

Nagyméretű ékelt avar kori vasbucamásolat készítésestechnológiája

2026. szeptember 16-20., Somogyfajsz-Libickozma

1. Bevezetés

A korábban a petesalmi halastó fenekéről könnyen gyűjthető¹ nagy vastartalmú de aprószemű, áthalmazott biogén gypvasérc granulációs technikával elvégzett próbakohósítások szintén a nagyméretű ékelt avar kori vasbucamásolat készítésestechnológiájának rekonstruálását szolgálták². Bár az alkalmazott, kevés oltottmással való keveréssel történő granulációs technika nem volt korhű, ilyesmit a korszakban bizonyára nem végeztek a vaskohászok, ezzel a technikával lehetőség volt egyfajta „ideális vasércmodell” előállítására, mind az ideális szemcseméret (kb. 2-3cm-es granulák), mind pedig az ideális kémiai összetétel (nagy vastartalom, enyhén bázikus karakterisztikájú meddő, amely a kohósítás során meggátolta a gypvasércben lévő foszfor túlzott dúsulását a vassfázisban, így a vasbuca nem válik melegtörékennyé) vonatkozásában. Egy 38cm-es belső átmérőjű átlagos avar kohó másolatában háromszor elvégzett próbakohósítás eredményeképpen kapott többször újraizzított és ékelt vasbucák kb. 9-10 kg tömegűek és kb. 5,1 g/cm³ sűrűségűek lettek.

A jelen írásban bemutatott kísérletek célja az volt, hogy a nem korhű, oltott mással végzett granulációs technika mellőzésével egy másik somogyi gypvasérclelőhely ércének kohósításával jussunk el a nagyméretű, ékelt avar kori vasbucamásolatig.

2. Gypvasérc lelőhely Libickozma közelében

A Libickozma közelében található Aranyos-patak medrében évek óta látókörynkben vannak a patak által átvágott biogén gypvasérc lencsék³. Ezek egyikét kifejezetten jól ismerjük, mintegy 20 alkalommal kohósítottuk korábban az innen származó ércet. A patak által feltárt lencse vastagsága kb. 20-30cm, hossza kb. 10-15m, a benne található vasérc kémiai összetétele a korábbi, a Dunai Vasmű Spektrometriai Főosztályán elvégzett XRF mérések alapján összetétele az 1. táblázatban látható, az 1. ábra pedig a lencsét, ill egy gypvasérc darab közeli fotóját mutatja.

1. Táblázat: A libickozmai gypvasérclelencséből vett minták kémiai összetétele a főbb oxidokra (fentről lefelé haladva)

Minta	Libickozma (lencséből vett minták fentről lefelé)							
	Főbb oxidok tömeg %-ban							
	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MnO	P ₂ O ₅	As ₂ O ₃	Összes
1	42,30	25,30	1,80	18,40	3,77	1,24	0,03	92,84
2	73,50	9,30	0,48	9,10	1,30	3,32	0,32	97,32
3	62,20	13,30	0,50	8,90	8,80	2,60	0,21	96,51
4	60,10	20,40	0,75	3,17	10,70	2,83	0,24	97,19



1. Ábra: A patak által feltárt biogén gypvasérc lencséből kivett darab (baloldalon). Közeli fotó a gypvasérc jellegzetesen gumós makroszerkezetéről (jobboldal)

¹ Videó a gypvasérc lelőhelyről: <https://www.youtube.com/watch?v=ZQtbUuwsnX0>

² Ezekről a kísérletekről szól ez a szakcikk: https://www.bucavasgyuro.net/data/publikaciok/Folyoi+konfk/2024SIM_Avar%20vaskohaszat.pdf, az egyik kísérletről szóló youtube videó pedig itt tekinthető meg: <https://www.youtube.com/watch?v=dNyvs-zCLSA>. A kísérletek a petesalmi vidrapark egyik halastavában talált 9,3kg-os, 5,1kg/cm³ sűrűségű vasbucalelet másolatának elkészítését célozták.

³ Libickozma közelében, az Aranyos-árokban ilyen biogén gypvasérc feltáródásait mutatja be az alábbi videó: <https://www.youtube.com/watch?v=F-0nmlrUoD4>.

