

ÁRPÁD-KORI VASKOHÁSZATI MŰHELYEK METALLURGIÁJA A MŰSZAKI VIZSGÁLATOK TÜKRÉBEN

Török Béla

Miskolci Egyetem, Metallurgiai és Öntészeti Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros, bela.torok@borsoditranszit.hu

Kivonat Az Árpád-kor régészetében az utóbbi évtizedekben öröndetesen megszorodott az iparrégészet, ezen belül kifejezetten a korabeli vaskohászathoz köthető lelőhelyek feltárása. Mindez természetesen inspirálja azt az igényt is, hogy az archeometallurgia interdiszciplináris lehetőségei közül a leletek célirányos műszaki anyagvizsgálata és az elméleti metallurgia segítségével próbáljuk meg minél egzaktabban, részletesebben rekonstruálni – először elméletben, aztán lehetőség szerint korhűen reprodukált próbaolvasztások által – az Árpád-kori kohászati bucakemencékben, műhelyekben lezajlott folyamatokat, azok technológiai, technikai paramétereit, sajátosságait. Az alábbi rövid tanulmány is ezen a formálódó tudományközi „archeometallurgiai nyelven” próbálja összefoglalni a 9–14. századi Kárpát-medencei vaskohászat metallurgiai jellemzőit. A középkori vaskohászati technikát, a korabeli Kárpát-medencei vasmetallurgiai és vasműves műhelyek, telepek életét, működését, technikai jellemzőit még mindig nem ismerjük eléggé pontosan, főként metallurgiai szempontból nem. Az elenyészően ritka és közvetett írásos utalások alapján még vázlatos kép is nehezen alakulhat ki a korai középkori és Árpád-kori Kárpát-medencében élő népek korabeli vaskohászatáról, vasműveléséről. A fehér foltok kiszínesítésére egyértelműen a kapcsolódó régészeti leletek műszaki vizsgálata, illetve azok eredményére támaszkodó rekonstrukciós kísérletek szolgáltatnak hatékony eszközt.

Abstract In the archaeology of the Árpád period in Hungary, the number of excavations at sites with remains of metallurgy has increased. This inspires the need for studies of archaeometallurgy with the means of theoretical metallurgy and technological analysis in order to reveal the production of iron in the early medieval period of Hungary. In the Carpathian Basin, the medieval metallurgical techniques and the operational systems of metal workshops are poorly known. This is, on the one hand, due to the scanty number of written historical sources, and, on the other hand, to the low frequency of archaeometallurgical investigations. Present paper summarizes the metallurgical features of the 9–14th centuries.

Kulcsszavak archeometallurgia, bucakemence, vasérc, vassalak

Key words archaeometallurgy, iron ore, bloomeries, dross

Alapanyagok, segédanyagok - ércelőkészítés

A korabeli bucavaskohászat alapanyagai a vasérc és a faszén, illetve nem tisztázott, hogy történt-e és ha igen, milyen mennyiségben esetleges nagy mésztartalmú kőzetek, ásványok, illetve salakképzőként fahamu és homok szándékos adagolása. Utóbbi feltételezhető, de alkalmazásukra egyértelműen azonosítható nyom nem maradt.

Elkülönült vasércbányász mesterség a 7–12. században nem létezett. A kohászok általában saját maguk számára biztosították az ércet. Ez már csak azért is így történt, mert a korabeli vaselőállítás művelete kizárólag hosszú idők empirikus tapasztalatán, vagyis a vasas mesterség hagyományain alapult, illetve öröklődött, így maga a ko-

hász tudta a legjobban, hogy milyen színű, keménységű, struktúrájú kő volt a legalkalmasabb érc. Az mindenesetre egyértelmű, hogy a korai középkorban kétféle ércbeszerzési, úgymond bányászati technika létezett. Egyrészt a felszíni, vagy felszín közeli úgynevezett gyevasércek, tóércek vagy mocsárárcek gyűjtése, másrészt a földben lévő neogén ércelőfordulások bányászata (Gömöri & Kisházi 1985: 323–327). Előbbieknél főként patakok, tavak melletti, esetleg állatok által feltúrt, vagy 30–40 cm-es földréteg alól kiszedett, gyakran emberfej nagyságú tömbökre kell gondolni.

