároztuk, valamint ez alapján az összetétel jelleget kíséreltük meg összekapcsolni a szöveti-szerkezeti bélyegekkel. Az elektronmikroszkopos vizsgálatok az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézetének mikroszkopos laboratóriumában készültek egy JEOL JXA-733 típusú elektron mikroszkopos alkalmazásával. A mérések során természetes ásványstandardokat (wollastonit, spesszartin, olivin) és ZAF korrekciót alkalmaztunk. A kimutatási határ 0,05-0,3 w% körüli az egyes elemekre.

Eredmények

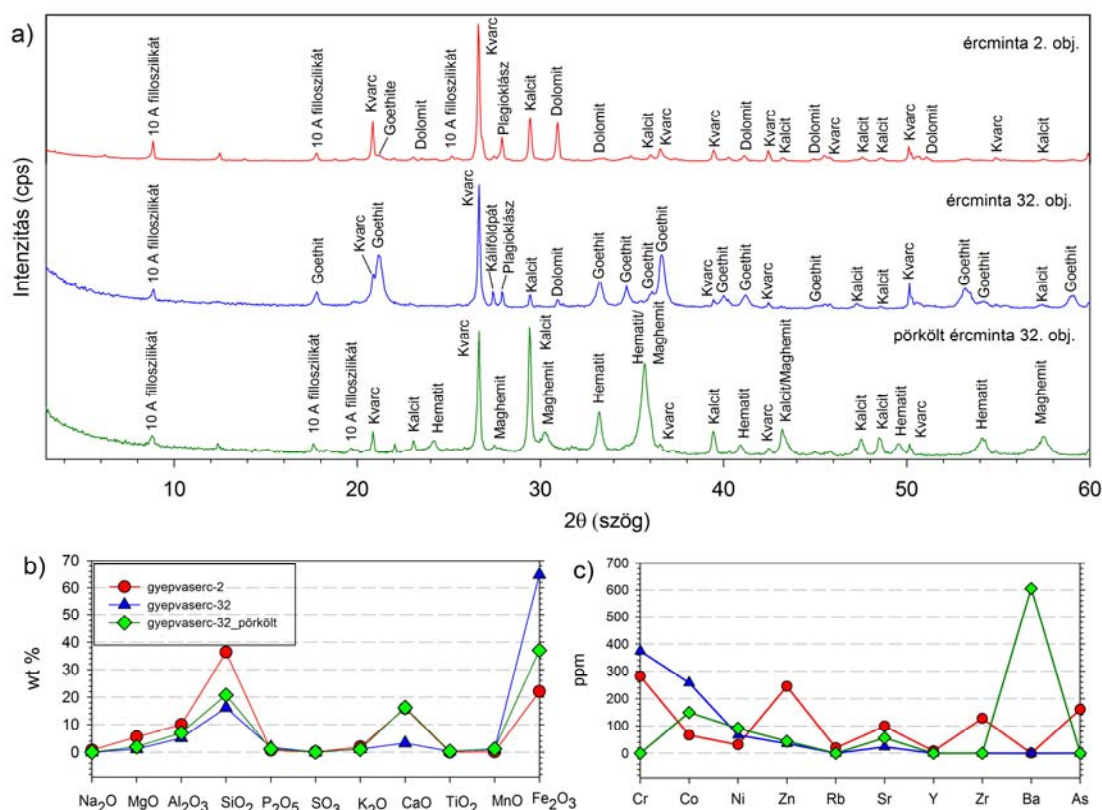
Ércminták

A kutatás jelenlegi fázisában három ércminta elemzése készült el. A minták morfológiai jegyeik alapján minden esetben gyepvasércet reprezentálnak (**3. ábra 1-2.**). Az elvégzett röntgen pordiffrakciós vizsgálatok kimutatták, hogy a pörköletlen gyepvasércminták (2. és 32. minta) alapvetően limonitos jellegűek, goethites ásványtípusúak és jelentős mennyiségű meddő anyagot (döntő mennyiségben kvarcot, kisebb mennyiségben pedig kalcitot, dolomitot, 10Å filloszilikátokat) tartalmaznak.



