

A FOSZFOR SZEREPE A VAS SOMOGYI ARCHEOMETALLURGIÁJÁBAN – AVAR ÉS ÁRPÁD-KORI VASKOHÁSZATBÓL SZÁRMAZÓ SOMOGYI SALAKOK SEM-EDS VIZSGÁLATA

THE ROLE OF PHOSPHORUS IN THE ARCHAEOMETALLURGY OF IRON: SEM-EDS ANALYSIS ON SLAG SAMPLES FROM AVAR AND ÁRPÁD-AGE BLOOMERY WORKSHOPS OF SOMOGY COUNTY

THIELE ÁDÁM¹, TÖRÖK BÉLA², KÖLTŐ LÁSZLÓ³

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Budapest

² Miskolci Egyetem, Metallurgiai és Öntészeti tanszék, Miskolc

³ Kaposvár

E-mail: thiele.adam@gmail.com

Abstract

Based on the archaeometrical investigations carried out on archaeological iron artefacts and iron blooms in recent years it can be stated that phosphoric-iron (P-iron, low carbon steel with 0,5-1,5 wt% P) was widely used in different parts of the world in the medieval times, however P is an avoided element in the modern industry.

We have conducted several smelting experiments in the copies of the an excavated, embedded type of furnace using P-rich bog iron ores from Somogy County and P-iron with 0,5-2,5 wt% of P was regularly extracted. Nevertheless there is only very few archaeometrical evidence of producing and using P-iron in the Carpathian-basin.

In this study we tried to explore the role of phosphorous in the archaeometallurgy of iron in the Carpathian basin answering the question: was P-iron widely produced in the Carpathian-basin, especially in Somogy County?

Regarding this question we have carried out SEM-EDS analysis on 12 iron slag samples originating from 5 Avar or Árpád-age bloomery workshops. P appeared in 2-5 wt% amount in these samples and a typical microstructure of the slag sample was needled tricalcium-phosphate. The slag samples also contained high amount of Ca (5-21 wt%) which situated mostly in olivine phase.

Based on the results of SEM-EDS analysis of the slag samples we can state that P-rich local bog iron ores were smelted during the bloomery process but adding limestone to control the P content of the resulted iron bloom could be also supposed.

Kivonat

Az utóbbi évek vastárgyakon és vasbucákon (a korabeli vaskohászat termékein) elvégzett archeometriai vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a nagy foszfortartalmú (átlagosan 0,5-1,5 wt%) vasanyagok felhasználása, a kedvezőtlen alakíthatósági és mechanikai tulajdonságok ellenére, a középkori világban igen elterjedt volt. Az elmúlt években számos próbakohósítást végeztünk el fajszi-típusú bucakemencével. Nagy foszfortartalmú somogyi és nyírségi gyepvasércek próbakohósítása során olyan vasbucákat kaptunk, amelyek átlagosan 0,5-2,5 wt%-os mennyiségben tartalmaztak foszfort. Bár az ilyen gyepvasércek nagyon elterjedtek hazánk területén, nagy foszfortartalmú vasanyagok előállítására és felhasználására a Kárpát-medencében eddig nagyon kevés archeometriai bizonyíték van.

A jelen cikkben bemutatott kutatásunk célja az volt, hogy választ adjunk a kérdésre: Vajon állítottak-e elő az avar korban és az Árpád-korban a Kárpát-medencében nagy foszfortartalmú vasanyagokat?

A kérdésre választ keresve somogyi vaskohászati műhelyekből származó salakmintákon végeztünk SEM-EDS vizsgálatokat.

Az anyagvizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a salakminták átlagos kémiai összetételében 2-5 wt%-os mennyiségben jelentkezik a foszfor. A vizsgált salakok jellegzetes szöveteleme a trikálcium-foszfát, amely a minták többségében tűs formában jelent meg. Ez alapján kijelenthető, hogy a kohósított korabeli gyepvasércek szintén nagy foszfortartalmúak voltak. A foszfor a vas- és a salakfázis közötti megoszlással a vasfázisba is bekerülhetett.

A vizsgált salakok nagy mennyiségben, általában 5-21 wt%-ban tartalmaztak Ca-ot is, amely legnagyobb részt a fayalit szövetelemben jelent meg. Ennek alapján feltételezhető a kohósítás során a szándékos mész vagy nagyobb mésztartalmú vasércdarabok beadagolása, ezáltal az előállított bucavas foszfortartalmának módosítása, csökkentése.

KEYWORDS: ARCHAEO-METALLURGY, AVAR AND ÁRPÁD-AGE, P-IRON, CONTROLLING P CONTENT, BOG IRON ORE, SEM-EDS

KULCSSZAVAK: ARCHAEO-METALLURGIA, AVAR ÉS ÁRPÁD-KOR, FOSZFORVAS, A FOSZFORTARTALOM BEFOLYÁSOLÁSA, GYEPVASÉRC, SEM-EDS

Bevezetés

Archeometriai háttér

Európa-szerte végeznek archeometriai vizsgálatokat régészeti feltárások kapcsán előkerülő vasbucákon, vastárgyakon. Ezek eredményei alapján megállapítható, hogy a nagy foszfortartalmú (átlagosan 0,5-1,5 wt%) vasanyagok felhasználása, a kedvezőtlen alakíthatósági és mechanikai tulajdonságok ellenére, a középkorban igen elterjedt volt (Tylecote 1986, Bucwald 2005, Kumar & Balasubramaniam 2002, Balasubramaniam 2000). Az archeometallurgiai szakirodalom az ilyen anyagokat ún. „foszfor-vasnak”, „P-vasnak” nevezi („Phosphoric-iron vagy P-iron”). A P-vasakkal egyre több kutatás foglalkozik, ezek eredményeképpen pedig látható, hogy a foszfornak, mint ötvözőnek, a második legnagyobb szerepe volt a vas archeometallurgiájában (a karbon után). A P-vasak kétféle célra voltak használatosak: a kis karbontartalmú acélhoz képest valamivel nagyobb keménységüknek (250-350HV), illetve a szénacélokhöz képest a képlékeny hidegalakítás hatására nagyobb mértékű felkeményedésnek köszönhetően bekovácsolt vágóélként (Preßlinger & Eibner 2009), jó korrózióállóságuk miatt pedig diszító céllal használták őket, legtöbbször damaszkolt („pattern-welded”) kés- vagy kardpengéknél (Tylecote & Gilmour 1986, Thomsen 1989, Blakelock & McDonnell 2007).