A helyszínen gyűjtött biogén gyevasérc lencséből származó érc jellegzetesen gumós makroszerkezetű, tulajdonképpen a petesalmi áthalmozott gyevasérchez nagyon hasonló vas-mangán gumókból áll, azonban még lazán összecementálódva (az Aranyos-patak medrében megfigyelhető a víz által elhordott biogén gyevasérc lencsék anyagából lerakott, a petesalmihoz hasonló gyevasérc gumókból álló hordalékkúpok, övzatonyok). A libickozmai gyevasérc a petesalmihoz képest valamivel kisebb vastartalmú, meddőjében jellemzően magasabb SiO_2 és CaO tartalommal. A petesalmi áthalmozott gyevasérc kémia összetételét a 2 táblázat mutatja.

2. Táblázat: A petesalmi gyevasércből vett minták kémiai összetétele a főbb oxidokra

Minta	Petesmalom						
	Főbb oxidok tömeg %-ban						
	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MnO	P_2O_5	Összes
1	83,00	5,74	0,39	2,22	1,73	5,08	98,16
2	82,40	4,19	0,28	2,39	3,79	5,04	98,09
3	78,20	9,04	0,65	2,54	1,63	5,46	97,52
4	73,90	9,55	0,86	3,56	1,75	7,23	96,85

Kb. 200kg-nyi gyevasércet gyűjtöttünk, amelyet „natúr” állapotban, pörkölés nélkül aprítottunk (nagyon könnyen törhető, szinte morzsolható volt) és frakcionáltunk. Az aprítás és frakcionálás után a 3. táblázatban látható az egyes frakciók tömegszázalékos aránya, a 2. ábrán pedig az egyes frakciókupacok szerepelnek.

Itt fontos megjegyezni, hogy a korábbi pörkölési kísérletek során azt tapasztaltuk, hogy ez a gyevasérc kb. 1/3 arányban tartalmaz vizet (tapadt és kötött nedvesség), tehát ennyi lenne az izzítási veszteség (LOI % - Loss on Ignition). A közvetlenül kohósított 6-25mm-es frakció mintegy 2/3 részt tett ki, azért hogy az 1/3 részt kitevő finomszemcsés 0-6mm-es frakció ne vesszen kárba, annak egy részét kevés vízzel keverve granuláltuk (3. ábra). A poros frakció a formázhatósághoz kellően agyagos volt.

2. Táblázat: A libickozmai gyevasércből aprítás és frakcionálás után előálló frakcióarányok

A frakciók tömegszázalékos aránya aprítás és frakcionálás után				
Frakciók szemcsemérete (mm)	12-25	6-12	4-6	0-4
Arány tömeg%-ban (%)	48	16	12	24



2. Ábra: A libickozmai gyevasércből aprítás és frakcionálás után előálló frakciók. Balról jobbra: 24-12mm, 12-6mm, 4-6mm, 0-4mm.



3. Ábra: A kísérletekhez használt 6-25mm-es szemcseméretű gyevasérc és a 0-6mm-es frakcióból kevés víz hozzáadásával készült granulák.

3. Kohósítások

Két kohósítást végeztünk el egy 38cm-es legnagyobb belső átmérőjű avar kori kohó másolatában, amelynek geometriája szinte teljesen megegyezett a korábbi kísérletekben használtával (ld. 4. ábra).

