

Különlenyomat / Separatum

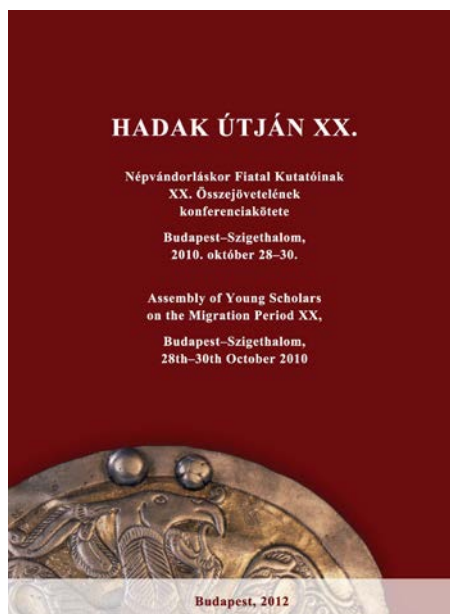
A KORA KÖZÉPKORI VASELŐÁLLÍTÁS TECHNOLÓGIÁJA A X. SZÁZADI
FAJSZI-TÍPUSÚ BUCAKEMENCÉBEN ELVÉGZETT PRÓBAKOHÓSÍTÁSOK
TÜKRÉBEN

(FROM ORE TO IRON PRODUCTS – THE TECHNOLOGICAL AND ARCHAEOMETRICAL ASPECTS OF
IRON SMELTING IN CONQUEST PERIOD HUNGARY)

THIELE ÁDÁM

*In: Petkes Zs. Szerk. HADAK ÚTJÁN XX.
Népvándorláskor Fialat Kutatóinak XX. Összejövetelének konferenciakötete
Budapest–Szigethalom, 2010. október 28–30.
Assembly of Young Scholars on the Migration Period XX,
Budapest-Szigethalom, 28th–30th October 2010*

Budapest 2012, 395-408.



A KORA KÖZÉPKORI VASELŐÁLLÍTÁS TECHNOLÓGIÁJA
A X. SZÁZADI FAJSZI-TÍPUSÚ BUCAKEMENCÉBEN ELVÉGZETT
PRÓBAKOHÓSÍTÁSOK TÜKRÉBEN

THIELE ÁDÁM

Okl. gépészmérnök, PhD hallgató

BME, Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Cím: XI. Bertalan L. u. 7. MT épület

E-mail: adam.thiele@hotmail.com

Az ember már több ezer éve ismeri a vasat, de egészen a kora újkorban elterjedő kétlépcsős, indirekt vasgyártásig (amikor az acélt a nyersvasgyártás után következő acélgyártási folyamatból nyerték) egylépcsős, direkt módszerrel jutott hozzá. Ez az ősi technológia napjainkra szinte teljesen feledésbe merült, eredeti formájában már csak a természeti népeknél él tovább.

A közelmúlt egyik szerencsés folyamata, hogy a régészeti és a műszaki tudományok szoros együttműködésével Európa-szerte egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek korabeli tárgyak, folyamatok, események reprodukálására. Jelen írás bemutatja, hogy honfoglaló elődeink a kora középkorban primitív vaskohászati eljárással hogyan voltak képesek megfelelő mennyiségű és minőségű vasanyag előállítására. A munka nem csupán a technológiát ismerteti, hanem betekintést enged a kora középkori magyar vasipar egy termelő egységének felelevenítésébe, a gyakorlati megvalósításba: a vasércbányásztól kezdve a vasbucakohászatot keresztül a kapott vasbuca megmunkálásáig.

A módszerek elsajátítása céljából kísérleti régészeti eszközök felhasználásával a közelmúltban több mint húsz ún. rekonstrukciós kísérlet elvégzésére került sor, amelyek során teljes korhűség mellett sikerült nagy tömegű, jól kovácsolható vasbucákat előállítani. A rekonstrukciós kísérletek során próbakohósítások történtek, amelyek alatt mérésekre, illetve őket követően anyagvizsgálatokra került sor. Ezek eredményei alapján a dolgozat kísérletet tesz a kora középkori vasselőállítás során lezajló fizikai és kémiai folyamatok felderítésére és értelmezésére a korszerű anyagtudomány segítségével, emellett átfogó képet próbál alkotni a földtől a vastárgy elkészüléséig tartó technológiai folyamatokról.

1. Bevezetés

A technikai társadalom kialakulásában nagy szerepet játszott a vas, amelynek kiemelt jelentősége a tág határok között változtatható tulajdonságaiban, jó megmunkálhatóságában, viszonylag egyszerű előállításában van. A vas története azonban nemcsak technikatörténeti, hanem gazdaság- és hadtörténeti jelentőséggel is bír. A gazdaságtörténeti jelentőség esetében gondoljunk a mezőgazdasági szerszámokra vagy arra, hogy a vas adta majdnem minden mesterség szerszámainak anyagát. A hadtörténeti vonatkozások a középkori fegyverek szempontjából szintén egyértelműek.

Ha a kora középkori vasselőállításról beszélünk, akkor ez alatt bucavas-előállítást kell érteni. A bucavas néhány kg tömegű, szivacsos szerkezetű salakos vascipó, amelyet a kora középkorban kis, szakaszos üzemű, faszéntüzelésű bucakemencékben állítottak elő az őskohászok. A vasbuca további melegalakítással történő megmunkálására volt szükség ahhoz, hogy egy salakban szegény, tömör vasanyagot kapjanak, amely már kovácsok számára feldolgozható.

A korabeli vasbuca-előállítás technológiájának alaposabb megismeréséhez hozzájárulhatnak a rekonstrukciós kísérletek, a régészeti feltárásokon előkerült bucakemencék másolataiban elvégzett próbakohósítások. További ismeretek szerezhetők a technológia egyes kiragadott szakaszainak laboratóriumi körülmények között végzett modellezésével. A rekonstrukciós kísérletek és laboratóriumi modellek során a technológiai paraméterek (pl. hőmérséklet, gázösszetétel a bucakohóban stb.) mérhetők, a betétanyagokon (gyepvasércek, salakképzők), bucasalakokon, vasbucákon anyagvizsgálatok végezhetők el. A kapott adatokból a vasbucakohászat során végbemenő metallurgiai folyamatokra is lehet következtetni.

A rekonstrukciós kísérletek során kísérleti régészeti eszközök használhatók fel a bucakemencék megépítése és eredményes üzemeltetése érdekében. Magyarországon a kora középkori vasipar kísérleti régészeti eszközökkel történő felelevenítése európai mércével mérve még gyerekcipőben jár. Míg más európai országban rekonstrukciós kísérletekkel már többnyire eredményesen keltik életre saját nemzeti, ősi bucakemence-típusaikat, addig nálunk még a vasbuca előállításának többszöri megismételhetősége sem megoldott. A külföldi kutatások azonban nem magyarországi területek érceivel, nem magyar bucakemence-típusokkal folynak, így azok eredményei nem vehetők át egy az egyben. Ezen kívül nagyobb részük nem nevezhető korhűnek az alkalmazott modern technológiák (pl. elektromos fűtás, tűzálló téglából épített bucakemence) miatt. Hazánkban mindeztáig nagyon kevés, többségében nem eredményes próbálkozás volt a vasbucakohászat technológiájának felelevenítésére, így nem voltak ismertek a sikeres technológia paraméterei. Az elmúlt években azonban több reményt keltő, korhűnek tekinthető rekonstrukciós kísérlet történt a szerző és az őt segítő szakemberek együttes munkájával.

