

Rekonstrukciós kísérletek a 10. századi fajszi típusú bucakemencében

Smelting experiments in the fajszi type furnace (10th cent.)

THIELE Ádám, doktorandusz¹, Dr. DÉVÉNYI László, tanszékvezető egyetemi docens²

¹BME, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111 Budapest, XI. Bertalan L. u. 7. MT épület,
Tel: +36-1-463-1115, e-mail: thiele@eik.bme.hu, www.att.bme.hu

² BME, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111 Budapest, XI. Bertalan L. u. 7. MT épület,
Tel: +36-1-463-1366, e-mail: devenyi@eik.bme.hu, www.att.bme.hu

ABSTRACT

In the past decades numerous avar and Árpád-age bloomery centrums were excavated by industrial archaeology in Hungary. This kind of industrial archaeological work is the base of recent study, which is about our smelting experiments carried out in the so-called fajszi-type furnace (10th cent.). From these experiments the parameters of the technology (i.e. temperature, gas-composition) were measured and the used iron ore, the resulting slag and iron-bloom samples were examined (i.e. chemical, metallographic and mineralogical analysis).

ÖSSZEFOGLALÓ

Az elmúlt évtizedekben számos avar és Árpád-kori vaskohászati centrumot tárt fel az iparrégészet Magyarország területén. Ez az iparrégészeti munka adja az alapját a jelen írásnak, amely a 10. századi ún. fajszi-típusú bucakemencében elvégzett rekonstrukciós kísérleteket, az ezek közben történt mérések (hőmérséklet, gázösszetétel), illetve a kísérletek során felhasznált gyepvasércek és a kapott vassalakok, illetve vasbucák anyagvizsgálatának eredményeit mutatja be.

Kulcsszavak: rekonstrukciós kísérletek, vasbuca, vasbucakohászat, archeometallurgia

1. BEVEZETÉS

A fajszi-típusú bucakemencét egy műhelygödör oldalfalába bemélyítve alakították ki az őskohászok. A faszéntüzelésű aknás kemence magassága mintegy 90cm, belső átmérője a toroknál 15cm, a medencénél 35cm körüli volt, tüzeit kézi fújtatóval szították.[1]

A bucakemencékben könnyen összegyűjthető gyepvasércet kohósítottak, melyet a felhasználás előtt pörköltek. A bucakemence felső szakaszán a redukáló atmoszféra hatására a porózus gyepvasérc szilárd vasoxidjaiból színvas szemcsék keletkeztek. A vasszemcsék a meddő és a maradék vasoxid (főleg wüstit) salakká olvadásakor a bucakemence alsó részén összehegedtek. Azért, hogy az olvadt salakot elválasszák a vasbucától, rendszeresen salakcsapolást végeztek. Az elérhető kis kohászati hőmérséklet mellett a vas nem olvadt meg, ezáltal karbontartalma sem növekedett meg túlzottan. A 10-15órán át tartó művelet eredményeként így alakult ki a medencében a szivacsos szerkezetű, salakos vasbuca, amelyet az újraizzító tűzhelyen többször felhevítettek és átkovácsoltak. [2],[3],[4],[5]