Nem könnyű feladat volt a késő avar, honfoglalás és Árpád-kori vasolvasztó műhelyek vasércet biztosító területeinek körülhatárolása. Ebben a

régészeti ásatások alkalmával talált vasércdarabok vegyi- és ásványtani elemzése nyújthatta a legfőbb támpontot. Mára ennek segítségével elsősorban limonitban, hematitban gazdag ércelőfordulások, mint a kora középkori vaskohászat nyersanyagbázisai bejelölhetők a Soproni-síkságon, illetve Soproni-dombságban, a Somogyi-dombságban, a Balatontól északra, a Bakonyt körülvevő dombokon, Rudabánya és Tokaj környékén, a Borsodi-medencében, illetve a Mecsek vidékén szideritben dús folterületeken (Gömöri 2000: 95–100). Utóbbi iparrégészeti eredmények alapján azonban az alacsonyan fekvő területek gypvasérc- és töérc előfordulásai is hangsúlyt kaptak.

Több középkori lelőhelyről származó ércminta vizsgálatából alapvetően megállapítható volt, hogy az ércek a manapság használatos vasércekhez képest kisebb vastartalmúak, porózus, réteges szerkezetűek. Igen kis mennyiségben tartalmaznak hidrátvizet, hematitos, hematit-geotites vagy hematit-limonitos ásványtípusúak, illetve jelentős mennyiségű kvarcot tartalmaznak. Az viszont bizonyos, hogy az előpörkölés az ércek esetében a limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) és a geotit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) hidrátvíz-tartalmának eltávolításához volt szükséges. Az ércek ugyanis mindenképpen kellett tartalmaznia annyi vasat, hogy az a redukálódott vasbuca anyaga mellett a salakba kerülő tetemes vasvesztéséget is fedezni tudja. Legalább 40–45 % körüli vastartalom kívánatos az eredményes olvasztáshoz, amelyet megfelelő előredukció, dúsulás után az ércek hematit- (Fe_2O_3) és magnetit- (Fe_3O_4) tartalma biztosít. A karbonátos és hidratós ércek relatív vastartalma előpörköléssel növelhető. Mindezt segíti az ércek laza, porózus szerkezete is, amelyet a vizsgált ércmintáknál rendszerint tapasztalható (Török 1997: 167–169).

Az ércminták elektronmikroszkópos nagyításain általában jól láthatóak a vasérc-mintában elkülönülő területek. A sötétebb színű részeken az analízáló spektrumon magas Fe-csúcs mellett Si és Al jelenik meg. Tulajdonképpen ezek oxidjaiból és a CaO-ból képződik a salak, amely megolvadva kifolyik és hátrahagyja a szivacszerű szerkezetű elektronmikroszkópos képen világosabb részeket, amely az analízáló spektrum szerint rendszerint szinte csak vas-oxid, és amelyből aztán a vasbuca redukálódik.

Az ércek nagy SiO_2 -tartalma miatt azok bázikus-sága (CaO/ SiO_2) nagyon kicsi. Ez a magas SiO_2 -tartalom viszont lehetővé tette a tiszta állapotban 1170 °C olvadáspontú fayalit ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) keletkezését a salakban, amely olvadáspontját a

többi salakalkotó oxid a vizsgált érceknél talált mennyiség esetén kb. +/- 100 °C-kal változtathatta meg. Így a kézi fűjtással a bucakemence medencéjében elérhető 1100–1350 °C-os kohósítási hőmérsékleten képződhetett folyékony salak. Az alacsony CaO-tartalom fontos, mert a nagyobb mértékű CaO a salak olvadáspontját jelentősen megnövelné, így már csak ezért is kétséges meszes kőzetek nagyobb mennyiségű szándékos használata. A kohósításban résztvevő anyagok kis kén tartalma megfelelően csekély kén tartalmú vasbuca eléréséhez azért fontos, mert a bucavas keletkezésénél a kis hőmérséklet és salakbázikus-ság miatt szinte semmilyen mértékű metallurgiai kéntelenítésre nem volt mód. A kén pedig köztudottan a melegalakíthatóság legnagyobb ellensége, mivel melegtöréseket okoz (Gömöri & Török 2002: 379).