3. ábra: Érc- és salakminták

Fig. 3.: Ore and slag samples



4. ábra: Ércminták fázis- és elemösszetétel vizsgálatának eredményei (4/a: a minták röntgenpordiffrakciós felvételei, 4/b és 4/c: WDXRF-fel mért elemeloszlások)

Fig. 4.: Result of phase and main and trace element analyses of the ore samples (4/a: X-ray powder diffraction patterns of samples, 4/b and 4/c: elements distributions are measured with WDXRF)

A pörkölt gypvasércminta esetében (32. p. minta) a két alapvető kristályos ásványfázis a hematit (Fe_2O_3), illetve a maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). A leglényegesebb különbségek a 2. és a 32. ércminták között a Fe_2O_3 tartalomban mutathatók ki (32. minta ~65 wt%, 32. p. minta ~37 wt%, 2. minta ~22 wt%). Ezenkívül a 2. ércminta lényegesen nagyobb, ~30 wt% SiO_2 -t tartalmaz a 32. mintához képest (~12 wt% SiO_2), ugyanakkor valamennyi ércminta jelentős ~2 wt% P_2O_5 tartalmat mutat. A minták nyomelemkoncentrációt mutatnak különböző ötvöző anyagok tekintetében, közülük különösen a Cr (0-380 ppm), a Co (80-280 ppm), a Ni (10-100 ppm), a Zn (50-250 ppm), As (0-150 ppm) és a Ba (0-600 ppm) tartalom emelhető ki. Az eredményeket a **4. ábra** és az **1. táblázat** első három oszlopa foglalja össze.

Vassalakminták

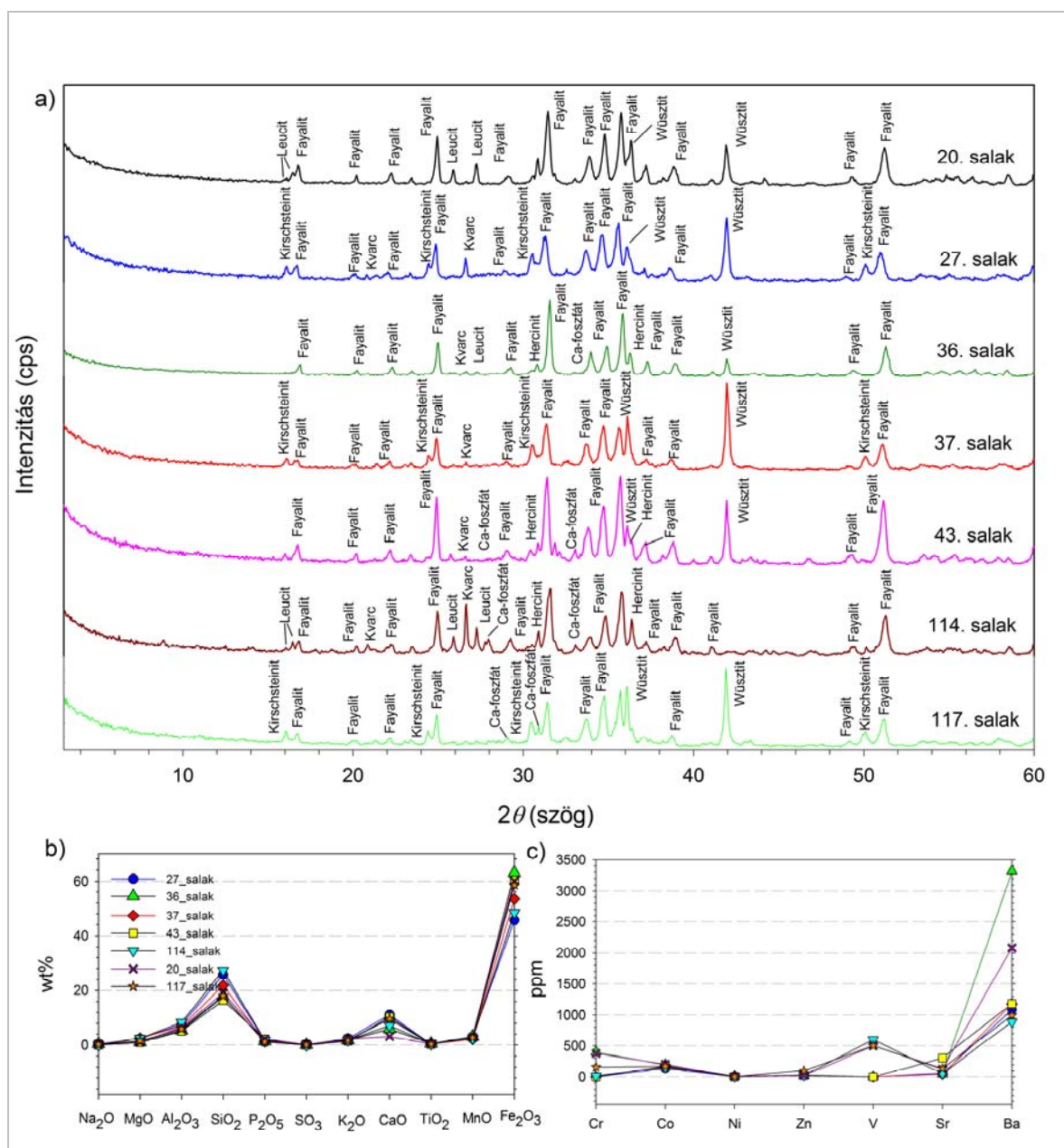
A vizsgált vassalakminták morfológiai jellemzőik alapján kohósalakot reprezentálnak. Vizsgáltunk teljesen átolvadt, felületükön szőlőfürtszerű folyást viselő, fekete, csillogó, ugyanakkor lunkerestörött, nagy sűrűségű ún. folyósalakot (**3. ábra 4.**), valamint kisebb sűrűségű, barnás-vöröses, erősen csipkézett, tagolt szerkezetben megdermedt ún. kemencesalakot is (**3. ábra 3.**). A salakmintákon végzett röntgen pordiffakciós vizsgálatok eredményei alapján a vizsgált salakmintákban előforduló leggyakoribb szövetelemek a wüstit (FeO), a fayalit (Fe_2SiO_4) és az üveges fázis. A vizsgált mintákban ezen kívül változó mennyiségben leucit, Ca-foszfát, kvarc, kirschsteinit, illetve hercinit fázisok mutathatók ki (**5/a ábra**, **2. táblázat**).