Az archeometallurgia nem nélkülözheti az elméleti metallurgia, illetve a kémiai analitikai, ásványtani, metallográfiai, mikro- és makroszerkezeti anyagvizsgálatok (és itt nem csak a rekonstrukciós kísérletek anyagainak, termékeinek vizsgálatáról, hanem főként a kapcsolódó régészeti leletek anyagvizsgálatáról van szó) tevékenységeit, eredményeit. A rekonstrukciós kísérletek főként az előzőekből származó megállapítások gyakorlati beigazolására szolgálnak. A kora középkori vasbuca-előállítás kísérleti régészeti eszközökkel történő kutatása segít feltárni a magyar ipartörténet és kultúra egy jelentős szeletét, és egy elveszett ismeretanyag újra-felfedezéséhez is hozzájárul.

2. A kutatások régészeti háttere

Az elmúlt évtizedek iparrégészeti feltárásai során számos kora középkori kohótelep maradványai kerültek a napvilágra Magyarországon (Gömöri 2000; Gallina 2006). A kohótelepeken a kohászathoz szorosan kapcsolódó objektumok, így pl. faszénégető boksák, ércpörkölő gödrök, bucakemencék, újraizzító tűzhelyek nyomait tárták fel.

A kora középkori vaselőállítás központi objektuma a bucakemence volt. Kialakításuk szerint két fő formájuk létezett: a szabadon álló és a földbevált típus. A kettő közötti átmenetet jelentettek azok a típusok, amelyeken csak a medence részük volt

beásva. A földbevált típusú bucakemencék 50-80 cm mély gödrök, ún. műhelygödrök oldalfalába voltak bemélyítve.

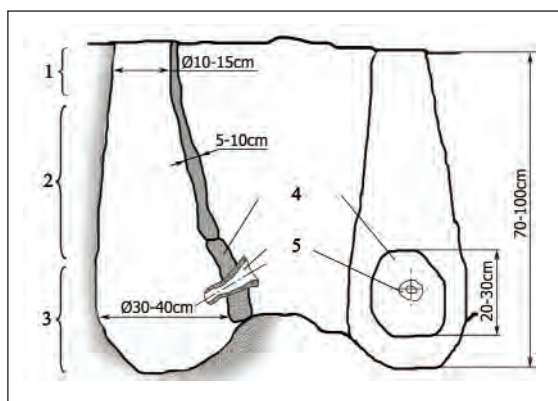
A többször megismételhető rekonstrukciós kísérletek céljából a fajszi-típusú (X. sz. közepe) földbevált kohótípusban került sor a próbakohósítás elvégzésére, ugyanis a kezdeti szabadon álló típusokkal elvégzett kísérletek alapján ez jóval tartósabbnak, több kohósításra alkalmasnak bizonyult (egy-egy próbakohósítás során mindössze a mellfalazat károsodik, csupán azt kell újraépíteni). Az imolai-típusú (10. sz. második fele – 12. sz.), szintén beépített kohóval is sor került néhány kísérletre, azonban a további kísérletek technikai problémák miatt nehezen kivitelezhetőnek tűntek, ugyanis ennek a kohótípusnak feltételezhetően nem volt mellfalazata (a régészeti feltárások során nem találtak mellfalazatokat).

A fajszi-típusú bucakemence felépítésére jellemző, hogy homlokfalának alsó részén egy mellnyílás volt kialakítva, amelyet a kohászat során mellfallal zártak el. A mellfalon található lyukba fűvókát helyeztek, az azon keresztül kézi fűtatóval befűjt levegővel szították a bucabucakemence tüzeit. A fajszi-típusú bucakemence geometriáját általában a következőkkel jellemezhetjük: magassága kb. 70-100 cm, belső átmérője a medencénél 30-40 cm, amely kúposan csökkent felfelé, így a toroknál 10-15 cm volt (Gömöri 2000). Sajnos a bucakemencék maradványai általában nagyon lepusztult állapotban kerülnek elő, ezért pontos geometriájuk (méreteik, főleg magasságuk) nem állapítható meg pusztán a leletek alapján. A rekonstrukciós kísérletek segítségével viszont megbecsülhető a helyes működéshez szükséges geometriai kialakítás (pl. milyen magas legyen a bucakemence a minél nagyobb vaskihozatal elérése érdekében). Az 1. ábra a fajszi-típusú bucakemence felépítést és méreteit mutatja.

3. Technológia

3.1. Rekonstrukciós kísérletek

Mindenek előtt egy rövid áttekintést kell adni a vaselőállítás kora középkori technológiájáról. Ennek bemutatása az elvégzett kísérleti régészeti munka rövid ismertetésével, egyelőre pusztán a gyakorlati megvalósítás oldaláról a legcélszerűbb a követhetőség, érthetőség érdekében (egy korábbi írásában a szerző erről már részletesebben beszámolt (Thiele 2010)). A következőkben a vasipar három ága elevenedik fel: a gypvasérc-bányászat, a vaskohászat és a kovácsolás.



1. ábra A fajszi-típusú beépített bucakemence felépítése és geometriai méretei

Fig. 1. The structure and dimensions of the Fajsz-type built-in bloomery furnace

Jelmagyarázat/Legend: 1. torok/throat, 2. akna/stack, 3. medence/hearth, 4. mellfalazat/breast-wall, 5. fúvóka/twyer

3.1.1. Gyepvasérc-bányászat

A gyepvasércnek olyan felszíni vagy felszínközeli vasérc, amelyek egyszerű kitermelésük miatt a bucakemencék betétanyagául szolgálhattak a kora középkor folyamán. Gyepvasérceket Magyarország területén ma is sokfelé találhatunk, ezek kohósíthatósága azonban nagyon eltérő. A jó minőségű gyepvasérc tapasztalati úton felismerhető fizikai tulajdonságai a színe és az állaga. A barna szín arra utal, hogy az érc limonitos, vasban gazdag, a töret színe jó minőségű gyepvasérc esetén szintén rozsdabarna, esetleg világos barna. A töret színében megjelenő kékes árnyalat nagy foszfortartalomra utalhat, ezért az ilyen színű ércek gyűjtését kerülni kell. Jó, ha az érc porózus szerkezetű, mert az ilyen, nagy fajlagos felületű ércek a bucakemence redukáló atmoszférájában gyorsabban redukálódnak. Az ércék kohósíthatósága a legegyszerűbben mégis egy próbakohósítás elvégzésével állapítható meg.

Az elmúlt két évben négy lelőhely gyepvasércével történtek próbakohósítások. A lelőhelyek: Kék-Kálló-völgye (Debrecentől 40 km-re délre), Fancsika (Debrecentől 5 km-re délre), Somogyszob, Petesmalom (mindkettő Somogy megye déli részén). A terepbejárások során felfedezett négy gyepvasérclelőhely közül a felsorolt szempontok mindegyikét legjobban a legkésőbb felfedezett petesmalmi lelőhely gyepvasércé elégti ki, amelyből elfogadható minőségű vasbucák voltak előállíthatók. A fancsikai gyepvasércből szintén lehetett vasat



2. ábra Rekonstruált műhelygödör részlet. A kép bal oldalán látható egy kitapasztott elő-üreg, amely jól mutatja egy bucakemence belső kialakítását. A másik két elkészült kohó már mellfallal van ellátva, kiszáritásuk folyamatban van. A középső bucakemence előtt látható a bucakemencék tüzeinek szítására szolgáló fűjtató replika

Fig. 2. The detail of a restored workshop pit. On the left there is a plastered smaller pit, which gives an insight into the structure of the furnace. The additional two furnaces have breast-walls, they are presently being dehydrated. In front of the middle furnace, there is a replica of the bellows

nyerni, a somogyszobiból és a Kék-Kálló-völgyből azonban csak nagyon kis mennyiségben.