A színe és halmazállapota alapján kohósításra alkalmasnak ítélt érc az ércpörkölő gödörbe került. Ércpörkölő gödör nyomai előkerültek avar kori kemencéknél, de ugyanúgy az Árpád-korban használatos ún. „fajszi” és „imolai” típusú bucakemencék műhelygödreiben is. A mintegy 1–1,5 méter széles, 2–3 méter hosszú és 30–80 cm mély, agyaggal kitapasztott, kiégetett gödrökben faszén rétegen vagy azzal keverve hevítették az ércet, szabad ég alatt, a tűzbe levegőt fúvatva. A hosszú idők gyakorlatának itt szintén fontos szerepe volt. Tudományos jellegű fizikai-kémiai ismeretek híján a korabeli kohászok tapasztalati úton látták be, hogy a pörkölésnél a nem oxidos érc színe és halmazállapota megváltozásával könnyebb dolguk van a kohósításnál. E nélkül viszont a kohóban minden lassabban történt, nehezebb volt megfelelően magas hőmérsékletet elérni és előfordulhatott, hogy a keletkező vízgőz, dugulás esetén kárt tett a kemence falában (Kisházi 1981: 149).

A bucakemence másik alapvető alapanyaga a faszén. A megvizsgált megmaradt korabeli faszendarabok döntő többsége kocsányos vagy kocsánytalan tölgyből származik (Gömöri 2000: 267). A faszén minimális kén tartalma szintén a későbbi melegkovácsolhatóság egyik alapvető feltétele. (A modern acélgártásban a legjelentősebb kénforrás a kocsz kén tartalma.) Minél lazább szerkezetű volt a fa anyaga, annál nagyobb kémia-ilag aktív felülettel rendelkező és jobb gázátbocsátó képességű faszén készült belőle. A távozó illó komponensek mennyisége nőtt a száraz lepárlás jellegű égetés hőmérsékletének és időtartamának növelésével. A gyephantal vagy agyaggal

borított boksák felszínén távozó, meggyújtható gázok lángjának halványulásából tapasztalati úton tudott következtetni a folyamat előrehaladottságáról a korabeli szénégető. A jól kiégett faszén 90–95 % elemi kARBONT, 3–5 % hamut, illetve minimális kenet, foszfort, alkáliát és el nem távozott illóanyagot tartalmaz.