A foszfor hatása a kis karbon-tartalmú acélok tulajdonságaira jól ismert. A nagy foszfortartalomnál a P korlátozott oldhatósága miatt a szemcsehatárokon megjelenő 1050°C olvadáspontú Fe-Fe₃P eutektikum (Steadit) a kovácsolási hőmérsékleten törekenységet okoz. Kisebb foszfortartalom esetén a ferritben oldott foszfor szobahőmérsékleten az alakíthatósági jellemzők (szakadási nyúlás, ütőmunka, stb.) csökkenéséhez, elridegedéshez vezet. A foszfor emellett rontja a kovácsolhatóságot és durvítja a szemcseszerkezetet. A foszfor ugyanakkor növeli a szilárdságot és korrózióállóságot (Goodway & Fisher 1988).

A foszfor a vasfázisba a gypvasérből kerül be, ezért P-vas előállítása nagy foszfortartalmú gypvasércek kohósításával volt lehetséges. A hazai gypvasércek genetikájával, földtanával foglalkozó jelenleg is folyó kutatásink előzetes eredményei

alapján már látható, hogy a Kárpát-medencében elsősorban a Nyírségben és Somogyban jellemző a nagy foszfortartalmú, bakteriális genetikájú gypvasércek előfordulása (az összefoglaló cikk megjelenése folyamatban). A nyírségben jelenlegi ismereteink szerint nem folyt vaskohászat, Somogyban viszont az avar és Árpád-kori vaskohászat nyomai nagy számban lelhetők fel.

A somogyi középkori vaskohászat régészeti háttere (Költő 1999, Gömöri 2000)

Somogy megyében az első leletek leletmentések során kerültek felszínre. A korai vasművesség kutatása a Zamárdiban megtalált avar kori kohótelep felfedezésével indult, majd a 10. századi, kora-Árpád kori kohászati lelőhelyek módszeres, feltárásokkal is kísért kutatása az 1990-es évek végén feltárt Somogyvámos-gyümölcsényi 10. századi kohók feltárásával kezdődött. A helytörténeti kutatómunkán alapuló terepbejárásokkal, amely munkában Stamler Imrének, a Somogyjárási iskola volt igazgatójának nagy szerepe volt, sikerült felfedezni a legjelentősebb somogyi lelőhelyeket. Közülük a Somogyfajszon teljes mértékben, majd a Bodrog-Büpusztán részleteiben feltárt kohóműhelyek bizonyultak a legjelentősebbnek. Előbbinek a helyszínen megőrzött maradványai fölé 1996-ban, a DUNAFERR Vasmű támogatásával a védelmet, és a látogathatóságot is biztosító védőépület került. Mellette a mai napig folyik kísérleti régészeti tevékenység.

A terepbejárások során a jelenlegi, illetve az egykori, elmocsarasodott, vagy azóta feltöltődött patakmedrek mentén, számos helyen került elő vaskohászatra utaló nyom. A régészek sok helyen találtak salakokat, néhány helyen gypvasércekre is bukkantak. Az említett lelőhelyeken kívül jelentősebb feltárás folyt még Gyékényes-Lankóci erdő, valamint Lábod-Petesmalom lelőhelyen, ahol avar kori kohászati telepeken működő bucakohókat találtunk. Utóbbinál a kiszáradt halastó medrében a korhadási folyamatok révén a tőzegre kirakódott vasérc szinte kohósításra alkalmas állapotban dúsult fel.

Somogy megyében a feltárások és a terepi kutatások eredményeként ma már több mint 50, a tárgyalta korszakra keltezhető korai (főként

salakokkal jelzett) vaskohászati lelőhelyet

Kísérleti előzmények

Az elmúlt években számos próbakohósítást végeztünk el fajszi-típusú bucakemencével Magyarország különböző területeiről összegyűjtött gypvasérceket felhasználva. A kísérletek során kohósított gypvasérceken, a kapott vascúcon és salakokon anyagvizsgálatokat végeztünk. A rekonstrukciós kísérletekről és az anyagvizsgálatokról korábbi publikációkban már beszámoltunk (Thiele 2010, Thiele 2012).

Megállapítottuk, hogy a bucavas kémiai összetétele, ebből következően megmunkálhatósága és szobahőmérsékleten jelentkező mechanikai tulajdonságai nagyon változók, attól függően, hogy milyen genetikájú és kémiai összetételű gypvasércet kohósítottunk. Nagy foszfortartalmú, bakteriális genetikájú somogyi és nyírségi gypvasércek próbakohósítása során nagy foszfortartalmú (átlagosan 0,5-2,5 wt%) bucavasat kaptunk. Ezzel szemben Rudabányán az oxidációs zónából gyűjtött gypvasércek az előbbiektől eltérő genetikájuknál és kémiai összetételüknel fogva foszfort nem, de oldott rezet nagy mennyiségben (4-6 wt%) tartalmazó bucavasat adtak. Legújabbban egy Somogyfajshoz közeli, az Aranyosi-patak medrében kibukkanó gypvasércelencse ércét kohósítva pedig nagy arzén tartalmú (1-11 wt%), ugyanakkor kevesebb P-t (0-1,2 wt%) tartalmazó vascúkat állítottunk elő.

A rekonstrukciós kísérletek nagy emberi, anyagi és időráfordítást igényelnek, így olyan laboratóriumi modellezési lehetőségeket dolgoztunk ki, amelyekkel kontrollált körülmények között történnek, így megismételhetően tanulmányozható a vascukohászati technológia (Thiele & Dévényi 2012, Török & Thiele 2013).

Kérdésfelvetés

A jelen cikkben bemutatott kutatásunk célja az volt, hogy választ adjunk a kérdésre: Vajon állítottak-e elő az avar korban és az Árpád-korban a Kárpát-medencében nagy foszfortartalmú vasanyagokat?

A P-vasak előállítására és felhasználására a Kárpát-medencében eddig nagyon kevés archeometriai bizonyíték van. Bár számos salakmintán és vastárgyon került sor anyagvizsgálatok elvégzésére, a foszfor jelenlétére utaló eredmények eddig nem születtek (Gömöri & Török 2002, Török 2010, Török & Kovács 2011). Olyan somogyi régészeti feltárások salakmintáin és vastárgyain azonban kevés anyagvizsgálat történt, amelyek estén valószínűsíthető lenne a nagy foszfortartalmú gypvasércek felhasználása.

ismerünk.

Ezek egyike a somogyfajshi honfoglalás kori vaskohászati műhely vascúainak, vasérceinek és vassalakjainak anyagvizsgálata (Ágh & Gömöri 1999), amely alapján látható, hogy az ott előállított vascúak jelentős foszfortartalmúak voltak (0,4-1,22 wt%).