3.1.2. Vasbucakohászat

Egy próbakohósítást számos előkészület előz meg. Mindenekelőtt ki kell ásni a műhelygödört, amelynek oldalfalába be lehet mélyíteni a bucakemencék elő-üregeit. Ezeket kb. 2-3 cm vastagon ki kell tapasztani agyag-homok megfelelően sovány keverékével, majd homlokfalat kell építeni a kitapasztott üreghöz. A homlokfal alsó részén hagyott mellnyílást elzáró mellfal külön készíthető el a fúvókával együtt. A bucakemencét ezután lassú tűz szárítja ki 10-15 órán keresztül. Az egyik rekonstruált műhelygödör részletet mutatja a 2. ábra.

A rekonstrukciós kísérletek során fontos szempont volt a korhűség, és a kora középkori vasipar minél teljesebb felelevenítése, ezért többnyire saját égetésű faszénnel került sor a próbakohósítások elvégzésére.

A próbakohósítást megelőző technológiai művelet az összegyűjtött gyepvasérc pörkölése. Ennek során az ércpörkölő gödörben rakott tűzbe tett gyepvasércdarabok tapadt nedvessége, majd kötött hidratvíze eltávozik. A pörkölés következtében az érc színe barnáról vörösre vált, ugyanis a hidroxidos (geothites) ércből oxidos (hematitos) érc keletkezik. Ez a színváltozás a helyesen elvégzett pörkölés indikátora. A rekonstrukciós kísérletek tapasztalatai alapján elmondható, hogy már az ércpörkölés során bizonyos fokú előredukció történhet, amit újabb

színváltozás, szürkére színeződés jelez (a hematitből magnetit keletkezik). A pörkölés során a gyevasérc szerkezete még inkább fellazul, a pörkölt ércdarabok kézzel is morzsolhatók lesznek.

A próbakohósítás a bucakemence előfűtésével kezdődik. A bucakemence medencéjét felülről izzó parázzsal kell feltölteni, majd erre a bucakemence teljes térfogatát kitöltő mennyiségben faszén kerül. Intenzív fűjtatás mellett a bucakemencében az vasoxidok redukciójához megfelelő hőmérséklet-eloszlás és gázösszetétel alakul ki. Amikor a torkon át távozó torokgázok már tartósan éghetők (meggyújthatók), akkor kerülhet sor az első faszén-pörkölt gyevasérc keverék beadagolására. A beadagolt faszén és gyevasérc tömegaránya a kísérletek tapasztalati alapján 1:1, vagy akár 0,5:1 is lehet.

A próbakohósítás kb. 5-7 órán át tart, ezalatt kb. 10-15 kg gyevasércet lehet kohósítani. Az állandó intenzív fűjtatás mellett eléggő faszénkarbon égéshője egyrészt biztosítja a megfelelően nagy hőmérsékletet, másrészt az égés során keletkező széndioxid nagy hőmérsékleten szénmonoxiddá alakul a faszénkarbon jelenlétében, így biztosítva a redukáló atmoszférát. A próbakohósítás során gyakran szükség van salakcsapolásra. A salak a gyevasérc meddőtartalmából és több-kevesebb vasoxidból keletkezik. A salak olvadt állapotba kerül a medencében uralkodó nagy hőmérsékleten, így könnyen kicsapolható a mellfalon, a fűvóka alatt ütött salakcsapoló nyíláson keresztül, így elválasztható a medencében növekvő vasbucától. Ha a salakcsapolás nem történik meg, akkor a medencét az olvadt salak feltölti, befolyik a fűvókába, és meggátolja a további levegőbefűvást, így a bucakemence lehül.

A próbakohósítás végén a bucakemence medencéjében összeállt szivacsos-salakos vasbucát ki lehet húzni a mellfalazat kitörésével. Még melegen sor kerül a vasbuca farönkön fakalapáccsal történő tömörítésére.

3.1.3. Kovácsolás

A bucakemencéből kihúzott vasbuca tömörítés közben kihül, ezért a további tömörítés érdekében ismét fel kell hevíteni. Ez az újraizzító tűzhelyben történik meg, amely egy sekély, izzó faszénnel teli gödör. Az újraizzító tűzhely tűzét a hozzá oldalról elhelyezett fűvókán keresztül kézi fűjtatóból befűjt levegő segítségével lehet szítani. Amikor a vasbuca számos tömörítés után már kevés salakot tartalmaz és elegendően tömör, megkezdődhet a kovácsolása. Ekkor már bármilyen vastárgy elkészíthető a kapott, jó minőségű vasanyagból: szegek, nyílhegyek, fokok stb.

3.2. A technológiai paraméterek mérése

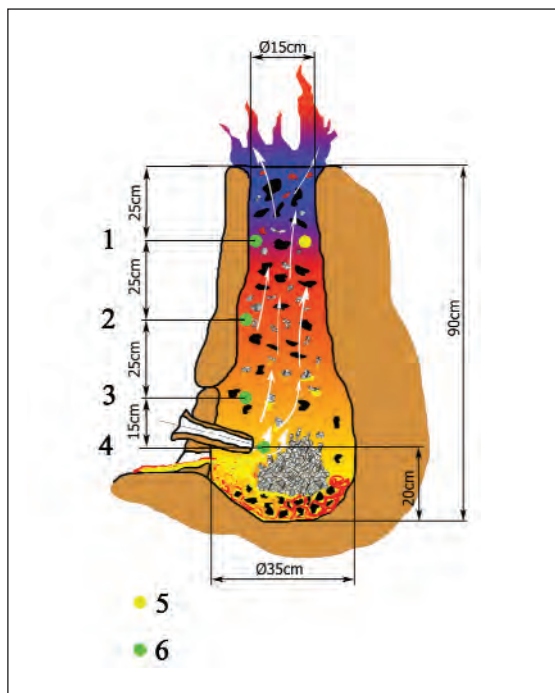
A bucakemencében lezajló metallurgiai folyamatok megismerése céljából néhány próbakohósítás során hőmérséklet és gázösszetétel mérésre került sor. A hőmérsékletmérések a bucakemence négy pontjában (az akna felső, középső és alsó pontjában, illetve a fűvóka előtt), gázösszetétel mérések pedig az akna felső pontjában történtek kb. 30 perces időközönként a próbakohósítás teljes időtartamában – az első és utolsó gyevasércadag beadagolása között, tehát mintegy 5 órán keresztül. A hőmérsékletméréseket a bucakemence homlokfalába fűrt lyukakon bedugott hőelemmel (Pt–PtRh termopár) lehetett elvégezni, az atmoszféra gázösszetételének meghatározása céljából egy szondán keresztül vett és eltárolt gázmintákon utólag gázkromatográfias vizsgálat történt. A mérés vázlatát és egyben a kísérleti bucakemence geometriai kialakítását a 3. ábra, a mérési eredményeket a 4. ábra és az 5. ábra foglalja össze.