2. táblázat: Salakminták kristályos alkotóinak egymáshoz viszonyított mennyisége

Table 2.: Relative quantity of crystalline component in the slag samples

Minta	Fázisok relatív mennyiségi sorrendje
20. minta	fayalit >> wüstit > leucit > Ca-foszfát
27. minta	fayalit >> wüstit > kirschsteinite > kvarc
36. minta	fayalit >> hercinit > wüstit > kvarc > Ca-foszfát > leucit
37. minta	fayalit >> kirschsteinite > wüstit > kvarc
43. minta	fayalit >> wüstit > Ca-foszfát > hercinit > kvarc
114. minta	fayalit > kvarc > leucit > hercinit > wüstit > Ca-foszfát
117. minta	fayalit > wüstit >> kirschsteinite > Ca-foszfát

A főelem kémiai összetétel adataiból kiemelendő a salakminták magas SiO_2 (~17-27 wt%) és a Fe_2O_3 (~45-62 wt%), valamint CaO (~6-11 wt%) tartalma. A foszfor tartalom (P_2O_5) valamennyi salakmintában jelentős, akár 1-2 wt%-os mennyiséget is elérhet. Számottevő a minták nyomelemtartama is: a Cr (~0-500 ppm), a Co (~0-300 ppm), a Ni (~0-100 ppm), a Zn (~0-100 ppm), a V (~0-650 ppm) és a Ba (~500-3400 ppm) mennyiségben jelennek meg. A vassalakminták vegyelemzési adatait a **6/b** és **6/c ábrán**, illetve az **1. táblázat** 4-10. oszlopában láthatjuk részletesen. A mikroszerkezeti vizsgálatok eredményei alapján a minták fayalit salakot reprezentálnak, anyagszerkezeti szempontból inhomogén szerkezetűek. Négy szövettípus figyelhető meg, amelyek változó mértékben ugyan, de minden mintában jelen vannak. A legjellemzőbb szövetszerkezet a tús-dendrites wüstit fázis oszlopos-léces megjelenésű fayalit kristályokkal (**6. ábra 1.**). Megfigyelhető olyan mikroszerkezet is, ahol a tömegesen megjelenő saját alakú fayalit kristályok üveges köztes fázissal és dendrites wüstittel jelennek meg (**6. ábra 2.**). Észlelhető olyan szövet is, ahol a kéveszerű halmazokat alkotó fayalit fázis wüstit dendritekkel és üveges amorf alapanyaggal fordul elő (**6. ábra 3.