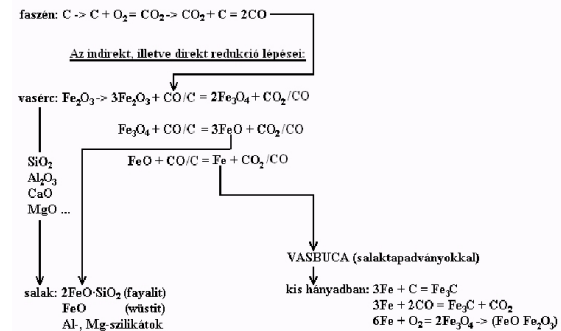
Kohósítás a bucakemencében

A bucakemencék üzemével kapcsolatosan gyakran használatos „vasolvasztás”, „bucaolvasztás” kifejezések, a jelentést tekintve tulajdonképpen nem helytállóak. A bucavasat előállító kemencékben ugyanis a fém vas nem lesz folyékony állapotú, az eljárást éppen ezért tekinthetjük az úgynevezett direkt acélgártási eljárások őseinek. A korabeli technológiával nem tudták a mai folyékony nyersvas-alapú indirekt acélgártáshoz szükséges 1500–1600 °C-os hőmérsékletet elérni, de nem is volt rá szükség, sőt mondhatni szerencse, hogy a természet és a technikatörténet „így intézte”. A modern nyersvasmetallurgia nagy hőmérsékletén a folyékony vas a szilárd redukálószerrel (kocsz, esetleg faszén) érintkezve, annak C-tartalmával telítődik, ötvöződik, így a 4,0–4,5 % C-tartalmú nyersvas nem kovácsolható, közvetlenül csak öntődei célokra használható fel. A megfelelően kovácsolható acélnak jóval kevesebb, mint 2 % kARBONT kell tartalmaznia.

A bucakemence fentebb már említett 1100–1350 °C-os metallurgiai hőmérsékletén az ércből kiolvadt az alacsonyabb olvadáspontú salak, a különböző vas-oxidok nagy része pedig a faszén kARBONTartalma, illetve már korábban, a kemence fentebbi régióiban az abból képződött CO által fokozatosan redukálódott, amelyet direkt, illetve indirekt redukciónak nevezünk. Valójában több száz paraméterrel leírható párhuzamos fizikai-kémiai folyamatokról van szó, amelyeknek egyszerűsített sémája az 1. ábrán látható (Török 1999: 214).

A redukálószer tekintve, a kemence felsőbb szintjein (akna, torok) alapvető jelentősége a gáz-alapú, CO-s redukciónak van, tekintve annak exoterm mivoltát, illetve azt, hogy a reakciókinetikai körülmények is ennek kedveznek, a medence 1000 °C-nál nagyobb hőmérsékletű zónájában pedig a hőfogyasztó, szilárdkarbonos direkt redukció kerülhet előtérbe. Itt a faszén-szemcsék lyukacsos karbon felületén mintegy keresztülszivárog az FeO-dús, fayalitos olvadék, amelyből szilárd Fe redukálódhat. A közeljövő

egyik meghatározó kutatási témája is adott ezzel: a bucakemence egyes szintjein milyen mértékű vasoxid-redukció megy végbe, illetve fém vas milyen mértékben alakulhat ki már az indirekt redukció zónájában.



1. ábra. A vasbuca-előállítás kémiai-metallurgiai folyamatai

Az Árpád-kori bucakemencék agyaggal tapasztott, 70–80 cm belmagasságú, aknás kemencék voltak. A mindezidáig csak a Dunántúlon főként Somogyban talált „fajszi” típus esetében mintegy kétharmadáig, a 11–12. századra ország-szerte jellemző „imolai” típusnál pedig teljesen műhelygödör oldalfalába építve. A kettő közül időben korábbi, ugyanakkor a hasonló méretű, de szabadon álló 7–9. századi „avar” és „nemeskéri” típusú kemencék technológiai utódjának tekinthető fajszi típus esetében külön beépített agyag mellfalat és agyagfűvókákat is alkalmaztak (Gömöri 1996), míg az imolai típusnál nem találtak erre utaló nyomokat.

Az előzetesen faszénnel megrakott és felhevített kemencében az égő faszén roskadásával folyamatosan, lassan süllyedő érc-faszén keverékből álló elegyoszlopon a medence előtti mellfal közepén át bevezetett fűvókán keresztül harmónika-szerűen bőrozott kézi fűjtató segítségével levegő-áramot fűjtattak át, amely a medence hőjének egy részét, illetve a redukáló CO-t is felfelé áramoltatta. A 15–20 cm átmérőjű torok mintegy 400–500 °C-os részén az előpörkölt és termikusan disszociált gypvasérc első redukációs lépesei lezajlanak. A kemence középső, fokozatosan szélesedő, aknás régiójában 800–900 °C-on ez folytatódik a redukció további lépéseivel legalább wüstit képződik, illetve a jövő fontos kutatási kérdése, hogy lezajlik-e fém vasig a redukció és ha igen, milyen volumenben illetve valahol az akna és a medence határán beindul a folyékony salak képződése 1000–1200 °C-on.