A hőmérsékletmérések eredményeiből megállapítható, hogy a bucakemencében lévő hőmérsékletek viszonylag állandóak, amely kedvez a bucakemence egyenletes működésének. Megfigyelhető, hogy a medence hőmérséklete elegendően nagy (kb. 1200-1300°C), így benne a technológiára jellemző nagy vastartalmú, savanyú jellegű salak olvadt állapotba kerül és könnyen kicsapolható. A gázösszetétel-mérési eredményekből látható, hogy a bucakemence torokgázainak összetétele viszonylag állandó, CO-tartalma nagy.

3.3. Laboratóriumi kohómodell-kísérletek

A vaskohászat során lezajló metallurgiai folyamatok megismerése céljából a bucakemence aknájában végbemenő folyamatok modellezésére laboratóriumi körülmények között került sor. A modellkísérletek faszén és gyevasérc keverékének ellenállás fűtéses kemencében, lezárt vastégelyben történő hevítésével majd hűntartva (a faszén közegű cementáláshoz hasonlóan) történtek. A kísérlet hőmérséklet-idei viszonyai a hőmérsékletmérések eredményei és az elegyoszlop süllyedési sebessége alapján kerültek meghatározásra.

A gyevasércnek a bucakemence torkától az akna közepéig tartó süllyedése a keverék 40 perc alatt 500°C-ról 900°C-ra történő hevítésével modellezhető. A kísérlet végén kapott gyevasércdarabokat metallográfiai vizsgálatnak alávetve megállapítható volt, hogy a mintákban nagy mennyiségben színült ki vas, miközben az érc meddő tartalma nem olvadt össze salakká. Tehát a gyevasérc porózus szerkezetéből következő nagy fajlagos felülete gyors szí-



3. ábra Hőmérséklet- és gázösszetétel-mérési pontok a rekonstruált bucakemencében. Az ábrán a geometriai kialakítás is megfigyelhető

Fig. 3. Temperature- and gas-composition measurement points in the restored furnace. The figure gives an indication of the furnace's construction

Jelmagyarázat/Legend: 1. akna – felső rész/stack-upper part, 2. akna – középrész/stack-middle part, 3. akna – alsó rész/stack-lower part, 4. fúvósík/hearth, 5. gázösszetétel-mérési pont/gas composition measurement point, 6. hőmérsékletmérési pont/temperature measurement point

lárd fázisú redukciót tett lehetővé. A torok és akna-felső modell-kísérlet eredményeként kapott minta metallográfiai csiszolatát mutatja a 6. ábra.

Az előbbi kísérlet eredményeként kapott részben redukált gypvasérc keves salakképzővel (fahamuval) keverve fél órá, 1100°C-os hőtartásnak voltak kitéve az akna alsó részén lezajló folyamatok modellezése céljából. A kísérlet eredménye „kis vasbucá” lett, a meddő anyagok és a maradék vasoxidok egy része olvadt salakot képezett így a korábban kiszínült apró vasszemcsék közel kerültek egymáshoz és diffúziós hegedéssel összehegedtek. Az aknaalsó modell-kísérlet eredményeként kapott minta metallográfiai csiszolatát mutatja a 7. ábra.

Idő (perc)	Akna felső (°C)	Akna közép (°C)	Akna alsó (°C)	Fúvósík (°C)
0	450	840	1160	1380
28	550	840	1170	1270
55	570	850	1210	1370
79	540	850	1140	1340
127	530	960	1190	1380
189	480	870	1160	1420

4. ábra A 21. próbakohósítás hőmérsékletmérési eredményei.

Fig. 4. The temperature measurement results from the smelting experience nr 21.

Idő (perc)	H ₂ (Vol%)	N ₂ (Vol%)	CO (Vol%)	CH ₄ (Vol%)	CO ₂ (Vol%)
0	9,10	61,75	24,83	1,21	4,17
28	2,69	66,84	24,76	0,34	4,89
55	0,00	71,31	25,44	0,35	4,67
79	8,32	62,59	26,75	0,49	9,38
127	5,38	65,19	22,68	0,50	8,05
311	1,07	82,81	12,83	0,00	8,19

5. ábra A 21. próbakohósítás gázösszetétel-mérési eredményei

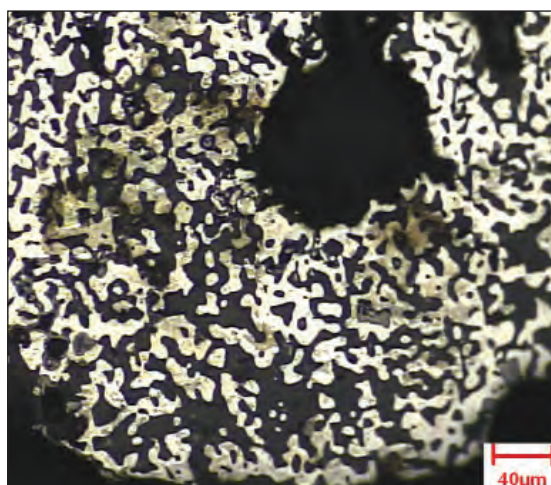
Fig. 5. The gas-composition measurement results from the smelting experience nr 21.

4. Anyagvizsgálatok

A rekonstrukciós kísérletek során kapott vasbucák esetén gyakran tapasztalható volt jobb esetben csak a hideg állapotban jelentkező ridegség azonban rosszabb esetben a melegtörékenység jelensége. A melegtörékenység a fancieskai lelőhely gypvasércéből nyert korai vasbucák esetén volt gyakori: a vasbucákat a bucakemencéből kivett melegükben kovácsolva darabokra törtek. A hideg állapotban való ridegség a petesalmi gypvasércből készült vasbucákat jellemezte: a vasbucák bár melegen jól kovácsolhatóak voltak, hideg állapotban viszont a belőlük kikovácsolt vastárgy-replikák nagyon ridegnek mutatkoztak, nem viseltek el képlékeny



6. ábra A torok és aknafelső modell-kísérlet eredményeként kapott minta metallográfiai csiszolata
Fig. 6. Metallographic picture of iron bloom samples from the upper stack level and throat level of the furnace



7. ábra Az aknaalsó modell-kísérlet eredményeként kapott minta metallográfiai csiszolata
Fig. 7. Metallographic picture of iron bloom samples from the lower stack level of the furnace

alakváltozást, könnyen törtek. A többi lelőhely ércéből vasbucá nem, mindössze kisebb vasrögök voltak nyerhetők.

Az anyagvizsgálatok segítségével választ kaphatunk egyrészt a vasbucák törékenységének okára, másrészt még közelebb kerülhetünk a bucakemenében zajló metallurgiai folyamatok megértéséhez. Ebből a célból gyevasércmintákon és bucasalakokon röntgendiffrakciós és vegyelemzéses vizsgálatok, vasbucadarabokon pedig metallográfiai és vegyelemzéses vizsgálatok elvégzésére került sor. Az anyagvizsgálatok segítségével kapott információkat visszacsatolva a rekonstrukciós kísérletekbe még eredményesebb, még sikeresebb lehet a technológia felelevenítése.

4.1. Salakminták összetétel-vizsgálata

A próbakohósítások során kapott salakmintákon elvégzett röntgendiffrakciós vizsgálatok kimutatták, hogy azokban egyrészt kristályos fayalit (2FeO-SiO_2) fázis, másrészt több-kevesebb amorf fázis van jelen. Emellett a salakok jelentős vastartammal rendelkeztek, amely a fayalit esetleg a kis mennyiségben megjelenő wüstit (FeO) fázisban van lekötve. Ebből következik a korai vasbucakohászati technológia nagy hátránya: a kis vaskihozatal. A kohósított gyevasérccek vasoxid-tartalmának jelentős részéből nem redukálódik szívas, hanem fayalit vagy wüstit formájában elsalakul.