Az As szerepe a vas kárpát-medencei archeometallurgiában szintén érdekes kérdés lehetne. Az As azonban nem a salakfázisban, hanem a vascúfázisban dúsul, így nyomára csak vascúakban, vastárgyakban lehetne bukkanni.

Módszerek

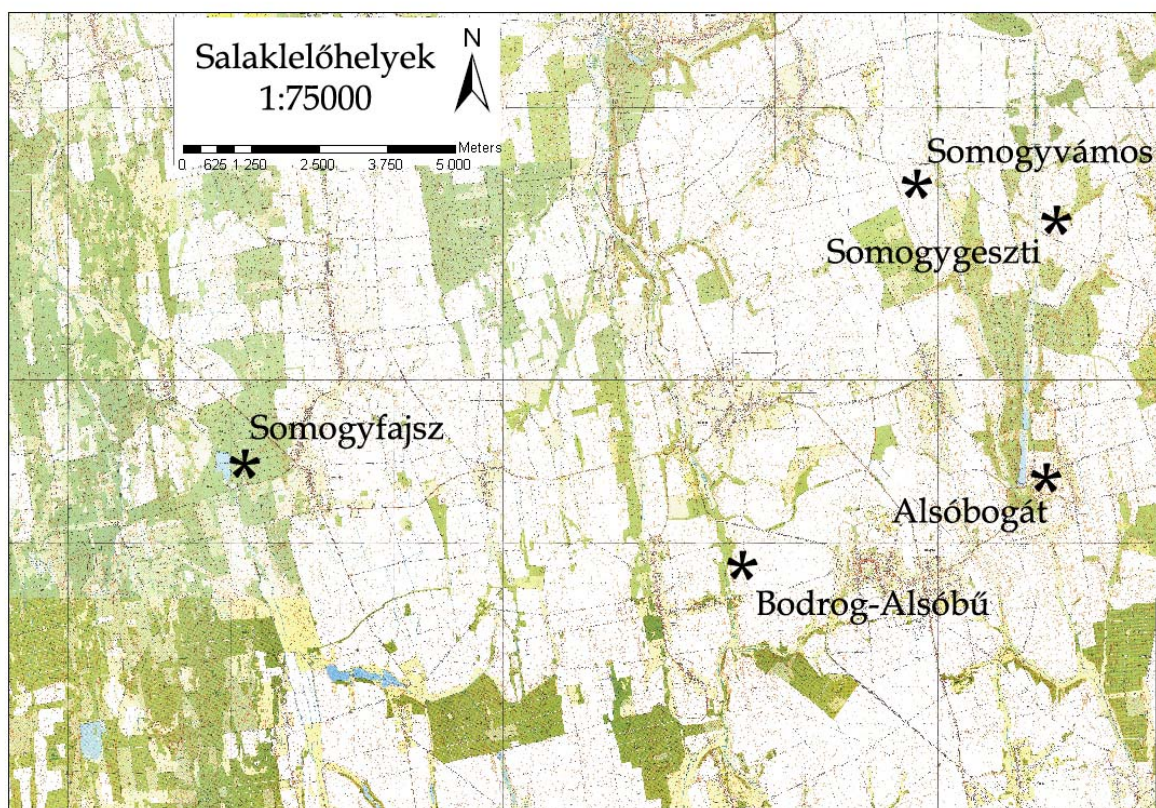
Terepbejárás, salakminta-gyűjtés

A kérdésre választ keresve somogyi vaskohászati műhelyekből származó salakmintákon végeztünk anyagvizsgálatokat. Belső-somogyi terepbejárások során a következő avar és Árpád-kori vaskohászati műhelyekből gyűjtöttünk salakmintákat: Bordog-Alsóbü (S1), Somogyvamos (S2), Somogygeszti (S3), Alsóbogát (S4) és a somogyfajshi Óskohó Múzeum (S5). A lelőhelyeket térképen feltüntetve az **1. ábra** mutatja.

Az archeometallurgiai szakirodalom megkülönböztet folyó- és kemencesalakot. A folyósalakok a kohósítás során teljes tömegükben jól átolvad, fűrtös-cseppes felületű, nagy sűrűségű, néha gázbuborékokkal teli salakok. A folyósalakok néha a kemencéből kifolyva dermedtek meg (ha volt salakcsapolás), de a rekonstrukciós kísérletek tapasztalatai alapján ugyanilyen küllemű salakrögök keletkeznek a faszénnel teli medencébe lecsurgó olvadt salak megszilárdulásakor is. Ilyen esetben jellemző, hogy a salak faszén bezáródásokat is tartalmaz. A folyósalak kémiai összetételét első sorában a kohósított gypvasérc és kisebb részben a faszén hamujának kémiai összetétele határozza meg. A kemencesalakok a kemence falzatával összeolvadt, illetve a kemence leolvadt bélésével együtt, a kemence belsejében megszilárdult, nagyobb olvadáspontú, szivacsos szerkezetű, kisebb sűrűségű darabok, amelyek közvetlenül nem érintkeznek a vascúval, kémiai összetételüket pedig leginkább a kemence bélésének kémiai összetétele határozza meg.

Számunkra a folyósalak minták anyagvizsgálata indokolt, mivel ez a salak került érintkezésbe a vascúval, ezért a salak és vascú között kémiai reakciók mehettek végbe (pl. foszfor-megoszlás).

A begyűjtött salakminták tehát folyósalak minták voltak, kemencesalak mintát nem gyűjtöttünk.



1. ábra: A vaskohászati műhelyek térképi elhelyezkedése, ahonnan a vizsgált salak minták származnak

Fig. 1.: Location of the bloomery workshops from where slag samples were collected