A mintegy 40 cm átmérőjű medencében, az 1200–1350 °C-os tűztérben aztán a vas-oxid redukciója befejeződik bár elméletileg már előtte is van termodinamikai és reakciókinetikai lehetősége fémes vas keletkezésének, a megolvadt salak egy része fayalitdús folyósalak formájában eltávozik a fúvóka alatti salakcsapoló nyíláson át. A maradék salak pedig a szivacsból kifolyó folyadékkal modellezhető mintájára többé-kevésbé elkülönül a metallizálódott vasbucától és a kohósítás végén a kemencében maradvá dermed meg.

A kohósítás 8–10 órán át tartott, közben folyamatos fűjtásra volt szükség, illetve a kürtön át pótolni kellett az elégett faszenet, tehát embert próbáló munka volt. Végeredménye egy általában 1–3 kg súlyú, szivacsos szerkezetű, többé-kevésbé képlékeny, kis C-tartalmú, de salakzárványokkal szennyezett vastömb a *buca*. Ezt a kemencéből a mellnyíláson keresztül fogókkal húzták ki és még meleg állapotban, illetve egy helyszíni tűzhelyen újraizzítás után kalapálva tömörítették, kipréselve belőle a még megtapadt salakos részeket, amelyet aztán lekapartak. Az általában rúd alakúra tömörített darabokat, mint félkész terméket, késztermék kovácsolására elszállították (Gömöri 1981; Gömöri 2000: 268-269).

Bucakemencékhez köthető leletek műszaki vizsgálatai

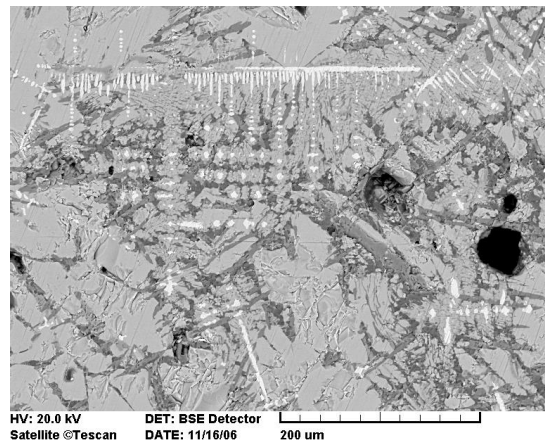
A bucagyártás folyamatáról fizikai-kémiai és metallurgiai szempontból a salakleletekből tudunk meg a legtöbbet, amely indirekt módon sokat segíthet a történeti vonatkozások tisztázásában és megválaszolhat sok korabeli technikát érintő kérdést. Az elmúlt 15 évben alkalmam volt a legtöbb fontosabb középkori, főként avar- és Árpád-kori vaskohászati lelőhelyen talált salakleletből származó mintákat többféle módszerrel megvizsgálni. A vizsgált salakok kémiai összetételében azonos jellemző volt a magas FeO- és SiO₂-tartalom. Ez a két komponens rendszerint 70–80 %-ot is kitett. A salakdarabok igen savanyú jellegű, főként fayalitos ásványszerkezetű minták voltak (Török 1999).

Az olvasztásból származó salakok szerkezet és szín alapján rendszerint megkülönböztethetőek ún. folyósalakként és kemencesalakként. A folyósalak jól átolvadt, gyakran feketén csillogó felületű, nagy sűrűségű salak, amelyben kisebb gázlunkerek találhatóak és néha jól megfigyelhető rajta a folyás szőlőfűrtszerű alakja. Az olvasztás során a salak rendszerint kifolyt a kemencéből és