A technológiai paraméterek is a korábbi kísérletekéihez hasonlóak voltak, a kézi fújtatóval kb. 500l/perces levegő térfogatárammal történt a fújtatás és a fúvóka 2,5cm belső átmérőjű volt. Az első kísérletben a fúvóka a medencefenékhez képest 34cm-es, a másodikban 32cm-es magasságban helyezkedett el. Mindkét kísérletnél a vasérc 6-24mm-es frakcióját kohósítottuk, az elsőnél 25%-os, a másodiknál 16%-os tömegarányban adagolva hozzá a 0-6mm-es frakcióból kevés vízzel granulált ércet (ld. 4. ábra)⁴. A vasércbetét az első kohósításnál 88kg, a másodiknál 75kg volt. A kohósításhoz használt faszén szemcsemérete 25-50mm volt, amelyhez egy kevés 12-15mm-es szemcseméretű frakciót is kevertünk, nehogy a vasérc aprószemű frakciója átperegjen a kohón. Az első kísérletnél a faszén aránya a szokásos 1:1-hez képest kicsit nagyobb, 1:1,2 volt (ez a pörköletlen érc miatt volt, de a második kísérletnél már vizatértünk az 1:1-es arányhoz). A korábbi kísérletekhez képest érdekes megfigyelés, hogy a 6kg-os adagidők rövidebbek voltak, kb. 47p helyett mindössze kb. 35p-esek. Ennek okát nem tudjuk pontosan, elképzelhető hogy a fújtatás volt intenzívebb, esetleg a faszén extrém száraz (a hónapok óta tartó aszály miatt). A szárazabb faszénnel elért valamivel nagyobb fúvósík feletti (30cm-es magasságban mért) hőmérsékletek is erre utalnak. A második kohósítás során mért alacsonyabb hőmérséklet oka valószínűleg a csökkentett faszén:vasérc arány volt.

Az első kohósítás végén a kapott vasbuca nagyon sűrű és magas volt, nem tudtuk korong alakúra betömöríteni, ezért nem próbálkoztunk meg az újraizzításával és ékelésével. A tömörített vasbuca 13kg-os és 4,7g/cm³-es sűrűségű lett. Ennél a bucánál kis mértékű, melegtörékenységi volt megfigyelhető (a libickozmai vasérc esetén a vassziszban a foszfor mellett inkább az arzén dúsulása okozza a melegtörékenységet⁵). A tapasztalatok alapján a második kohósítást kevesebb vasércel és csökkentett faszén:vasérc aránnyal végeztük (továbbá a kohósított vasércben voltak nagyobb szemcseméretű darabok is, kb. 30mm-ig), azért hogy az érc is mértékű túlredukálódását elkerüljük, és inkább alulredukáljuk⁶. Az apró technológiai módosítások beváltak, a kapott vasbuca jól tömöríthető volt, a tömörítés végére szép, korong alakú lett, melegtörékenységet nem tapasztaltunk, 11,5kg-os lett (sűrűséget nem mértünk). Ezt a bucát közvetlenül a tömörítés után kétfújtatós kovácstűzben többször újraizzítottuk, tovább tömörítettük és ékeltek. Az ékelte vasbuca 8,7kg és 5,9g/cm-es sűrűségű lett, hasonlóan a korábbi kísérletek során kapott ékelte vasbucákhoz.

Mindkét kohósítás végén lemértük a kohóban visszamaradt salakmedve és a kicsapolt folyósalak tömegét. A salakmedvéket illetően megfigyelhető volt, hogy az első kohósítás esetén a medve színe zöldes-szürkés, míg a második esetén inkább szürkés-fekete volt, ami az érc túl- és alulredukálódásával van összefüggésben (kisebb ill. nagyobb vastartalom), továbbá szintén erre utal a közel megegyező összes salaktömeg, annak ellenére, hogy a második kohósításnál kb. 15%-kal kevesebb volt a felhasznált vasérc. Mindkét salakmedve hatalmas volt, teljesen kitöltötte a kohó medencéjét (hátrafelé is), és mindkettőnél jól megfigyelhető volt az a fészek, amelyben a vasbuca növekedett (az elsőnél szűkebb volt ez a fészek, valószínűleg a kisebb vastartalmú, viszkózusabb salak miatt). A salakmedvéket a 6. ábra mutatja.

Az első kohósításnál a 88kg-nyi vasérc beadagolásával elértük a kohó maximális kapacitását. A kohósítás végén már folyamatosan salakot kellett csapolni, mert a salaknak nem volt több hely a kohóban, emiatt nem adagoltunk be több vasércet. A másodiknál egy véletlen salaktorlódás miatti kis mennyiségű folyósalakcsapoláson kívül a salakkal nem volt tennivaló, az alulredukálás miatt keletkező többletsalak ellenére pár kg-nyi vasérc még kohósítható lett volna.