Salakminták anyagvizsgálata

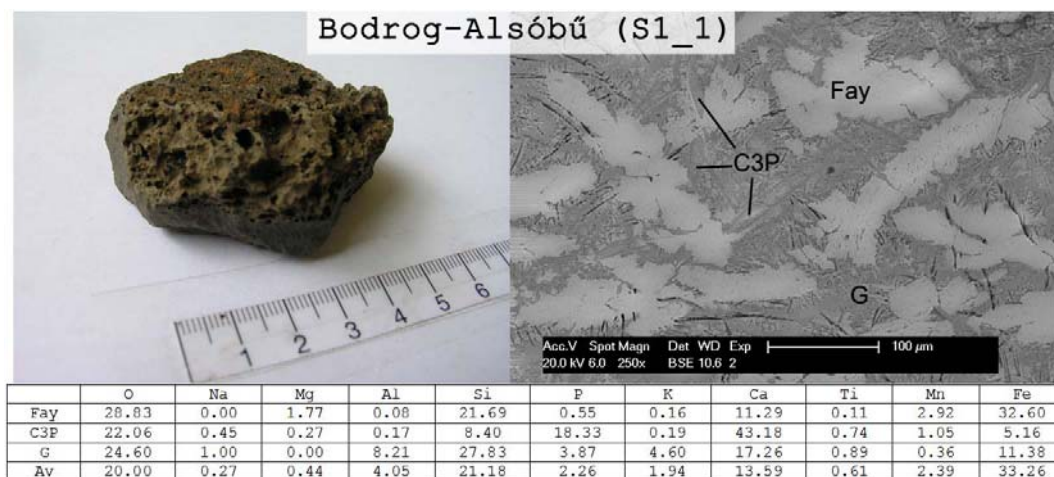
Pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) alatt vizsgáltuk meg lelőhelyenként néhány kiválasztott, jellemző salakminta csiszolatának szövetszerkezetét. Az egyes szövetelemek beazonosítása és a kémiai összetételük meghatározása, illetve a salakminták átlagos kémiai összetételének meghatározása energiadisziperzív röntgen spektroszkópiás módszerrel (EDS) történt. A SEM-EDS vizsgálatokat a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszékén a szerzők végezték. Ahol lehetséges volt, a salakmintában található vaszárványok kémiai összetételét is meghatároztuk (Fe(inc)). Bár a vaszárványok kémiai összetétele nem feleltethető meg a vasbuca kémiai összetételével, jellegében hasonló. Az anyagvizsgálati eredményeket a következő ábrák foglalják össze. **(2-13. ábra)**

A SEM felvételeken jól látható, hogy az üveges szerkezetű alsóbogáti és egy bodrog-alsóbüi salakminta kivételével kristályos szerkezetűek. Jól megfigyelhetők a vaskohászati salakoknál általában beazonosítható szövetelemek: wüstit (Wu, FeO), fayalit (Fay, $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) és az üvegfázis (G). Ezek mellett az alsóbogáti üveges minták kivételével mindegyik salakmintában nagy

mennyiségben jelentek meg trikálcium-foszfát (C_3P , apatit, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) tűk.

A szövetelemek EDS-val meghatározott kémiai összetétele első sorban az üvegfázis és a fayalit esetében lehet érdekes. Az üvegfázisban a P általában néhány wt%-os mennyiségben volt mérhető, kivételt csak az alsóbogáti minták jelentettek, amelynek üvegfázisa nem tartalmazott P-t. Az üvegfázis továbbá sok Ca-ot tartalmazott a somogygeszti minta kivételével mindenütt 10 wt% felett. A fayalit kémiai összetételében szintén meglepően nagy Ca tartalom mutatkozott, Somogyvámos és Somogygeszti esetében 15-20 wt%, Somogyfajsz és Bodrog-Alsóbü esetében pedig 5-10 wt%.

A salakminták átlagos P-tartalma nagy, 2-5 wt%-os, Ca-tartalma szintén nagy, 5-21 wt%-os volt. Bár az alsóbogáti salakminták a fő tömegüket kitevő üvegfázisban nem, a mintákban talált vaszárványok nagy, 2-3 wt%-os mennyiségben mértünk P-t. A vaszárványok megfigyelhetők voltak a somgyvámosi és a somogyfajszai salakmintákban is ezek P-tartalma azonban jóval kisebb, 0-0,8 wt% volt. A vaszárványokban As-nak nem találtuk nyomát.



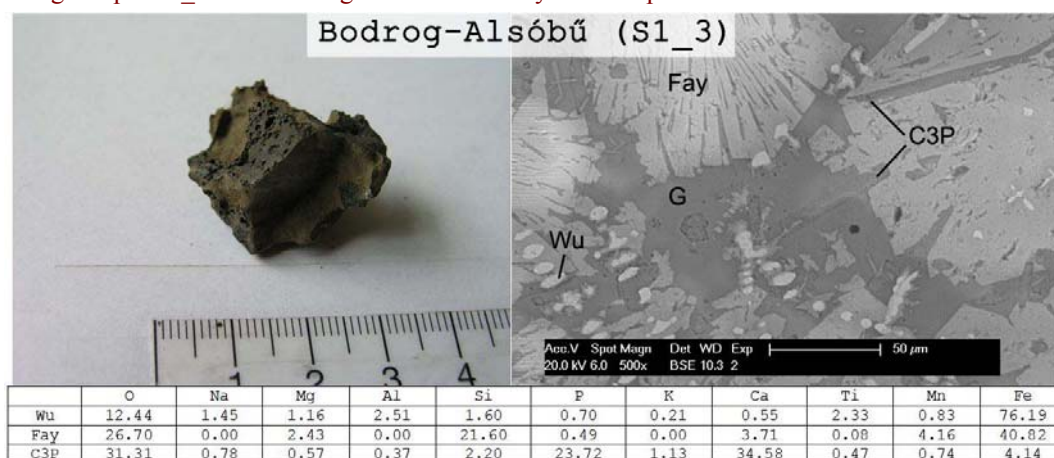
2. ábra: S1_1 jelű salakminta Bodrog-Alsóbűről. Baloldalon: A salakminta makro fotója. Jobboldalon: SEM kép a salakminta metallográfiai csiszolatáról. Alul: Az egyes szövetelemek EDS módszerrel meghatározott kémiai összetétele tömegszázalékban (wt%). Rövidítések a táblázatban: Wu – wüstit, Fay – fayalit, C3P – tricalcium-foszfát (apatit), G – üveg, Av – átlag, Fe(inc) – vaszárvány a salakban.

Fig. 2.: Slag sample S1_1 from Bodrog-Alsóbű bloomery workshop. Left: The sample. Right: SEM picture of the sample and the observed microstructures. Bottom: Table of the EDS results. In the table elements in wt%, Wu – wustite, Fay – fayalite, C3P – tricalcium-phosphate, G – glass, Av – average, Fe(inc) – iron inclusion.