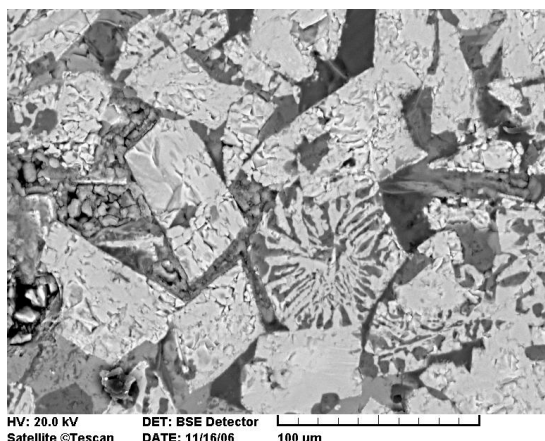
annak előterében, a salakgyűjtő gödörben található meg (kivéve az „imolai” típusnál). Főként az „avar” illetve „nemeskéri” típusú kemencékre jellemző mindez.

A kemencesalakok rendszerint kisebb-nagyobb, világosabb barnás-vörös, kisebb sűrűségű, erősen tagolt, szivacszerű darabok. A nevük arra utal, hogy rendszerint a kohósítás végéig a kemencében, a buca közelében maradtak és gyakran szennyezték azt. A kemencesalak számított Fe₂O₃-tartalma általában nagyobb, amely a részbeni reoxidáció terméke, illetve esetleg metallizált vasszemcséknek a hosszú idő alatti rozsdásodásának eredménye lehet, de a folyósalakok között is találtam 10 %-nál magasabb Fe₂O₃-tartalmú mintát. Az SiO₂ és az Fe₂O₃ fordított arányossága rendszerint megfigyelhető volt, ami azzal magyarázható, hogy a SiO₂ a leghamarabb megolvadó salakalkotó, a fayalit alkotójaként nagyrészt korán elfolyik a vasbuca közeléből, jelentős hányadú FeO-t lekötve, illetve magával víve. Mindazonáltal megállapítható, hogy bár a vasolvasztásból származó salakok kémiai összetételük és struktúrájuk szerint többé-kevésbé tipizálhatók, újra és újra felbukkannak összetételükben és/vagy szerkezetükben, kristályosodási módjaikban egyedi sajátosságokat mutató minták, illetve a fent említett osztályozások közötti, átmeneti jellegű darabok (Török 1997: 168–169).

A vizsgált salakok metallográfiai, anyagszerkezeti szempontból inhomogén szerkezetűek. Az elektronmikroszkópos vizsgálatok során főként dendrites (2. ábra), néha táblás (poliédres) kristályosodással (3. ábra), ritkán amorf állapottal talákoztam (Török & Kovács 2010: 457).



2. ábra. Folyósalak elektronmikroszkópos nagyítása



3. ábra. Bucasalak elektronmikroszkópos nagyítása

Mikroszerkezetük felépítésére jellemző, hogy az FeO és SiO₂ alkotta fayalitos részeket a vasnál alacsonyabb rendszámú elemek (Al, Mg, Ca) oxidjaiból képződött ásványok veszik körül, amelyek néha szintén jelentős mennyiségű vasat tartalmaznak, néha viszont nagyon keveset. Volt példa arra is, hogy szinte tisztán FeO-területet találtunk, vagy fayalitos területben olyan vizsgálati pontokat, ahol a SiO₂ szinte eltűnt és a nagy vastartalom mellett igen nagymértékű alumínium-dúsulás jelentkezett. A salakok relatíve nagy vastartalma viszont egyértelművé teszi, hogy a korabeli kemencék igen rossz talán 30 % körüli vaskihozattal, tehát gyenge termelékenységgel dolgoztak (Gömöri & Török 2002: 378–380; Török 1999: 214–215).

A feldolgozatlan vasbuca, mint régészeti lelet nagyon ritka és esetükben sem mindig egyértelműen eldönthető, hogy nem szándékosan félredobott, „elrontott” bucáról van-e szó. Elektronmikroszkópos vizsgálatot vasbucán még nem végeztünk, annál inkább avar-, és Árpád-kori vastárgymaradványokon. Az esetek legtöbbszörében igen tiszta, ötvözetlen fém, ferrites, illetve ferrit-perlites szövetszerkezetet tapasztaltunk, illetve számos esetben megfigyelhetők voltak a többszöri felhevítés és levegőn való hűtés közbeni átkovácsolás nyomai, valamint egy-két esetben edzészerű hűtés is valószínűsíthető.