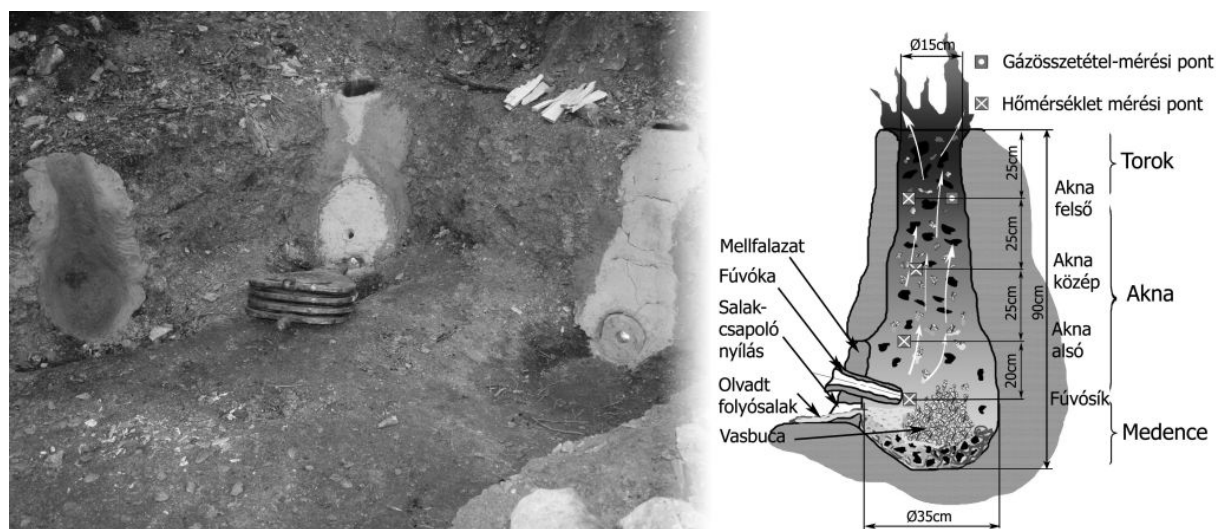
2. CÉLOK ÉS MÓDSZEREK

Az elvégzett rekonstrukciós kísérletek legfőbb célja volt részleteiben megismerni, hogy a középkorban nagy értéket képviselő vasanyagot vajon hogyan állították elő a korabeli kohászok, a vaskohászati technológia milyen paraméterei, a betétanyagok milyen mennyisége és minősége mellett keletkezik vasbuca?

Kísérleti régészeti eszközök felhasználásával elvégzett próbakohósítások négy, Magyarország területén található gyepvasérclelőhelyről összegyűjtött gyepvasércel folytak. A felhasznált gyepvasércmintákon röntgendiffrakciós és vegyelemzéses vizsgálatok történtek (ICP és XRF spektroszkópia). Néhány kísérlet folyamán a technológiai paraméterek mérésére is sor került (beadott

betétanyagok mennyisége, idő és hőmérséklet Pt-PtRh hőelemes mérése, gázminta-vételezés a bucahó torkából majd gázkromatográfiás vizsgálat). Az eredményes kísérletek után a kapott vassalak mintákon röntgendiffrakciós és vegyelemzéses vizsgálatok (ICP spektroszkópiával), a vasbucákon, a belőlük kikovácsolt vastárgyakon és néhány további salakmintán metallográfiai vizsgálatok illetve elektronmikroszkopos (SEM-EDX) vizsgálatok történtek. Az 1. ábra baloldala egy rekonstruált műhelyödröt és a benne kialakított fajszi-típusú bucakemencét mutat. Az ábra jobb oldalán a bucakemence főbb részei és méretei láthatók.

Európa-szerte számos országban végeznek sikeres rekonstrukciós kísérleteket az adott ország területén feltárt bucakemecékben. Magyarországon imolai- (11-12.sz) és nemeskéri-típusú (9-10sz.) bucakemecékben történtek korábban próbakohósítások, azonban a hazai kísérletek során vasbucát előállítani nem sikerült. Sok elszigetelt afrikai népcsoportnál a bucahászati technológia még napjainkban is megfigyelhető.



1. ábra.

Rekonstruált bucakemencék és a fajszi-típusú bucakemence felépítése

3. KÍSÉRLETI, MÉRÉSI ÉS ANYAGVIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A négy gyepvasérclelőhelyről (a Nyírségből: Kék-Kálló-völgye és Fancsika, Somogyból: Somogyszob és Petesmalom) származó gyepvasércek közül csupán a nagy vastartalmú petesmalmi ércből sikerült a kísérletek során vasbucát előállítani. A különböző lelőhelyek gyepvasérc mintáin elvégzett röntgendiffrakciós vizsgálatok segítségével meghatározható volt a gyepvasérceket alkotó kristályos fázisok mennyisége. A vegyelemzési eredmények a minták kémiai összetételéről adnak felvilágosítást. A két anyagvizsgálati módszer eredményeit az 1. táblázat foglalja össze. A kohósítás szempontjából a gyepvasércek két legfontosabb hátrányos tulajdonsága a kis vastartalom, és a sokszor nagy foszfortartalom (amely általában kék színéről jól felismerhető vivianit, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ásvány formájában jelentkezik [6]).