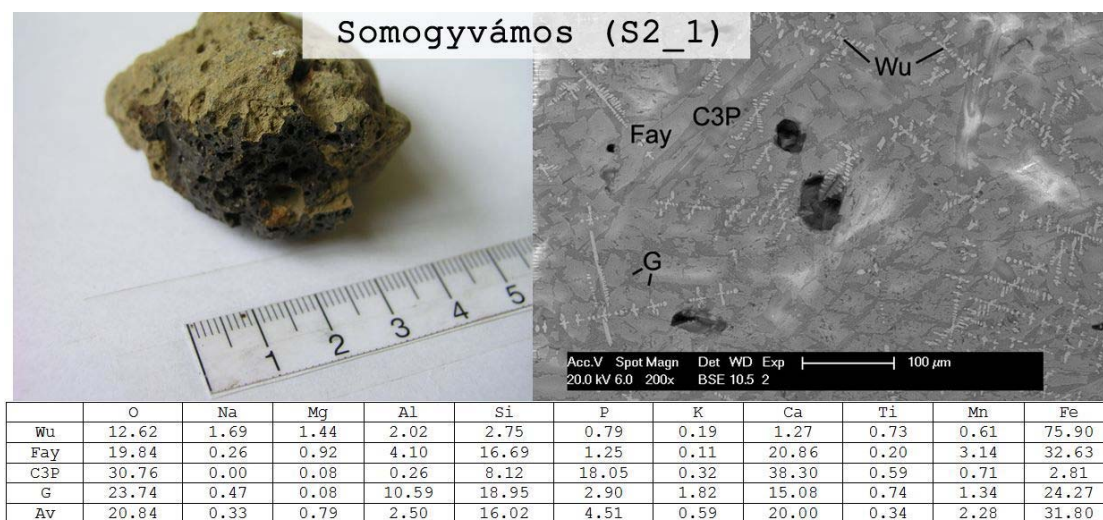
3. ábra: S1_2 jelű salakminta Bodrog-Alsóbűről

Fig. 3.: Slag sample S1_2 from Bodrog-Alsóbű bloomery workshop



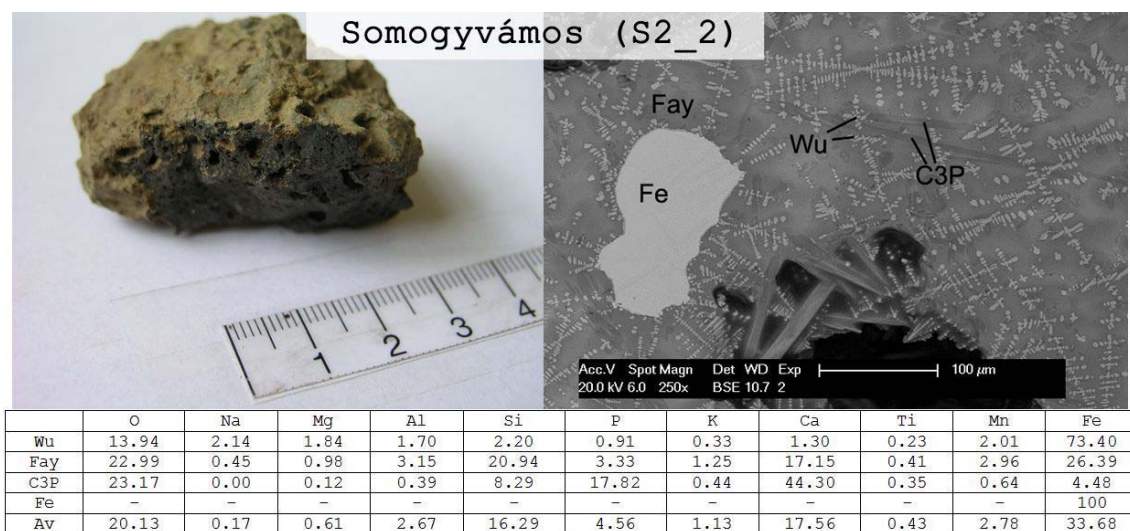
4. ábra: S1_3 jelű salakminta Bodrog-Alsóbűről

Fig. 4.: Slag sample S1_3 from Bodrog-Alsóbű bloomery workshop



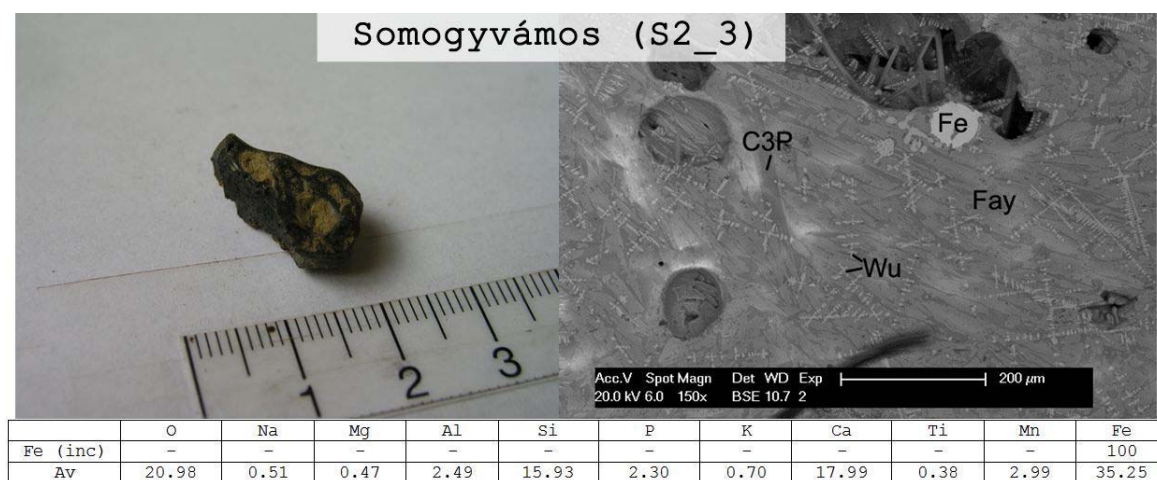
5. ábra: S2_1 jelű salakminta Somogyvámosról