Bucasalak vagy kovácssalak?

A korabeli vaskovácsolást illetően az egyik alapvető kérdés, hogy az egyes vizsgálati mintáról el lehet-e dönteni, hogy az kohósításhoz, vagy kovácsoláshoz köthető. Ez természetesen a salaklele-

tekhez kapcsolódó fontos kérdés, mivel a legtöbb vaskohászattal, vasműveléssel kapcsolatos leelőhelyet, objektumot vassalak-darabok jeleznek. Ebben az esetben már nem a bucakemencében lezajlott, bonyolult fizikai-kémiai, metallurgiai folyamatok lehetőség szerinti megfejtése a mérvadó, hanem az, hogy a salak morfológiája, kémiai összetétele árulkodik-e a helyszínen végzett kovácstevékenységről.

A definiálást nehezíti, hogy a klasszikus kovácstevékenység után általában igen kevés nyom marad, illetve, ahol bizonyíthatóan bucakemencék is működtek, nehéz megkülönböztetni a még a kohósítás záróaktusaként nevezhető bucatömörítés nyomait a kovácstűzhelyek salakjaitól (Kalácska 2005). Ez a probléma elsősorban a 7–10. századi lelőhelyek vizsgálata során merül fel (Kustár 2006). Egyértelműen azonosítható, önálló kovácsműhellyel ebben a periódusban nem találkozhatunk.

Első lépésben a salak külalakja, morfológiai jellemzői árulhatnak el fontos információkat. A teljesen átolvadt, felületükön rendszerint szőlőfűrt-, vagy gyöngyszerű folyás nyomait viselő, általában fekete, megdörzsölve tompán fénylő, csillogó, ugyanakkor lunkerestörétű nagy sűrűségű salakok egyértelműen kohósítás melléktermékei. Ezek az általában nagy darabok, amelyeknek üvegszerű folyását magas SiO₂-tartalma biztosítja, gyakran a bucakemencéből kifolyva, a salakgyűjtő gödör aljának formáját felvéve, vagy a kemence belső falához, mellfalához, a fűvóka környékéhez tapadva dermednek meg. Sokkal zavaróbbak a megkülönböztetés szempontjából az úgynevezett kemencesalakok, amelyek gyakran kisebb sűrűségű, barnás-vörös színű, szivacszerű, erősen csipkézett, tagolt szerkezetben megdermedt darabok. Ezek rendszerint a kemencében maradnak és ez esetleg szerencsés a kovácssalakoktól való megkülönböztetés miatt (Török 2008: 101–102).

A kovácsolás salakjainak nincs az előzőekhez hasonlóan tipikus, kizárólagosan jellemző külalakja. Mindamelllett továbblépést jelent a morfológiától, ha rendelkezésre áll olyan salakminta kémiai összetétele, amely bizonyíthatóan kohósításból, illetve kohón kívüli alakítás folyamatából származik. Egyértelmű „receptként” nem tudom megadni az összetétel alapján történő azonosítás tévedhetetlen kulcsát, viszont jellemző összefüggések megállapíthatók.

Az egyik legfontosabb ilyen összefüggés a salak vas-oxid tartalmának megoszlása a két- illetve három vegyértékű vas oxidjai között. A vasoxid