**), és olyan is, ahol a tömeges fayalit fázis közti tereket wüstit szemcséket tartalmazó leucitos üveges alapanyag tölti ki, melyben trialcium-foszfát, kisebb mennyiségben pedig apatit kristályok jelennek meg helyenként (**6. ábra 4.**). Az ásványfázisok kémiai összetételét elektronmikroszkopos vizsgálatokkal állapítottuk meg. Elsődleges célunk volt megvizsgálni, hogy a Ca, a Mn, a Ti, a P és az Mg dúsulása mely fázisokban figyelhető meg. Az eredmények alapján elmondható, hogy a Ca négy fázisban van jelen a mintákban, az üveges alapanyagban (~4-15 wt% CaO), a fayalit fázisban (~5-12 wt% CaO), valamint külön fázisként kirschsteinit (CaFeSiO_4) és trialcium-foszfát ($\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) vagy apatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 (\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$) formájában. A fayalit fázisban továbbá Mn és Ti dúsulás is kimutatható volt (~2-4 wt% MnO, 0,5-1 wt% TiO_2), valamint a MnO a wüstit fázisban is jelen volt ~2-4 wt%-ban. A P két fázisban dúsult, az üveges alapanyagban (~2-6 wt% P_2O_5) és külön fázist alkotva Ca-foszfátként. A mikroszkopos vizsgálatok alapján a fayalitban Mg dúsulás nem volt tapasztalható. Kis mennyiségben hercinit (FeAl_2O_4) kristályok megfigyelhetők a salakokban ugyanakkor magnezioferritet nem volt kimutatható.



5. ábra: Salakminták fázis-és elemösszetétel vizsgálatainak eredményei (5/a: a minták röntgenpordiffrakciós felvételei, 5/b és 5/c: WDXRF-fel mért elemeloszlások)

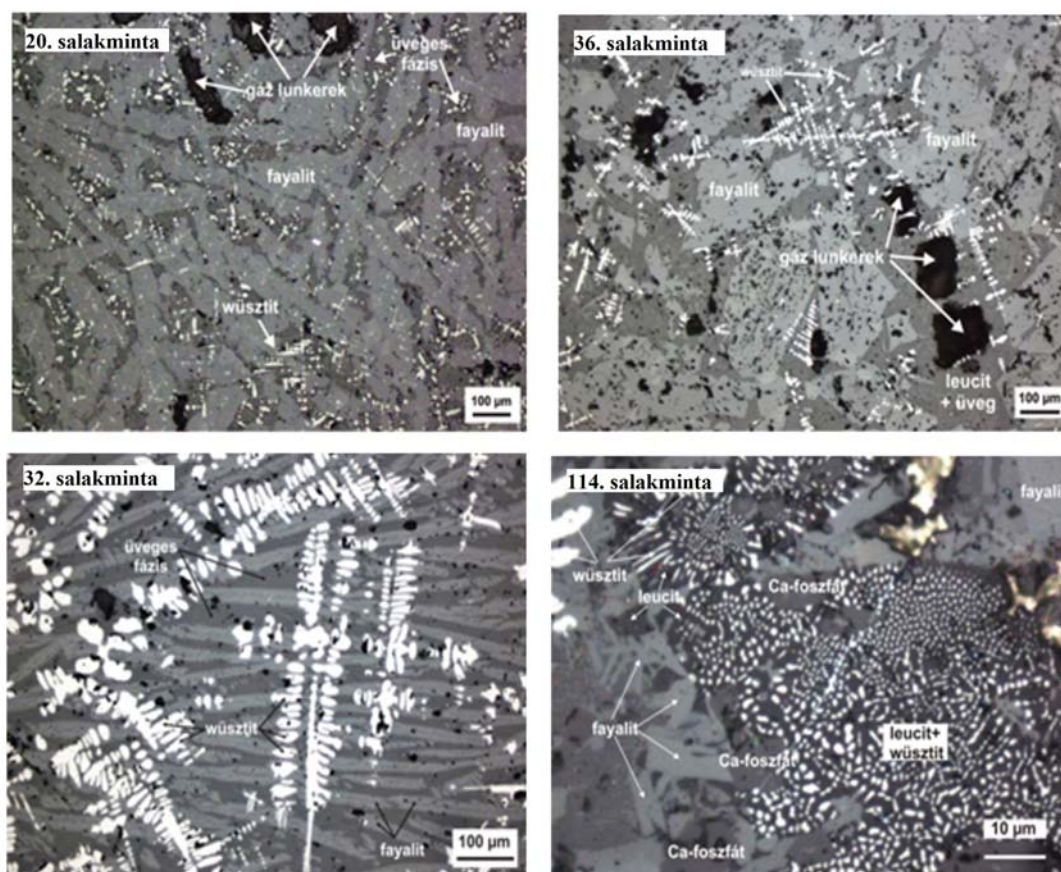
Fig. 5.: Result of phase and main and trace element analyses of the slag samples (5/a: X-ray powder diffraction patterns of samples, 5/b and 5/c: element distribution measured with WDXRF)