Az amorf fázis megjelenése feltételezhetően segíti a salak olvadáspontjának csökkenését (erre vonatkozóan az amorf fázis kémiai összetételét pontosan meg kellene határozni).

A salakminták röntgendiffrakciós vizsgálatának eredményeit a 8. ábra foglalja össze. A táblázatban a minta azonosítója utal arra, hogy melyik lelőhely ércének kohósításakor kapott salakról van szó.

A bucasalakok ICP spektroszkópiás vegyelemzése alapján elmondható, hogy azok minden esetben savanyú jellegűek voltak. A vegyelemzési eredmények szerint a próbakohósítások salakjainak fő összetevői a FeO , SiO_2 és CaO . Ezek alapján $\text{FeO-SiO}_2\text{-CaO}$ háromalkotós diagrammok segítségével meghatározható elméleti olvadáspontjuk is. Ez a módszer általában $1100\text{-}1200^\circ\text{C}$ körüli olvadáspontértékeket adott, ennél azonban a gyakorlatban, a kísérletek során kisebb hőmérsékleten is csapolható a salak. A salakminták vegyelemzéses vizsgálatának eredményeit a 9. ábra foglalja össze.

4.2. Gyevasércminták kémiai vizsgálata

A rekonstrukciós kísérletek során négy magyarországi gyevasérclelőhely ércének kohósítására került sor. A gyevasércmintákon számos röntgendiffrakciós vizsgálat illetve vegyelemzés (ICP és XRF spektroszkópiás) történt. A négy gyevasérclelőhely gyevasércének a röntgendiffrakciós vizsgálatok alapján meghatározott fázis-összeté-

Azonosító	Megjegyzés	Labor	Fázisösszetétel (%)					Összes
			Fayl	Quar	Cris	Glass	Magn	
kallo_s-01	Kék-kálló-völgyéből származó gypvasérc folyósalakja (szürke színű)	KKKI	35	3	3	55	-	100
fan_s-01	Fancsikáról származó gypvasérc folyósalakja (zöld színű)	KKKI	10	-	-	90	-	100
fan_s-02	Fancsikáról származó gypvasérc folyósalakja (fekete színű)	KKKI	20	5	1	74	-	100
som_s-01	Somogyszobról származó gypvasérc folyósalakja (fekete színű)	KKKI	-	20	3	75	2	100
pet_s-02	Petesmalomról származó gypvasérc folyósalakja (zöld színű)	KKKI	50	10	-	30	-	90
pet_s-03	Petesmalomról származó gypvasérc folyósalakja (fekete színű)	KKKI	-	15	-	85	-	100

8. ábra Rekonstrukciós kísérletekből származó bucasalakminták röntgendiffrakciós vizsgálatának eredményei
Fig. 8. The results from X-ray diffraction analysis of slag samples from smelting experiments

Azonosító	Megjegyzés	Labor	Kémiai összetétel (%)						Összes
			SiO ₂	CaO	MgO	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	
fan_s-03	Fancsikáról származó gypvasérc folyósalakja (zöld színű)	Ózd, Furol analitika	32	10,05	1,07	32,81	2,32	2,86	81,11
fan_s-04	Fancsikáról származó gypvasérc folyósalakja (fekete színű)	Ózd, Furol analitika	22	12,76	1,33	26,64	3,26	2,56	65,99
pet_s-01	Petesmalomról származó gypvasérc folyósalakja (zöld színű)	Ózd, Furol analitika	45,4	11,68	1,38	24,93	3,36	2,56	86,75

9. ábra Rekonstrukciós kísérletekből származó bucasalakminták vegyelemzéses vizsgálatának eredményei
Fig. 9. The results from chemical analyses of slag samples from smelting experiments

teleit a 10. ábra, a vegyelemzéses vizsgálatok alapján meghatározott kémia összetételeit a 11. ábra mutatja be.

A röntgendiffrakciós vizsgálatok eredményei alapján általánosságban megállapítható, hogy a gypvasérccek jellemző kristályos fázisa a goethit (FeO(OH)), amely a lelőhelytől függően a minták tömegének 45-90%-át tette ki. Minél nagyobb vas-tartalmú gypvasérccek kohósítására kell törekedni, azonban technológiai okokból a meddőből és wüstitből keletkező salakra is szükség van a vasbu-

cakohászat során (ld. később). A petesalmi gypvasérc például nagyon jól kohósítható, azonban meddőtartalma olyan kicsi, hogy a próbakohósítások során homokból és fahamuból álló keveréket kellett beadagolni a gypvasérc mellett salakképzési céllal.

Az ércek meddője minden esetben savanyú jellegű volt, túlnyomórészt SiO₂-ot tartalmazott. A savanyú ércek kohósítása során keletkező szintén savanyú, fayalitos salak viszkozitása a bucaaskohászat kis hőmérsékletén (1100-1300°C) kisebb, mint a

Azonosító	Megjegyzés	Labor	Fázisösszetétel (%)										Összes		
			Quar	Calc	Goet	Hemma	Musc	Illi	MntA	ChmA	Albi				
kallo_v-01	Kék-kálló-völgéből származó barna színű gyepvasércminta	KKKI	30	-	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90
fan_v-01	Fancsikáról származó kék színű gyepvasércminta	KKKI	40	-	30	-	-	-	10	-	-	-	20	-	100
fan_v-02	Fancsikáról származó barna színű gyepvasércminta	KKKI	6	-	75	-	-	5	10	-	-	-	4	-	100
som_v-01	Somgyeszobróról származó fehér színű gyepvasércminta	KKKI	10	70	10	-	-	5	-	-	-	5	-	-	100
som_v-02	Somgyeszobróról származó barna színű gyepvasércminta	KKKI	20	10	45	-	10	-	-	-	-	15	-	-	100
som_v-03	Somgyeszobróról származó barna színű gyepvasércminta pörkölés után	KKKI	28	8	-	40	7	-	-	-	-	20	-	-	100
pet_v-03	Petesmalomról származó barna színű gyepvasércminta	KKKI	3	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93
pet_v-04	Petesmalomról származó barna színű gyepvasércminta pörkölés után	KKKI	5	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	95

	Számított kémiai összetétel (%)										Összes
	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CO ₂	H ₂ O	ΣFe			
kallo_v-01	30,00	-	-	53,92	-	-	6,08	37,74	90,00		
fan_v-01	59,73	0,35	0,37	26,96	6,36	-	3,97	18,87	97,74		
fan_v-02	16,99	0,35	0,37	67,40	5,07	-	8,87	47,18	99,05		
som_v-01	13,38	39,22	0,12	11,08	3,18	30,78	1,91	7,76	99,67		
som_v-02	27,85	5,60	0,37	46,71	7,60	4,40	6,57	32,70	99,10		
som_v-03	32,60	4,48	0,50	48,36	7,71	3,52	2,46	33,85	99,63		
pet_v-03	3	-	-	80,88	-	-	9,12	56,616	93,00		
pet_v-04	5	-	-	90	-	-	-	63	95,00		

bázikus salaké (Török 1995, 280), ezért el kell kerülni a nagyobb CaO-tartalmú ércek adagolását. Ebből a szempontból például a Somogyzombi lelőhely gyevasércé kifejezetten rosszul kohósítható, túlzottan bázikus salakja nagy viszkozitású, nehezen csapolható volt.