A petesalmi gypvasérc granulációs technikával történő kohósításával és a libickozmai gypvasérc kohósításával kapott vasbucák a 7. ábrán láthatók. A kétféle érc kohósítását összehasonlítva látható, hogy a libickozmai vasérc nagyobb meddőtartalma miatt esetében a vonatkozó kihozatali értékek némileg kisebbekre adódtak, illetve az is látható, hogy a nagyobb tömegű vasérc kohósításával értük csak el a kohó kapacitásának határát. Ennek feltételezhető oka a libickozmai vasérc nagyobb víztartalma volt.

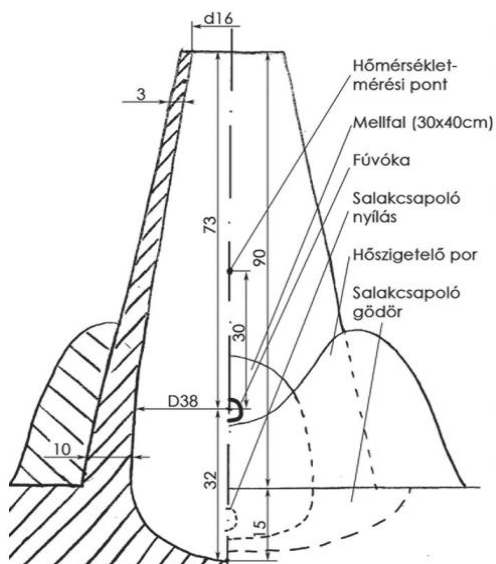
⁴ A második kísérletben inkább csak a 0-4mm-es frakciót granuláltuk, mert az könnyebben ment, a 4-6mm-es frakció kohósítását mellőztük, féltünk, hogy gyorsan leperog a durva szemű faszén miatt. Ez granulációs technika a poros frakció nagyon egyszerű és praktikus felhasználását teszi lehetővé és a korábbi oltott meszessel szemben korhűnek is tekinthető.

⁵ A korábbi próbakohósítások során libickozmai vasércből nem foszforvasat, hanem inkább arzénvasat kaptunk, ld. ezt a beszámolót:

https://www.bucavasgyuro.net/data/esemenyek/2012_Zamardi.pdf

⁶ A túl- és alulredukálás fogalmának magyarázatát ld. a korábban is linkelt szócikk 224. oldalán:

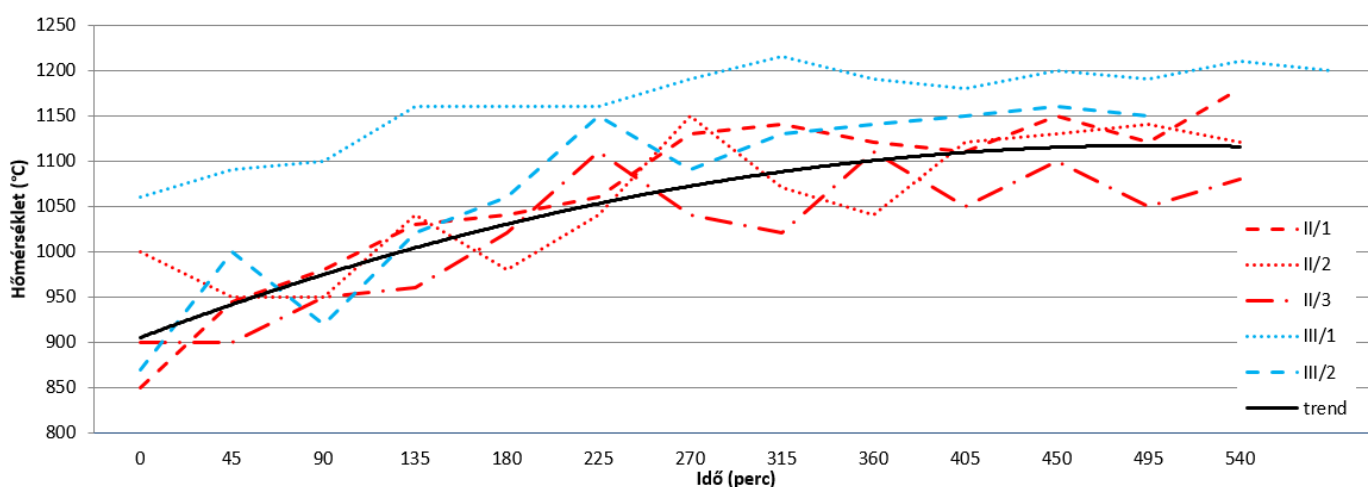
https://www.bucavasgyuro.net/data/publikaciok/Folyoi+konfk/2024SIM_Avar%20vaskohaszat.pdf



4. Ábra: A kísérletekhez használt avar kohómáslolat. Baloldalon: főbb méretek. Középen: a kohó mellfal nélkül kohósítás előtt. Jobboldalon: a kohó üzem közben.