Fig. 5.: Slag sample S2_1 from Somogyvámos bloomery workshop



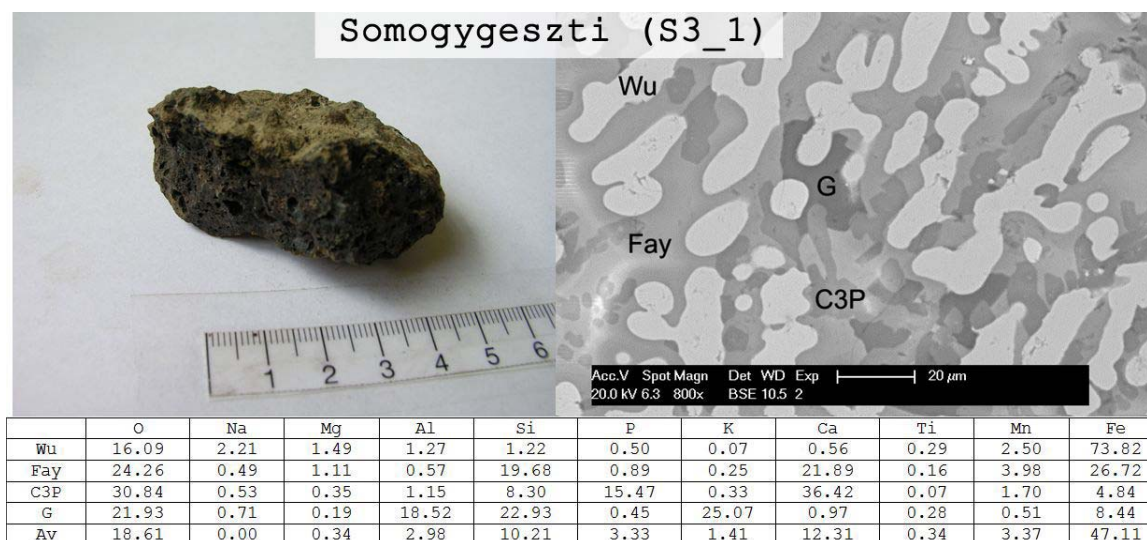
6. ábra: S2_2 jelű salakminta Somogyvámosról

Fig. 6.: Slag sample S2_2 from Somogyvámos bloomery workshop



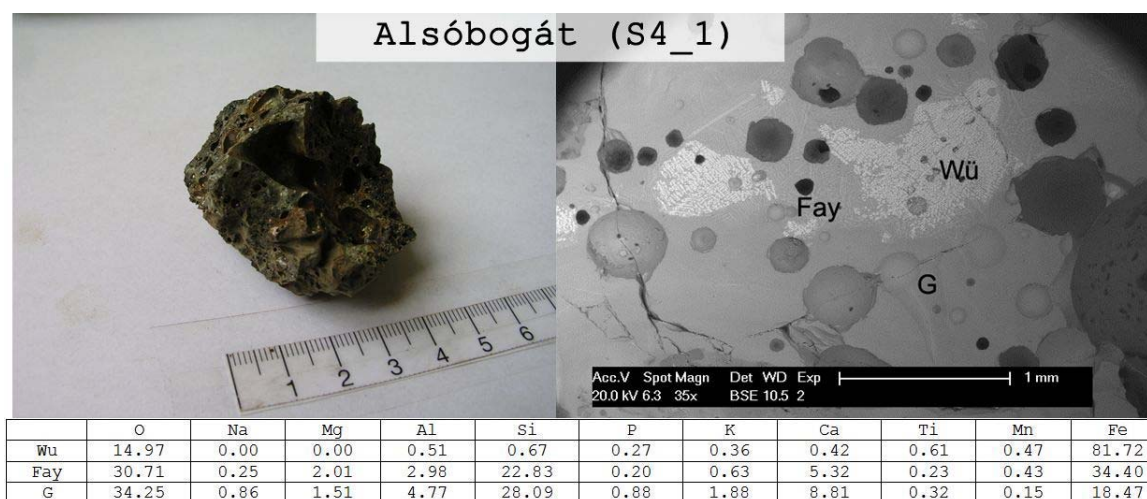
7. ábra: S2_3 jelű salakminta Somogyvámosról

Fig. 7.: Slag sample S2_3 from Somogyvámos bloomery workshop



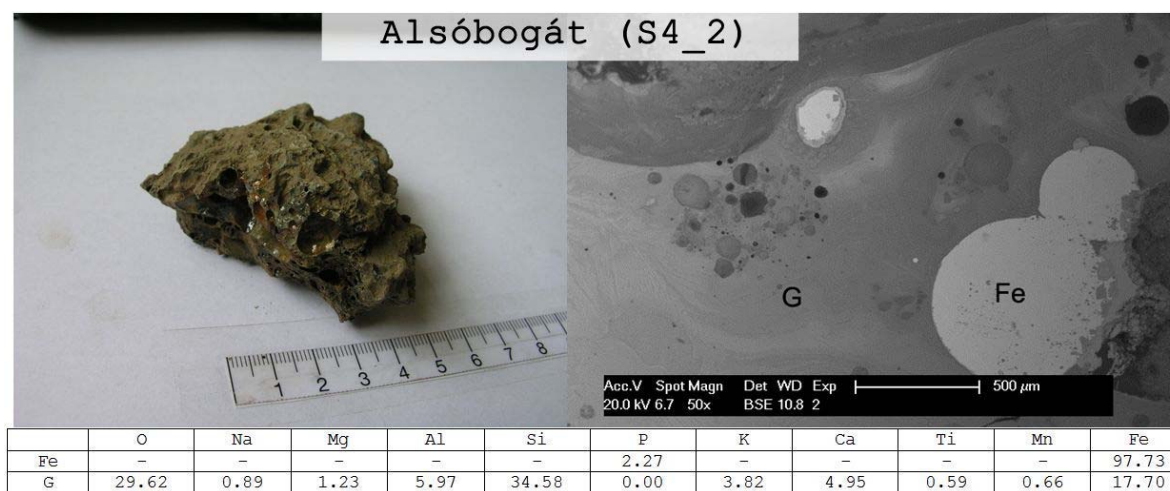
8. ábra: S3_1 jelű salakminta Somogygesztiről

Fig. 8.: Slag sample S3_1 from Somogygeszti bloomery workshop



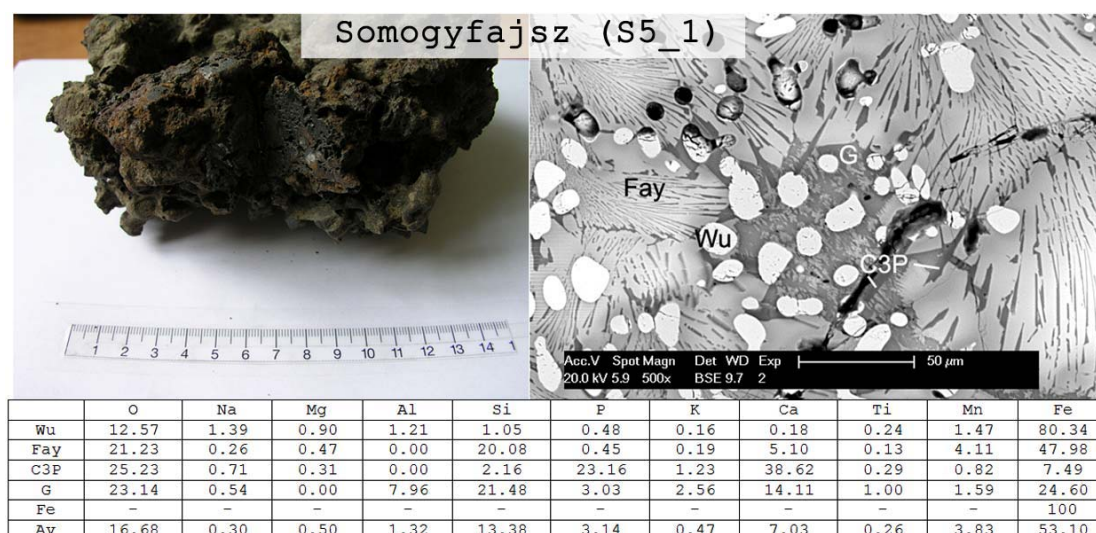
9. ábra: S4_1 jelű salakminta Alsóbogátról