Következtetések

Ércminták

A három ércminta alapján messzemenő következtetések levonására még nem nyílik lehetőség, de a kutatási eredmények alapján, valamint összevetve őket a hasonló korú vasipari lelőhelyek anyagával a következő megállapítások mondhatók el. Mindhárom vizsgált ércminta gyevasérc eredetű. A pörköltetlen minták alapvetően limonitos jellegűek, goethites

ásványtípusúak, túlnyomó részben kristályos fázisokat tartalmaznak. A kohósításra szánt gyevasérceket a korabeli kohászok előpörkölték. Az előpörkölés az ércek esetében a goethit (FeO(OH)) hidratvíz-tartalmának eltávolításához volt szükséges (Török 2010/a). Ennek okán a pörkölt gyevasércminta két alapvető fázisa a maghemit, illetve hematit. A mintákon végzett röntgen pordiffrakciós és kémiai vizsgálatok eredményei alapján meghatározható volt azok kohósíthatóságra, bucakohászati technológiára való alkalmasságuk.



6. ábra: A salakmintákban előforduló szövettípusok
Fig. 6.: Texture-types of the slag samples

A 32-es minta Fe_2O_3 tartalma aránylag nagy, míg a 2-es minta Fe_2O_3 tartalma kicsinek mondható. A vizsgált két pörköletlen gypvasérc minta meddőanyag összetétele savanyú jellegű, alacsony bázikusságú (2. minta $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0,057$, 32. minta $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0,16$). Az eddig vizsgált ércminták esetében is a savanyú jelleg, alacsony bázikusság ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0,0004-0,144$) volt a jellemző (Gömöri–Török 2002). A 32-es minta Fe_2O_3 tartalma és meddő anyag összetétele alapján tehát alkalmas lehetett kohósításra, ám a 2-es minta Fe_2O_3 és meddőanyag összetétele alapján inkább egy fel nem használt, eldobott darabnak tartató. Azonban az sem kizárható, hogy az általunk vizsgált ércmintákat egyikét sem használták fel a kohósítás során. Ugyanis ha összevetjük az ércmintákban mért CaO tartalmat, a salakminták CaO tartalmával, akkor jól látható, hogy az ércminták esetében magasabb érték a jellemző. Alapesetben a kohósítás során a CaO dúsulása figyelhető meg a salakokban, így annak CaO tartalmának magasabb értéket kellene adnia, mint az érc esetében. A mintákon végzett fázis- és elemösszetétel vizsgálatok eredményei alapján az sem zárható ki, hogy a két pörköletlen ércminta más-más nyersanyaglelőhelyről, geológiai

környezetből származik. A minták kémiai összetétel elemzése alapján elmondható, hogy alacsony Ni (átlagosan 0,01 wt%), Co (átlagosan 0,02 wt%) és As (0 wt%) tartalmúak. A P tartalom viszont relatív magas (átlagosan 2 wt%), az S tartalom (0,001 wt%) elhanyagolható.