3. Táblázat: A petesalmi és a libickozmai gypvasércsel elvégzett kohósítások adatai

Jellemzők			Kísérlet sorszáma (petesalmi)			Kísérlet sorszáma (libickozmai)	
			II/1	II/2	II/3	III/1	III/2
Betétek	Vasérc (kg)		55	50	50	88	75
	Granula (kg, %)		63, 100%	60, 100%	60, 100%	25%	16%
	Faszén (tömegarány és kg)		1:1, $\Sigma 78$	1:1, $\Sigma 72$	1:1, $\Sigma 72$	1:1,2, $\Sigma 120$	1:1, $\Sigma 90$
	Levegő (l/perc)		kb. 500 l/perc			kb. 500 l/perc	
Időtartamok	Előfűtés (óra, perc)		2 ó fa + 30p faszén			3 ó fa + 30p faszén	
	Adagolás (óra, perc)		8 ó 30p	7 ó 45p	8 ó 20p	9 ó 30p	8 ó
	6kg-os adagidők (perc)		48	47	49	36	33
	Lefűjtetés (perc)		30	30	40	30	
Termékek	Vas	Buca az első tömörítés után (kg)	12,8	11,2	12,1	13	11,5
		Sűrűség (g/cm ³)	4,3	-	-	4,8	-
		Leesett vasdarabok (kg)	0,5	2,1	1,4	0,5	1,2
		Kipurgált, ékelt vasbuca	9,2	8,7	9,9	-	8,7
		Sűrűség (g/cm ³)	5,1	4,9	5,2	-	5,1
	Salak	Salakmedve (kg)	23,2	14,3	12,1	23,5	25,5
		Folyósalak (kg)	8,5	12,5	10,7	4,5	3
		Újraizzótó salak (kg)	3,1	3,2	1,2	-	-
Kihozatal	Tömörített bucára és vasdarabokra (%)	Vasércre (%)	24	27	27	15	17
		Granulára (%)	21	22	23	-	-
	Kipurgált, ékelt vasbucára	Vasércre (%)	17	17	20	-	12
		Granulára (%)	15	14	17	-	-



5. Ábra: Hőmérsékletmérési adatok a fúvósak felett 30cm-es magasságban



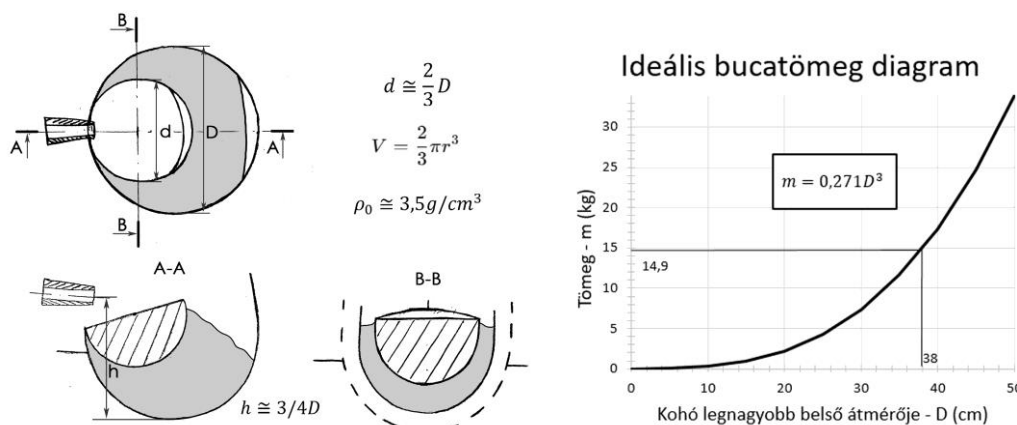
6. Ábra: Az első és a második próbakohóstítás salakmedvéi és vasbucái (a másodiknál a mellfal is egyben maradt).