Fig. 9.: Slag sample S4_1 from Alsóbogát bloomery workshop



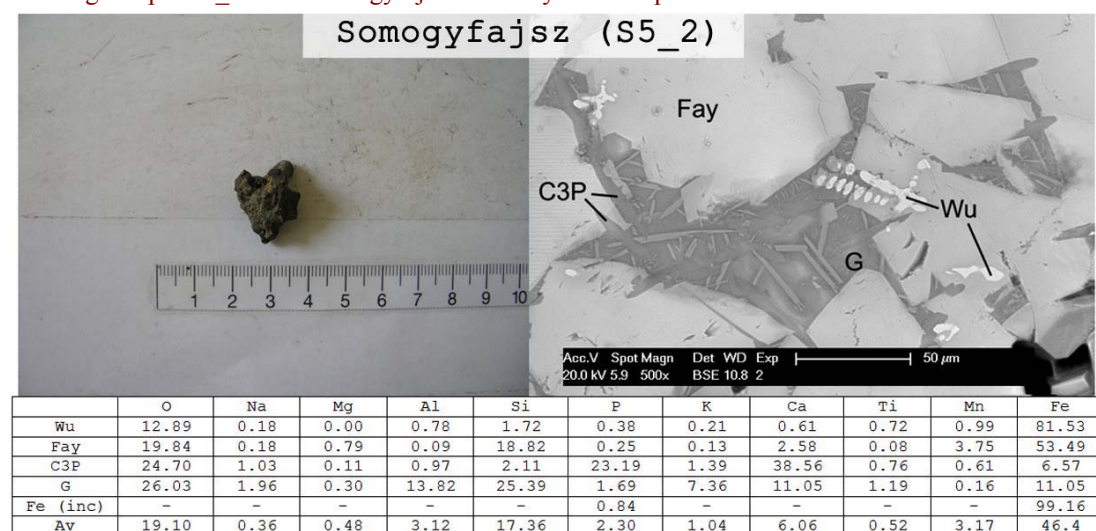
10. ábra: S4_2 jelű salakminta Alsóbogátról

Fig. 10.: Slag sample S4_2 from Alsóbogát bloomery workshop



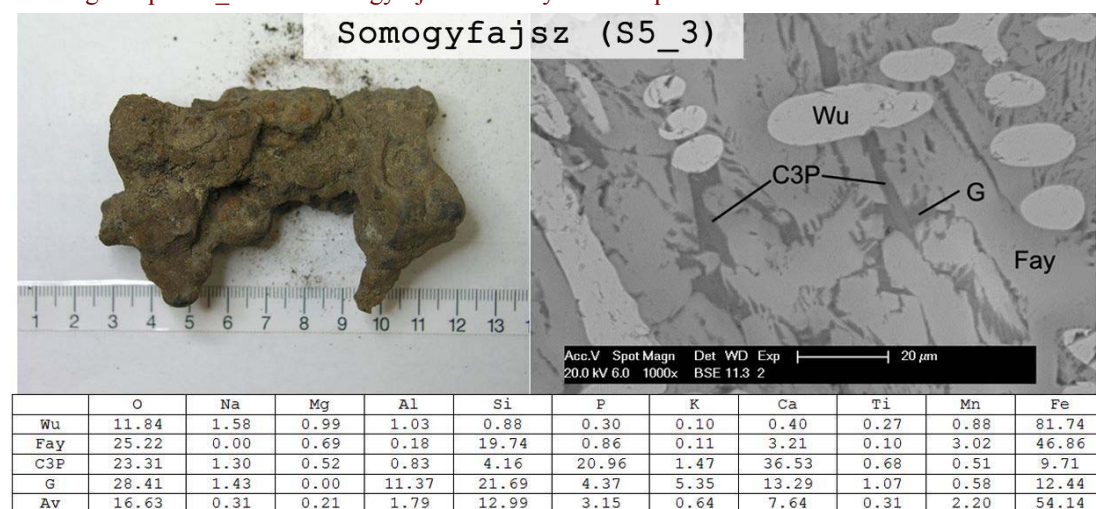
11. ábra: S5_1 jelű salakminta Somogyfajszról

Fig. 11.: Slag sample S5_1 from Somogyfajsz bloomery workshop



12. ábra: S5_2 jelű salakminta Somogyfajszról

Fig. 12.: Slag sample S5_2 from Somogyfajsz bloomery workshop



13. ábra: S5_3 jelű salakminta Somogyfajszról

Fig. 13.: Slag sample S5_3 from Somogyfajsz bloomery workshop

Értékelés, következtetések

Az anyagvizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a fenn említett vaskohászati műhelyekben nagy P-tartalmú vasércet kohósítottak, mert a salakmintákban és a vaszárványokban is nagy mennyiségben volt a P kimutatható. Továbbá látható, hogy a salakminták többségükben nagy Ca-tartalmúak, néhány minta pedig kifejezetten bázikus jellegű. Bár a Somogyban feltárt vaskohászati műhelyek esetében a régészek soha sem találták felhalmozott mészt, esetleg égetett mészt nyomát, a salakminták nagy Ca-tartalma alapján kijelenthető, hogy legalábbis nagyobb mésztartalmú vasércdarabokat adagolhattak a bucakemencékbe, felismerve, hogy a mészbeadagolás esetén csökkenthető vagy elkerülhető a kapott vasanyag ridegsége, törékenysége. Sőt, feltételezhető, hogy a kapott vasanyag P-tartalma viszonylag pontosan beállítható volt a bucakemencébe a gyevasérccel együtt, megfelelő arányban beadagolt mészt segítségével, így szükség szerint akár P-t nem tartalmazó vagy meghatározott P-tartalmú vasanyagot is elő lehetett állítani. Ez a lehetőség pedig a P-vasak nagy mennyiségben történő felhasználása esetében nagyon fontos, ugyanis a vasbuca P-tartalmát hatékonyan csak a kohósítás során lehet befolyásolni.