Vassalakminták

A mikroszerkezeti vizsgálatok eredményei alapján a minták fayalit salakot reprezentálnak, anyagszerkezeti szempontból inhomogén szerkezetűek. Általános jellemző, hogy a fayalit-wüstit halmazok közti teret a különböző vassalakokban rendszerint leucitos-kalszilites-üveges anyag tölti ki (Buchwald 2005), amely az általunk vizsgált minták esetében is elmondható. A vizsgált mintákra jellemző a relatív nagy Fe_2O_3 tartalom, ~45-62 wt% között alakul. Szintén általános jellemző a minták magas SiO_2 tartalma, és, hogy a SiO_2 tartalom fordítottan arányos a Fe_2O_3 tartalommal (Buchwald 2005, Török 2010/b). A röntgen pordiffrakciós vizsgálatok kimutatták azt is, hogy a salakmintákban a kristályos fayalit fázis mellett jelentős mennyiségű amorf fázis van jelen. A vizsgált, alapvetően fayalitos jellegű salakok

alacsony CaO/SiO_2 bázikusságúak, savanyú jellegűek. A bátaszéki telep salakanyagának átlagos $\text{CaO/SiO}_2 = 0,166\text{--}0,5\%$, az eddig vizsgált salakok esetében a $\text{CaO/SiO}_2 = 0,005\text{--}0,35\%$ között mozog (Gömöri–Török 2002). A vassalakok fém szemcséin végzett elektronmikroszkopos kémiai elemzések alapján a minták relatív magas P tartalma és jelentősebb Mn tartalom utalhat a gyevasérc felhasználásra. Érdekes lehet továbbá a vizsgált salakminták relatív magas Ba tartalma. A megemelkedett Ba tartalom ugyanis a hazai gyakorlatban a rudabányai vasérctelep oxidációs zónájában, illetve a rómaiak által Dél-Alpokban és Dalmáciában művelt, a rudabányaihoz hasonló típusú ércelepekből származó vasércre utalhatnak (Molnár 2011). A Ba tartalom alapján tehát az sem zárható ki, hogy a kohótelep működése során felhasznált vasérc egy bizonyos része nem gyevasérc eredetű volt. Itt is ki kell emelni, hogy a kutatás jelenlegi fázisában, a megfelelő referencia-minták vizsgálat hiányában csupán tájékoztató jellegű információ lehet. A fayalit összetételben a nagy Ca mennyisége szintén a gyevasérc vagy esetleg karbonátos kőzetkörnyezetből származó vasérc eredetre utal. Másrészt azonban a Ca a salakképződést elősegítő adalékanyaggal együtt is kerülhet a salak anyagába, sőt ez technológiai jegyeket is tükrözhet, mivel a Ca tartalom növelése megakadályozza a vas fayalitba történő belépését, miáltal a kohászat jobb hatásfokúvá válik (Molnár 2011). A mintákban mért CaO tartalom relatív nagynak mondható, nem biztos, hogy csupán az ércek meddőjéből származik, lehetséges, hogy a kohósítás során tudatosan adagolt salakképző keverék egyik összetevőjére, feltételezhetően mészkőre. A Ca fayalit fázisban való megjelenése és a lelőhelyen megfigyelt, felszíni mészkő halmok foltjai is ezt a feltevést támasztják alá. Az elektronmikroszkopos vizsgálat eredményei is a tudatos mészsadalagolás lehetőségét támasztják alá, így a fayalit fázisban jelen lévő Ca jelentős mennyisége. A közölt elmélet azonban még további kutatásokat igényel, hiszen az eddigi eredmények alapján nem zárható ki teljes bizonyossággal, hogy magában az ércmintákban mért nagyobb kalcit és dolomit lehetett a forrása a salakokban mért magas Ca tartalomnak. A vizsgálati eredmények újszerűségét a bucakemencék szerkezeti felépítési variációiból adódó esetleges technológiai jegyek elkülönítése jelentheti. A vizsgált mintákat két csoportra osztva kíséreltük meg az esetleges különbségeket meghatározni. Az avar típusú bucakemencékből vett salakminták képviselik az 1. csoportot, míg a 2. csoportba soroltuk az avar típusú kohók bátaszéki változataként leírt bucakemencékből vett mintákat. Mindkét csoport esetében elmondható, hogy a salakminták Fe_2O_3 tartalma nagy. A legnagyobb Fe_2O_3 tartalmat a 2. csoportba tartozó a 36. (62,99 wt%) és a 43. (60,39 wt%) mintában, illetve az 1. csoportba tartozó 20.