7. Ábra: Ékelt vasbucák (az első három petesmalmi vasércből, a negyedik libickozmaiból)

4. Értékelés

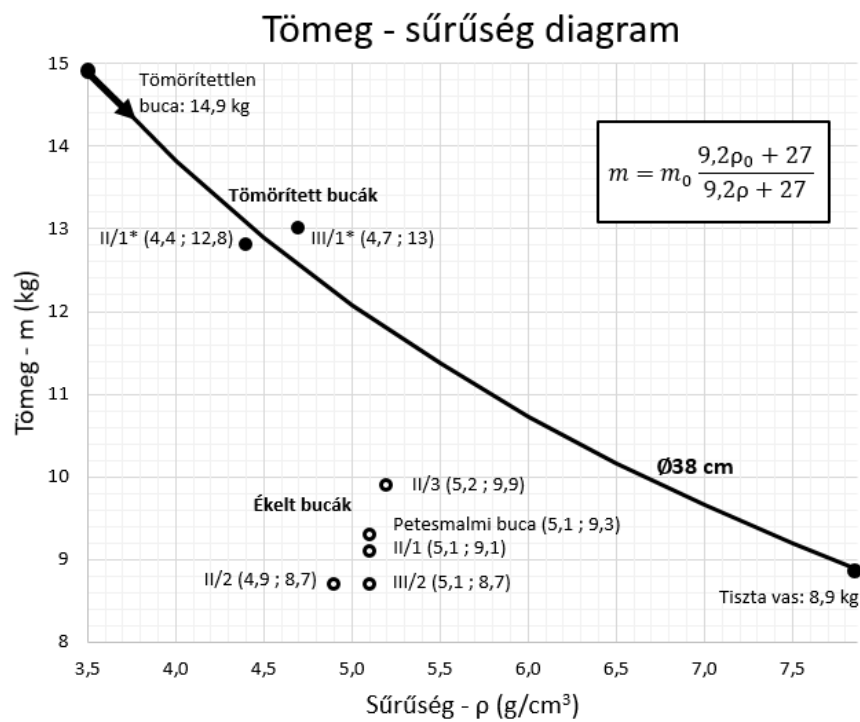
Tekintve a korábbi kohókimaxolás téma⁷ kapcsán bemutatott elméleti összefüggést (8. ábra) és a vasbuca tömörítése során felrajzolható elméleti tömeg-sűrűség diagramot (9. ábra)⁸ látható, hogy egy 38cm-es legnagyobb belső átmérőjű kohóban ideális esetben elméletileg egy 14,9kg-os vasbuca alakul ki, amelynek tömege 13kg körülire csökken az első tömörítés utáni állapotra jellemző kb. 4,5g/cm³-es sűrűség esetén. A II/1 és III/1 kísérletek tömörített vasbucái jól illeszkednek az elméleti tömeg-sűrűség diagramra. Az újraizzítások során tovább tömörített és ékelt, kb. 5g/cm³-es sűrűségű vasbucák tömegei azonban a diagramból becsülthöz képest 2-3kg-mal kisebbre adódnak, ennek feltételezhető oka a sokszori újraizzítás során fellépő leégési veszteségek (burn of loss). Jól látható azonban, hogy a petesmalmi régészeti buca tömeg-sűrűség adataival jó egyezést mutatnak a kísérletileg előállított bucákéi, így elmondható, hogy egy kb. 38cm-esbelső átmérőjű átlagos avar kohóban elő lehetett állítani a petesmalmi bucát is.



8. ábra: Elméleti összefüggés az ideális esetben a kohóban kialakuló vasbuca tömegére.

⁷ Ld. ebben az írásban a 9. ábra: https://www.bucavagyuro.net/data/publikaciok/egyeb/2023-11-30_Kohokimaxolas.pdf

⁸ Ld. ebben a szakcikkből a 9. ábra: https://www.bucavagyuro.net/data/publikaciok/Folyoi+konfk/2026AM_Density.pdf



9. ábra: Tömeg-sűrűség diagram egy vasbucsa tömörítése során a 38cm-es belső átmérőjű kohóban előállító ideális bucára vonatkozóan