A ma megtalálható gyevasércék rossz tulajdonsága a sokszor jelentős foszfortartalom. Ennek oka feltételezhetően a mezőgazdasági tevékenység, műtrágyázás a lelőhelyek közelében. Érdekes kérdés lenne, hogy vajon a kora középkori gyevasérceknek milyen lehetett a foszfortartalma, mennyire okozhatott problémát gyevasércből a vasbucába kerülő foszfor az őskohászok számára? A kora középkori Kárpát-medencei vastárgyak vegyelemzéses vizsgálatával ezt meg lehetne állapítani. Irodalomban található erre vonatkozó adatok szerint vastárgyakban előfordult 0,2-0,5 wt%-os foszfortartalom is, amely már ridegséget okozhatott (Heckenast et al. 1968, 188).

4.3. Vasbucák metallográfiai és elektron mikroszondás vizsgálata

Jelenleg több mint 15 kg-nyi kisebb nagyobb vasbucá áll rendelkezésre a próbakohósítások eredményeképpen. Ezek metallográfiai, illetve elektron mikroszondás (pásztázó elektronmikroszkóp és energiadiszipatív röntgen-analizátor segítségével, SEM-EDAX) vizsgálatával fény derült a korábbi kísérletek során nyert vasbucák melegtörékenysége okára. A 12. ábra egy fancieskai és egy petesmalmi gyevasércből készült tipikus vasbucá összehasonlító metallográfiai és elektron mikroszondás vizsgálatának eredményét mutatja.

A fancieskai gyevasércből készült vasbucá szövet-szerkezetére jellemző a nagy mennyiségben jelen lévő vas-vasfoszfid ($\text{Fe-Fe}_3\text{P}$) eutektikum. A $\text{Fe-Fe}_3\text{P}$

eutektikum mátrixban lekerekített oldalú ferrit szemcsék láthatók. A $\text{Fe-Fe}_3\text{P}$ eutektikum olvadáspontja 1083°C , így a kovácsolás $1000\text{-}1200^\circ\text{C}$ -os hőmérsékleten megolvad. Ez tehát a fancieskai ércből nyert vasbucák melegtörékenysége oká. A petesmalmi gyevasércből készült vasbucá metallográfiai csiszolatán többnyire nem vagy csak kis mennyiségben lehet $\text{Fe-Fe}_3\text{P}$ eutektikumot megfigyelni, a szövet-szerkezet túlnyomó részben ferrites. Azonban a ferrit oldott foszfortartalma még mindig jelentős, emiatt hidegen ridegek, törékenyek ezek a vasanyagok. A petesmalmi érc esetén a vegyelemzési eredmények alapján a nagy mennyiségű foszfor a gyevasércből származik. Bár a fancieskai gyevasérc foszfortartalmának kimutatása eddig még nem történt meg, feltételezhetően az is igen nagy.

5. A vasbucakohászat metallurgiája

A próbakohósítások tapasztalatai, az elvégzett anyagvizsgálatok eredményei és a laboratóriumi modellek alapján nagy vonalakban felvázolható a bucakohászat metallurgiája. Kövessük nyomon a gyevasérc útját ércpörköléstől a vasbucáig!

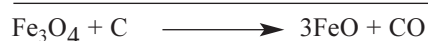
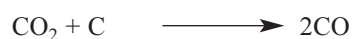
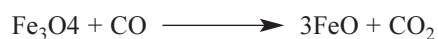
Az ércpörkölő gödörben a pörkölés során eltávozik a goethit hidrátvíz tartalma, hematittá alakul. A pörkölés végén általában már a megjelenik többkevesebb magnetit fázis is. A bucakemence kb. 500°C -os torkába adagolt pörkölt gyevasérc maradék hematit tartalma indirekt redukcióval javarészt magnetittá redukálódik (a CO-dal /vagy H_2 -nel történő redukciót nevezük indirekt redukciónak a nyersvasmetallurgiában).

A tovább süllyedő gyevasérc elérve az akna 800°C -os felső részét indirekt, és a CO közvetítésével direkt redukcióval wüstitté majd színvassá redukálódik. A reakciófelület a gyevasérc és a bucakemence atmoszférájának határfelülete. Az

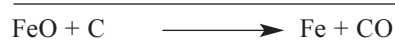
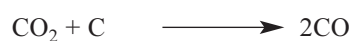
10. ábra Rekonstrukciós kísérletek során kohósított gyevasércék röntgendiffrakciós vizsgálatai alapján meghatározott fázis-összetételei és az ebből számított kémiai összetételei. A kimutatott kristályos fázisok teljes nevei és képletei a következők: Quar – Kvarc (SiO_2); Calc – Kalcit (CaCO_3); Goet – Goethit (FeO(OH)); Hema – Hematit (Fe_2O_3); Musc – Muscovit ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$); Illi – Illit ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$); MntA – Montmorillonit ($(\text{Ca},\text{Mg})_{0,6}\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{O}$); ChmA – Chamosit ($\text{Fe}_{1,7}\text{Mg}_{0,2}\text{Al}_{0,8}(\text{Si}_{1,2}\text{Al}_{0,8})\text{O}_5(\text{OH})_4$); Albi – Albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)

Fig. 10. The phase-compositions and the measured chemical components of experimentally smelt iron ore samples as defined by the X-ray diffraction analysis. The chemical formulas of the crystalline phases: Quar – Quartz (SiO_2); Calc – Calcite (CaCO_3); Goet – Goethite (FeO(OH)); Hema – Hematite (Fe_2O_3); Musc – Muscovite ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$); Illi – Hydro-muscovite ($(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$); MntA – Montmorillonite ($(\text{Ca},\text{Mg})_{0,6}\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{O}$); ChmA – Chamosit ($\text{Fe}_{1,7}\text{Mg}_{0,2}\text{Al}_{0,8}(\text{Si}_{1,2}\text{Al}_{0,8})\text{O}_5(\text{OH})_4$); Albi – Albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)

indirekt redukciók során keletkező CO_2 az adott 800°C -os hőmérsékleten már javarészt a C-nel reagálva CO-dá bomlik a Boudouard-reakció szerint. A bruttó reakció a direkt redukció (Farkas 1989, 255):



és



Amikor a gypvasérc tovább süllyed az akna $1000\text{--}1200^\circ\text{C}$ -os alsó részébe, az eddig szilárd meddő a wüstittel salakká olvad össze. Az olvadt salakban egymáshoz közel kerülnek a korábban színült vasszemcsék és közöttük diffúziós hegedés történik, így nagyobb vasrögök alakulnak ki.

A vasrögök összehegedésével alakul ki a medencében a vasbuca. A medencében uralkodó $1200\text{--}1300^\circ\text{C}$ -os hőmérsékleten a salak viszkozitása lecsökken és elválva a vasbucától, lecsurog a medence aljára. A medencét az olvadt salak egy idő után feltölti, ekkor ki kell csapolni, mielőtt még a fűvóka szintjét elérné.

A salak jelenléte azonban kedvezően is hat, ugyanis a vasbucát borító salakfilm megakadályozza annak visszaoxidálódását a fűvóka előtti feltételezhetően oxidáló atmoszférán, illetve a vasbuca későbbi kovácsolása és kovácshegesztése során lehetővé teszi a felületek összehegedését.