(60,02 wt%) mintában mértük. A minták SiO_2 tartalmában nem volt jelentős eltérés, ugyanakkor a 2. csoportból vett minták esetében kisebb értékek figyelhetők meg. A 2. csoport kisebb SiO_2 tartalma mellett a Fe_2O_3 tartalom a vizsgált mintákban arányosan magasabb volt. A CaO tartalom tekintetében sem voltak megfigyelhető jelentős eltérések, átlagosan a 2. csoport esetében volt jellemzőbb a nagyobb Ca tartalom. A P_2O_5 valamint a nyomelemek mennyisége mindkét csoport mintáiban hasonló értékek körül alakul. Az egy műhelygödörhöz tartozó kohók száma alapján történő esetleges elkülönítés sem volt lehetséges a vizsgált salakminták alapján, a fázis- és elemösszetétel vizsgálatok eredményei alapján ugyanis nem voltak kimutathatók eltérések. A kohótelepen tehát a kisebb műhelyek megjelenésének feltételezhetően praktikussági okai lehettek elsősorban, nem pedig a technológiai jegyekre vezethető vissza alkalmazásuk. A nyomelemösszetétel vizsgálatok alapján egyedül a Ba tartalom emelhető ki, mely a kohóbokrokból vett minták esetében kisebb mértékben volt adatolható.

Összegzés

A vizsgálatok eredményi alapján a bucakemencék különböző szerkezeti felépítése ellenére nem sikerült megfigyelni jelentős eltéréseket a salakok összetételében és szerkezetében sem. Az eltérő típusú bucakemencékből származó salakok fázis- és elemösszetétel tekintetében párhuzamba hozhatóak az eddig vizsgált, hasonló korú kohászati lelőhelyek salakanyagával. Érdekes lehet azonban a kohósítás során tudatosan adagolt salakképző anyag, feltételezhetően mészkő kérdésköre. Amennyiben a további kutatási eredmények is alátámasztják az eddigi eredmények alapján levont következtetéseinket, akkor a vizsgált korszak vasiparának újabb technológiai jegyeit sikerülhet a bátaszéki telep alapján adatolni.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Czövek Attilának, hogy a leletanyagot rendelkezésemre bocsátotta, továbbá B. Tóth Ágnesnek, Gömöri Jánosnak, Tóth Máriának és Thiele Ádámnak, hogy hasznos tanácsaikkal segítették munkánkat

Györke Réka publikációt megalapozó kutatása a TAMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Bibliográfia

BUCHWALD, V. F.: Iron and steel in ancient times. *Historisk-filosofiske Skrifter* **29**, The Royal Danish Academy of Sciences and Letters, Copenhagen 2005. 113–124., 159–180.

CZÖVEK, A. (2010): Avar kori kohótelep Bátaszék határában. Szekszárd, *WMMÉ* **32** 214–241.

GÖMÖRI, J. (2000): Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannóniában. (*Magyarország iparrégészeti lelőhelykatasztere I. Vasművesség.*) The archeometallurgical sites in Pannonia from the Avar and early Árpád-period. (*Register of industrial archeological sites in Hungary 1. Ironworking*) Sopron, 2000. 1–242.

GÖMÖRI, J.–TÖRÖK, B. (2002): Technical examination of the early medieval ferrous metallurgical finds from hungarian sites. In.: Jerem, Erzsébet-T. Biró, Katalin (eds.): Archeometry 98, Proceedings of the 31 st Symposium Budapest, April 26-May 3 1998, Archaeolingua, *British Archaeological Reports*

(BAR) International Series **1043/II** Oxford, 2002. 375–381.

MÁRTON, P. (2012): A hazai archeomágnese adatok repertórium 1966–2010. (Archeomágnese mintavételi adattár 2011). *Archeometriai Műhely* **9/1** 11–18.

MOLNÁR, F. (2011): Salakok és fémek archeometriai vizsgálata. In.: Müller R. et al. szerk., *Régészeti Kézikönyv*, Budapest, 510–524.

TÖRÖK, B. (2010/a): Árpád-kori vaskohászati műhelyek metallurgiája a műszaki vizsgálatok tükrében. *Gesta* - A Miskolci Egyetem Történettudományi Intézetének folyóirata **IX** Archaeometria és Régészet (Szerk.: P. Fischl K., Lengyel Gy.), Miskolc, 2010. 227–232.

TÖRÖK, B. (2010/b): Crystallization of Iron Slags Found in Early Medieval Bloomery Furnaces; 5th International Conference on Solidification and Gravity, Miskolc-Lillafüred, Hungary. (2008) *Materials Science Forum* **649** Trans Tech Publications, Switzerland, 455–460.