színvassá történő redukálásának többlépcsős folyamatában az utolsó oxid állapot az FeO (wüstit), amely SiO₂-dal fayalitot alkot (2FeO·SiO₂) és tiszta állapotban a bucakemencében akkoriban is elérhető hőmérsékleten olvad (1170 °C). A kohósításra jellemző folyósalakok nagy része az összetevők általában 70-80 %-a ezekből az oxidokból, illetve ásványokból áll. A kemencesalakok esetében, mint említettem, az Fe³⁺ ion alkotta reoxidált Fe₂O₃ (hematit) aránya mint az Fe₃O₄ ásványi alkotójaként is értelmezve (FeO·Fe₂O₃) némileg nagyobb (esetenként 10–20 % közötti érték), mint a folyósalakok esetén. A tömörítéskor, kovácsoláskor a bucából kipréselt, lepattant salakdarabok eredetileg szintén kemencesalakok már feltehetően metallizált vasszegmenseket is tartalmaznak, amely aztán a földben eltöltött évszázadok alatt természetes módon rozsdásodva reoxidálódtak, tovább növelve a három vegyértékű vas, illetve a számított Fe₂O₃ arányát.

Felhasznált irodalom

- Gömöri J. 1981. A korai középkori vasolvasztó kemencék és az ékelt vasbucák kérdése; *Iparrégészet, Industrial Archaeology* I. Veszprém, 109–119.
- Gömöri J. 1996. 10. századi vasolvasztó műhely Somogyfajszon. *Bányászati és Kohászati Lapok, Kohászat* 129/7-8, Budapest, 270-279.
- Gömöri J. 2000. *Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannoniában*; Soproni Múzeum és MTA VEAB kiadványa, Sopron.
- Gömöri J., Kisházi P. 1985. Iron Ore Utilization in the Carpathian Basin up to the Middle Ages with Special Regard to Bloomeries in Western Transdanubia; *Neogene Mineral Resources in the Carpathian Basin, VIIIth RCMNS Congress*. Budapest, 323–355.
- Gömöri J., Török B. 2002. Technical Examination of the Early Medieval Ferrous Metallurgical Finds from Hungarian Sites. In: Jerem, E., Biró, T. K. (Eds.) *Archaeometry 98*. Proceedings of the 31st Symposium, Budapest, April 26 – May 3 1998 Vol. II. *British Archaeological Reports (BAR) International Series 1043 (II)*, Oxford, 375–381.
- Kalácska R. 2005. *Jelentés a Cegléd - 4/17. (Fertály-földek) lelőhely területén folytatott megelőző feltárásról*. Kézirat, Abony.
- Kisházi P. 1981. Nyugat-magyarországi régi vaskohászati leletek vasérc és salakmintáin végzett ásvány-közzettani és teleptani vizsgálatok eredményei. *Iparrégészet, Industrial Archaeology* I. Veszprém. 149–156.
- Kustár R. 2006. *9-10. századi vasművesség emlékei Hartán*. Kézirat.
- Török, B. 1997. About the Technical Investigations of Ore, Slag and Wall-fragment Samples Found Next to the Sites of Nemeskér-type Furnaces. - Nemeskéri típusú vasolvasztó kemencék lelőhelyén talált ércek, salakok és kemencefal-darab műszaki vizsgálatai; Traditions and innovations in the early medieval iron production. In: Gömöri J. (Szerk.) *Hagyományok és újítások a korai középkori vaskohászatban*, DSAA – MTA VEAB IAM nemzetközi kiadvány, Sopron-Somogyfajsz, 1997 (1999) 160–169.
- Török, B. 1999. Latest Technical Examinations (1995-1997) of Medieval Iron Slags Found in Hungary – Metallurgical Processes in the Medieval Bloomery. *Výhodoslovenský Pravek*, Special Issue, Archaeometallurgy in the Central Europe, *Archeologický ústav Slovenskej Akadémie Vied* Nitra, Košice & Hutnícka fakulta TU Košice, 213–218.
- Török B. 2008. Alföldi jellegű egykori településeken feltárt 10. és 13. századi vaskohászati emlékek archeometallurgiai vizsgálata. I: Wanek F. (Szerk.) *X. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa*. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Nagyszében, 99–105.
- Török, B., Kovács, Á. 2010. Crystallization of Iron Slags Found in Early Medieval Bloomery Furnaces. In: Roósz, A., Mertinger, V., Barkóczy, P., Hoó, Cs. *Solidification and Gravity V Materials Science Forum* 649, 455–460.