A vasbucát felépítő vas javarész tehát feltételezhetően az aknában redukálódik a vasoxidokból szilárd-gáz fázisú reakcióval. Azonban kisebb lehetséges a fém vas kialakulásának egy másodlagos, kisebb léptékű folyamata is, amelynek során a híg folyós olvadt salak szabad (nem a fayalitban kötött) wüstit tartalmából direkt redukcióval metalizálódik vas, amikor a salak átcurog a faszéndarabok között. A szilárd-folyékony fázisú redukció reakciófelülete ebben az esetben jóval kisebb, mint a szilárd-gáz fázisú redukció esetén volt, ezért feltételezhetően ezen a módon nem színül ki jelentős mennyiségű vas. A folyamatnak a vasbuca kialakulásában játszott szerepét megállapítandó laboratóriumi körülmények között kellene modell-kísérleteket végezni.

Az elmondottakat a 13. ábra foglalja össze.

6. Összefoglalás

A fajszi-típusú beépített bucakemencében korhúnek tekinthető és eredményes próbakohósítások történtek a nagy vastartalmú, porózus szerkezetű petesmalmi gypvasércel. A felülről a bucakemence torkába adagolt faszén és gypvasérc rétegek folyamatos süllyedése és utánpótlása egyenletes kohójárat mellett biztosította a vasbuca kialakulását a medence alján.

A rekonstrukciós kísérletek, a gyakorlati tapasztalatokkal összhangban álló anyagvizsgálatok, modell-kísérletek, és technológiai paraméterek mérési eredményeiből megalapozott következtetések vonhatók le a kora középkori vasbucakohászat technológiájára és a végbemenő metallurgiai folyamatokra.

*

Köszönetnyilvánítás

Dr. Bán Krisztián, egyetemi adjunktus, BME: konzulensi munkájáért és számos próbakohósításokon való tevékeny részvételéért.

Dr. Dévényi László, egyetemi docens, BME: konzulensi munkájáért

Dr. Török Béla, egyetemi docens, ZMNE, ME: Vegyelemzésekért és gázösszetétel-mérésekért, konzulensi munkájáért.

Dr. Gömöri János, régész, MTA Iparrégészeti Munkabizottságnak elnöke: konzulensi munkájáért.

Dr. Fehér András, nyugdíjas főiskolai tanár, DUF: Gyakorlati tanácsaiért.

Dr. Porkoláb László, Országos Műszaki Múzeum Kohászati Múzeumának igazgatója: A 24. próbakohósítás IV. Fazola-napokon való lebonyolításában nyújtott segítségért.

Dunaferr Spektrometriai Főosztály, Ózdi Furul Analitika kft: Vegyelemzésekért.

Sajó István, MTA Kémiai Kutatóintézetének munkatársa: Röntgendiffrakciós vizsgálatokért és gyakorlati tanácsaiért.

Portkó Mihály, BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék munkatársa: EDAX vizsgálatokért.

Gallina Zsolt, régész, Ásatárs kft. ügyvezető igazgatója: Tanácsaiért.

Gulya István és Ágoston Katalin, Országos Műszaki Múzeum Kohászati Múzeumának munkatársai: A 21–23. próbakohósítások újmassai kísérleti régészeti táboron belüli lebonyolításában való segítségért.

Farkas Gábor, a korábbi próbakohósításoknak helyet adó földterület tulajdonosa.

Győri Imre, MAGYARMET Finomöntöde Bt.
ügyvezető igazgatója: Összugarzasmérő pirométer
rendelkezésemre bocsátásáért.

Szűcs Sándor, MAGYARMET Finomöntöde Bt.
munkatársa: Vegyelemzésekért.
Baranyai Viktor Zsolt: Gázösszetétel-mérésekért.

Irodalom

Farkas, O. 1989. *Nyervasmetallurgia*. Budapest.

Gömöri, J. 2002. *Az Avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannóniában*. Sopron.

Gallina, Zs. 2006. Avar kori kohótelep Kaposvár-Fészlerakon. Király I. (Szerk./Ed.) *Somogyi Múzeumok Közleményei*. Kaposvár. 15.

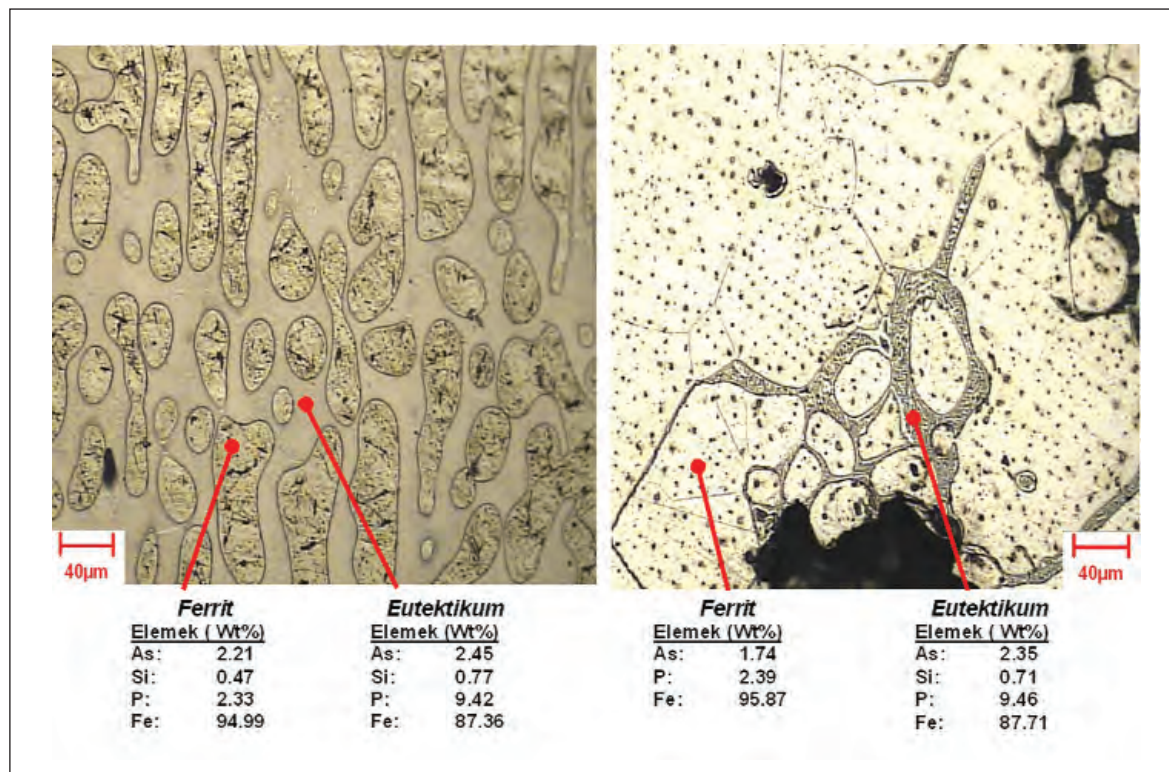
Heckenast, G., Nováki, Gy., Vastagh, G., Zoltay, E. 1968. *A magyarországi vaskohászat története a korai középkorban*. Budapest

Thiele, Á. 2010. A bucavaskohászat kora középkori technológiája a megvalósíthatóság tükrében. *Kohászat*, 2010/2, 2–5.