A szándékos és tudatos mészbeadagolásra vonatkozó feltételezést további három, még nem publikált megfigyelés is alátámasztja. 1. Az évek során megismert somogyi gyevasércek lencsék környezetében jellemzőek a meszes kiválások, amelyek gumókat, vagy összefüggő rétegeket alkotnak a lencsék felett, a gyepszint alatt. A Fajszipatak például egy szakaszon 10-30 cm vastag vízzáró mészrétegen folyik. A mészt tehát elérhető alapanyag lehetett az őskohászok számára. 2. A rekonstrukciós kísérletek során a kohósított nagy P-tartalmú gyevasérc mellé adagolt mészt hatására a kapott vasbuca foszfor tartalma jelentősen csökkent. 3. A korábbi laboratóriumi modellekkel elvégzett kísérletek eredményei alapján szintén megállapítható volt, hogy a mész beadagolása jelentősen, akár 0 wt%-ra csökkentheti a kapott vasanyag P-tartalmát.

A mész beadagolásának a vaskihozatalra gyakorolt jó hatását szintén megállapítottuk. A Ca ugyanis a salakok fő tömegét alkotó fayalitból kiszorítja, helyettesíti a Fe-at. Ez jól megfigyelhető a vizsgált salakminták esetében is, ahol a fayalit Ca tartalma akár a 20 wt%-ot is elérhette, ezzel párhuzamosan a Fe-tartalom jelentősen csökkent.

A régészeknek a jövőben érdemes lesz az egyes vaskohászati műhelyek régészeti feltárása során figyelni arra, hogy a technológiához kapcsolódóan találhatók-e a műhelyben meszes kőzetek, nagyobb mésztartalmú vasércdarabok.

Összegzés

A somogyi vaskohászati műhelyekből származó salakminták SEM-EDS vizsgálata alapján megállapítható, hogy az átlagos kémiai összetételben 2-5 wt%-os mennyiségben jelentkezik a foszfor.

A vizsgált salakok jellegzetes szöveteleme a trikálcium-foszfát, amely a minták többségében tús formában jelent meg.

A nagy foszfor tartalmú salakok alapján kijelenthető, hogy a kohósított korabeli gyevasércek szintén nagy foszfortartalmúak voltak. A foszfor a vas- és a salakfázis közötti megoszlással a vasfázisba is bekerülhetett.

A vizsgált salakok nagy mennyiségben, általában 5-21 wt%-ban tartalmaztak Ca-ot, amely legnagyobb részt a fayalit szövetelemben jelent meg. Ennek alapján feltételezhető a kohósítás során a szándékos mészt vagy nagyobb mésztartalmú vasércdarabok beadagolása, ezáltal a kapott vasanyag foszfortartalmának befolyásolása.

Irodalomjegyzék

- ÁGH, J. & GÖMÖRI, J. (1999): Investigation of materials from the Somogyfajsz workshop. In: *Gömöri J. ed., Traditions and Innovations in the Early Medieval Iron Production / Hagymányok és újítások a korai középkori vaskohászatban*, Dunaferri, Sopron-Somogyfajsz 1999, 192–198.
- BALASUBRAMANIAM, R. (2000): On the corrosion resistance of the Delhi iron pillar, *Corro. Sci.*, **42** 2103–2129.
- PREBLINGER, H. & EIBNER, C. (2009): Phosphorlegierter keltischer Stahl – hart, zäh und korrosionsbeständig, *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* **154/11** 534–536.
- BLAKELOCK, E. & MCDONELL, G. (2007): A review of metallographic analyses of early medieval knives, *Historical Metallurgy* **41/1** London 40–56.
- BUCWALD, V. F. (2005): Iron and steel in ancient times, *Det Kongelige Danske Videnskabsnernes Selskab*, 159–205.
- GÖMÖRI, J. (2000): Az avar és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannóniában, Sopron. Soproni Múzeum – MTA VEAB.
- 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 ISA Symposium, Budapest (1998)*, *British Archaeological Reports (BAR) International Series* **1043 (II)**, Oxford, 375–381.

GOODWAY, M. & FISHER, R. M. (1988): Phosphorus in low carbon iron: Its beneficial properties, *The Journal of the Historical Metallurgy Society* **22/1**, 21–23.

KÖLTŐ, L. (1999): Korai vaskohászati lelőhelyek kutatása. *Múzeumi Tájékoztató* (Somogy Megyei Múzeumok Igazgatósága) **1999/3-4** 18–21.

KUMAR, V. & BALASUBRAMANIAM, R. (2002): On the origin of high phosphorus content in ancient Indian iron, *Int. J. Met. Mater. Processes*, **14** 1–14.

THIELE, Á. (2010): Smelting experiments in the early medieval fajszi-type bloomery and the metallurgy of iron bloom, *Periodica Politechnica – Mech. Eng.* **54/2** 99–104.

THIELE, Á. (2012): A kora középkori vaselőállítás technológiája a X, századi fajszi-típusú bucakemencében elvégzett próbakohósítások tükrében, In: PETKES Zs. (szerk.) *Népvándorlaskor Fiatal Kutatóinak XX, Összejövételének konferenciakötete*. Budapest–Szigethalom, 2010. október 28–30. 395–408.

THIELE, Á. & DÉVÉNYI, L. (2012): Modelling possibilities of the medieval bloomery process under laboratory conditions, *Materials Science Forum* **729** 290–295.

THOMSEN, R. (1989): Pattern-welded swords from Illerup and Nydam, In: PLEINER, R. ed., *Archaeometallurgy of Iron*, Prague, 371–377.

TÖRÖK, B. (2010): 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.

TÖRÖK, B. & KOVÁCS, Á. (2011): Materials Characterization of Iron and Slag Finds of the Early Medieval Avar Metallurgists, *Proceedings of the 15th International Metallurgy & Materials Congress (11-13 November 2010)*, Istanbul, 386–397.

TÖRÖK, B. & THIELE, Á. (2013): Smelting bog iron ores under laboratorial conditions – the role of phosphorus in the archaeometallurgy of iron in Somogy county, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (megjelenés alatt)

TYLECOTE, R. F. (1986): The prehistory of metallurgy in the British Isles (London: The Institute of Metals), The Institute of Metals, 179–199.

TYLECOTE, R. F. & GILMOUR, B. (1986): The metallography of early ferrous edge tools and edged weapons. *BAR* **155**, Oxford 1–155.