1. Táblázat: Gyepvasércminták fázis és kémiai összetétele

Gyepvasérc- minta	Fázis összetétel (%)						Kémiai összetétel (%)						ΣFe
	Quar	Calc	Goet	Musc	MntA	ChmA	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	H ₂ O	
kék-kállóí	30	-	60	-	-	-	42..54	28..30	0	0	N.a.	5..6	29..38
fancsikai	6	-	75	-	10	-	27..67	17..60	0..5	5..6	5	4..9	19..47
somogyszobi	20	10	45	10	-	15	46..61	14..32	6..17	3..8	3	6..8	32..43
petesmalmi	3	-	90	-	-	-	80..82	3..5	0..3	0..1	7	9..11	56..58

Megjegyzés: Quar – Kvarc (SiO₂); Calc – Kalcit (CaCO₃); Goet – Goethit (FeO(OH)); Musc – Muscovit (KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH,F)2); MntA – Montmorillonit((Ca,Mg)_{0,6}Al₂Si₄O₁₀ (OH)₂ H₂O); ChmA – Chamosit (Fe_{1,7}Mg_{0,2}Al_{0,8}(Si_{1,2}Al_{0,8})O₅(OH)₄).

A sikeres próbakohósítások során a kb. 2 órán át előfűtött, izzó faszénnel teli bucakemencébe pörkölt gyepvasércet adagoltunk a torkon keresztül, majd erre az elegyoszlop süllyedésének megfelelően faszenet. A faszén/érc arány 1:1 körüli, egy adag faszén és egy adag érc tömege kb. 0,7kg volt. Mindeközben kézi fűjtatóval mintegy 150-200liter/perc térfogatáramban fűjtünk be levegőt a fúvókán keresztül (ld. 1.ábra). Egy gyepvasércadagnak a bucakemence torkától a medencébe való lesüllyedéséhez az időmérések eredményei alapján hozzávetőlegesen 50-70 perc volt szükséges a fűjtetés intenzitásától függően. A kísérletek során az első ércréteg terítésétől számított 3-4 óra elteltével a medencében összegyűlt olvadt salakot egy a mellfalazaton, a fúvóka alatt ütött lyukon keresztül kicsapoltuk (később ezeken a salakmintákon végeztük el az anyagvizsgálatokat). A próbakohósítások időtartama általában 5-7 óra volt, ez alatt kb. 10kg ércet adagoltunk a bucakemencébe, amelyből 1,5-2 kg-os vasbucákat tudtunk előállítani.

A néhány próbakohósítás alkalmával a bucakohó négy pontján (akna felső, középső és alsó részén, illetve a fúvósíkban) hőmérsékletméréseket, az akna felső részén pedig gázösszetétel-méréseket végeztük (a mérési pontokat ld. az 1. ábrán). A 21. számú próbakohászat során végzett mérések eredményeit a 2. táblázat foglalja össze.

2. Táblázat: Hőmérséklet és gázösszetétel mérési eredmények (21. számú próbakohósítás)

idő (perc)	Gázösszetétel az akna felső részén (vol%)					Hőmérsékletek (°C)			
	H ₂	N ₂	CO	CH ₄	CO ₂	Akna felső	Akna közép	Akna alsó	Fúvósík
0	8,36	64,26	24,67	1,17	3,09	450	840	1160	1380
28	3,04	69,56	26,15	0,12	4,72	550	840	1170	1270
55	2,47	71,26	26,67	0,00	4,29	570	850	1210	1370
79	4,96	61,40	27,81	0,43	9,25	540	850	1140	1340
127	5,45	69,17	26,85	0,46	7,67	530	960	1190	1380
189	2,65	72,53	25,62	0,00	7,43	480	870	1160	1420

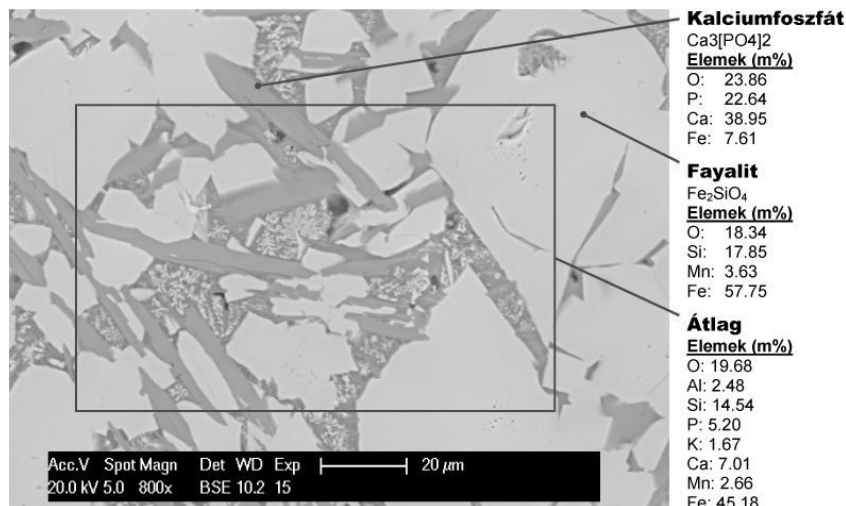
Megjegyzés: Az idő mérése az első ércréteg terítésekor kezdődött