Török, B. 1995. Chemical and Metallographic Analysis of Iron Ores and Slags Found in Medieval Bloomery Sites and Obtained by Smelting Experiments; *Archaeometallurgy of Iron in the Carpathians Region, Seminar Herl'any, 1994*. Nitra, 279–295.

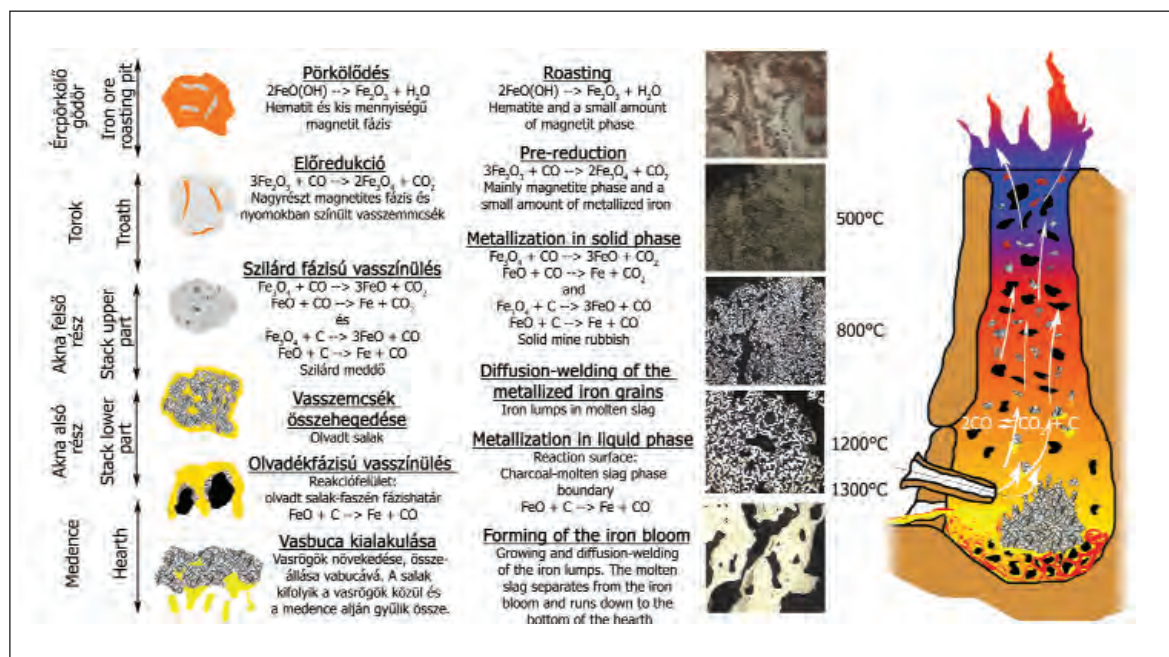
Azonosító	Megjegyzés	Labor	Kémiai összetétel (%)										Összes
			SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	ΣFe			
kallo_v-02	Kék-kálló-völgyéből származó barna színű gyevasércminta	Ózd, Furol analitika	6,5	6,2	0,49	42,46	4,26	0,98	n.a.			29,72	60,89
fán_v-03	Fancsikáról származó barna színű gyevasércminta	Ózd, Furol analitika	8	5,54	0,5	44,32	4,49	0,96	n.a.			31,02	63,81
som_v-04	Somogyszobról származó barna színű gyevasércminta	Dunaferr spektrometriai főosztály	14	10	0,87	61,4	3,57	3,32	3,29			42,98	96,45
som_v-05	Somogyszobról származó barna színű gyevasércminta	Ózd, Furol analitika	7,3	17,3	0,87	39,03	8,18	0,72	n.a.			27,32	73,4
som_v-06	Somogyszobról származó barna színű gyevasércminta pörkölés után	Ózd, Furol analitika	8,5	15,76	0,88	50,89	5,99	0,87	n.a.			35,62	82,89
pet_v-01	Petesmalomról származó barna színű gyevasércminta	Dunaferr spektrometriai főosztály	3,82	3,44	0,32	81	1,62	0,46	6,6			56,70	97,26
pet_v-02	Petesmalomról származó barna színű gyevasércminta pörkölés után	Ózd, Furol analitika	12	2,87	0,23	58,18	6,7	0,06	n.a.			40,73	80,04

11. ábra Rekonstrukciós kísérletek során kohósított gyevasércek vegyelemzéses vizsgálatai alapján meghatározott kémia összetételei
Fig. 11. *The chemical compositions of experimentally smelt iron ores*



12. ábra Egy tipikus fancsikai és egy tipikus petesmalmi gyevasércből készült vasbucá összehasonlító metallográfiai és elektron mikroszondás vizsgálatának eredménye

Fig. 12. Metallographic and electro micro-sondage pictures of typical iron bloom samples made of Fancsika iron ore and Petesmalom iron ore



13. ábra A vasbucakohászat metallurgiája

Fig. 13. The metallurgy of iron bloomery

FROM ORE TO IRON PRODUCTS – THE TECHNOLOGICAL AND ARCHAOMETRICAL
ASPECTS OF IRON SMELTING IN CONQUEST PERIOD HUNGARY

BY ÁDÁM THIELE

Iron had an enormous importance in the development of the industrial society; its significance is mainly connected with the wide-ranging, variable attributes, excellent processing, and relatively simple production of the material. Yet, the history of iron has also relevance in economic- and military history. In relation to economic history, agricultural tools can be mentioned, and it has to be noted that iron ensured the raw material for the tools of almost all crafts. The military historical relations are also beyond doubt. Mankind had discovered the method to produce iron from oxide ores since the thirteenth century BC. According to the ancient method of iron making, the so called „iron bloom” was produced directly from the iron ore, in small charcoal heated furnaces. Since the smelting temperature was low, the iron did not melt, and only merged with the carbon to a small extent. Further on, the some kilograms of iron blooms were re-heated, and compacted. During this process, the majority of low-melting slag, which contained a lot of iron oxide, effused, or was crushed out. The compact iron blooms were processed by smiths, by hammering various iron objects. This ancient technology of iron production could be specified with modern term as a direct or straight method of steel production.

This direct way of iron making has almost been forgotten by now, its original form only survived among some natural folks. Luckily, there has been a growing interest in historical and technological dis-

ciplines -mostly in western countries- to reproduce ancient objects, events, methods or processes. The present paper intends to contribute to this progression, by presenting the technological relations, and the possibilities of genuine reproduction of Conquest Period iron smelting.

In Hungary, medieval iron production was mainly tackled from the perspective of industrial archaeology until now; however, it is obvious that the overall topic cannot be completed by using purely archaeological tools and methods. During archaeometrical surveys the structural analyzes of iron artefacts (tools, slags, in some cases the wall pieces of furnaces) were completed. The fusion of industrial archaeology and archaeometrical studies brought the appearance of archaeometallurgy, which is an intense research field throughout Europe today. Beside the routines of industrial archaeology and archaeometry, the technology of iron bloom smelting can also be surveyed with the help of experimental reconstruction models, during which, the main aim is the re-building of the furnaces, and the documentation of physical-chemical and metallurgical processes during the iron production.

In Hungary, previously the iron smelting experiments brought only limited success. In most cases, they were neither contemporaneous, nor reproductive, and the technological parameters of success were unknown. There were no possibilities to analyze the processes in the furnaces. The present discussion primarily aims at recovering these deficiencies.