Az egyes gyepvasérclelőhelyekről származó ércek próbakohósítása után a kicsapolt salakmintákon elvégzett röntgendiffrakciós és vegyelemzéses vizsgálatok eredményét a 3. táblázat foglalja össze. Néhány salakminta elektronmikroszkopos vizsgálatával a röntgendiffrakcióval kimutatott fázisokon kívül nagy mennyiségben találtunk kalciumfoszfát fázist is (ld. 2. ábra).

3. Táblázat: A rekonstrukciós kísérletek során kapott vassalakok fázis és kémiai összetétele

Azonosító	Fázis összetétel (%)			Kémiai összetétel (%)					ΣFe
	Fayl	Quar	Glass	SiO ₂	CaO	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	
kék-kálló-völgyi érc salakja	35	3	55	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.
fancsikai érc salakja	10..20	0..5	75..90	22..32	10..13	27..33	2..3	2..3	20..24
somogyszobi érc salakja	-	20	75	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.
petesmalmi érc salakja	0..50	10..15	30..85	45	12	25	4	3	19

Megjegyzés: Fayl – fayalit (2FeO.SiO₂); Quar –Kvarc (SiO₂); Glass – amorf fázis



2. ábra.

Petesmalmi gyepvasérc kohósításából származó folyósalakminta SEM-EDX vizsgálatának eredménye

A sikeres rekonstrukciós kísérletek során nyert vasbucák átkovácsolása során melegtörékenységet tapasztaltunk. A kikovácsolt vastárgyak hidegen nagyon kemények és ridegek voltak. Ezeknek a problémáknak az okára a később a vasbucákon és a belőlük kikovácsolt vastárgyakon elvégzett metallográfiai vizsgálatok derítettek fényt: az előállított vacbucáink két jellemző szöveteleme a ferrit és az 1083°C olvadáspontú vas-vasfoszfid eutektikum (P = 9,5wt%) volt. A ferritben szintén jelentős mennyiségű (P = 1-2wt%) oldott foszfort mutatott ki az elektronmikroszondás vizsgálat.

Egyes kísérletek során 1000liter/perces levegő térfogatáram és 1,5:1 faszén/gyepvasérc tömegarány mellett már nagy karbontartalmú, perlites-lédeburitos-lemezgrafitos szövetszerkezetű vasrögök megjelenését tapasztaltuk.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A meghatározott technológiai paraméterek mellett (faszén/érc 1:1 tömegarány, ismertett bucakemence geometria, 150-200liter/perc levegő térfogatáram) előállítható vasbuca, azonban ennek anyagminősége nagyban függ a technológiai paramétereiktől.

A rekonstrukciós kísérletek tapasztalatai alapján kijelenthető, hogy a kis vastartalmú gyepvasérc kohósítása során rossz vaskihozatal érhető el. A vaskihozatal tovább rontja a technológia azon sajátossága, hogy a vastartalom jelentős része a salakba kerül kémiaiilag a fayalithoz kötve. Ugyanakkor a salak nagy vastartalmának köszönhető annak alacsony olvadáspontja, könnyű kezelhetősége is.

A gyepvasérc nagy foszfortartalmú ércek. A foszfor a vassalakokba, sőt a vasbucába is bekerül és rosszabb esetben melegtörékenységet, jobb esetben csak nagy keménységet és ridegséget okoz.

A jövőbeli kutatások fő iránya a technológiai paraméterek hatásának vizsgálata a vasbuca anyagminőségére.

IRODALOM

- [1] Gömöri J.: Az Avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannóniában, Sopron, 2002
- [2] Pleiner R.: Iron in Archeology, Praha, 2000
- [3] Tylecot R. F.: The Prehistory of Metallurgy, London, 1986
- [4] Thiele Á.: A földtől a vastárgyig – a vasbucakohászat metallurgiája, BKL Kohászat folyóirat, 2011/1
- [5] TÖRÖK B.: 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. Študijné Zvesti Archeologického Ústavu Slovenskej Akadémie Vied. Nitra. 1995
- [6] Molnár F.: Molnár F.: Ércek, salakok, fémek, A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat, 74. kötet, Miskolc, 2008