

Kohókimaxolás

Ideális, nagyméretű vasbucák előállítása avar kohók másolatában

Bevezetés

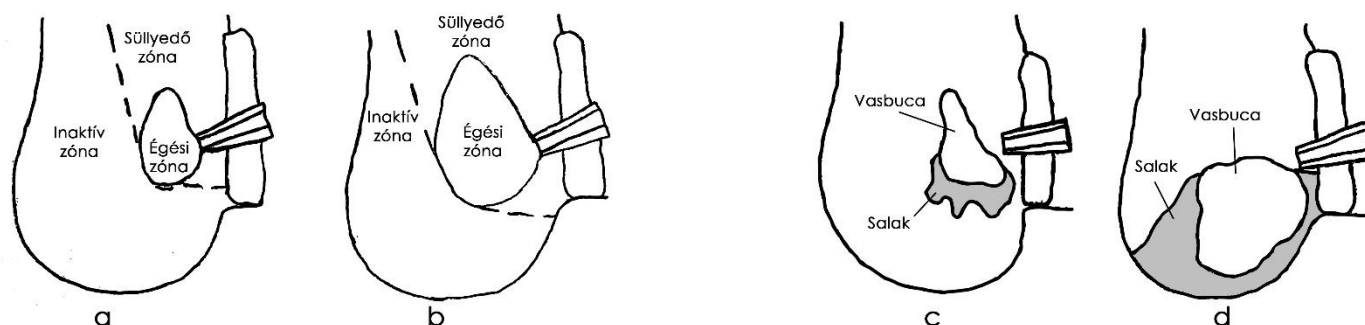
Ebben a beszámolóban az előző, 2023. augusztus-szeptemberi (a 43cm-es legnagyobb belső átmérőjű nemeskési avar kohó másolatában történt) kísérletek folytatásaként elvégzett újabb kohókimaxolós kísérletek eredményeit foglalom össze.

A kísérletek általános célja az volt, hogy egy az avar kori vaskohászatra jellemző nagyon kicsi (mindössze 25cm-es legnagyobb belső átmérőjű) kohóban (röviden 25-ös avar kohó) és egy átlagos (38cm-es legnagyobb belső átmérőjű) avar kohóban (röviden 38-as avar kohó) ideális, nagyméretű vasbucát állítsunk elő, így bemutatva, hogyan függ a kohó belső méreteitől a benne kialakuló vasbuca ideális mérete. Cél volt továbbá igazolni, hogy a korábban többször tárgyalt kb. 10kg-os, faszerszámokkal teljesen betömörített, késő avar kori ékelt vasbucákat elkészíthették egyetlen kohósításból is.

Részletesebb történeti-régészeti-technológiai háttér és a kísérleti előzmények olvashatók az előző, „Nagyméretű vasbuca előállítása szabadon álló avar kohóban” című írásban (ill. az ahhoz kapcsolódó videó itt tekinthető meg: <https://youtu.be/mhG1GdrBG7s?si=QA-cjWdZKwDzVlFF>).

Technológiai háttér

Az előző írásban részletesen volt szó a kohó metallurgiai zónáiról és ennek kapcsán arról, hogy a fúvóka előtt kialakuló nagy hőmérsékletű égési zóna alapvetően meghatározza az itt létrejövő vasbuca méretét. Az égési zóna mérete legegyszerűbben a befújt levegő mennyiségének és a faszén szemcseméretének növelésével növelhető (ld. 1. a és b ábra). Ilyenkor az égési zóna hátrafelé és lefelé is növekszik.



1. Ábra: a) és b) A kohó főbb metallurgiai zónái és az égési zóna méretének növekedése, c) Túlredukálódó vasérc esetén kialakuló vasbuca és salak. d) Alulredukálódó érc esete.

A legújabb kohókimaxolós kísérletek kapcsán a petesalmi vasérc natúr, poros állapotban történő felhasználása mellett is ideális méretű vasbuca előállítására törekedtünk a 25-ös, kisebb kohóban. Mivel ez a vasérc nagyon hajlamos a túlredukálódásra (ez általában igaz a porózus, laza szerkezetű gypvasércekre, de itt még a szemcseméret is nagyon apró), az ideális méretű vasbuca előállítása érdekében kulcsfontosságú volt, hogy el kellett érni, hogy az érc „alulredukálódjon”, azaz növekedjen az elsalakuló vas mennyisége, így sok híg folyós salak keletkezzen. Ez persze a vaskihozatal (az 1 kg ércből kinyerhető vas %-os aránya) csökkenése árán valósítható csak meg. Az 1.c ábrán látható, hogy túlredukálódó vasérc esetén kevés és sűrű salak keletkezik, ami nem tölti ki a kohó medencéjét (sokszor le sem folyik a medence aljáig, nemhogy hátrafolyna), a fúvóka előtt növekvő vasbuca pedig kicsi, magas, és laza szerkezetű, sokszor törékeny lesz. Az 1.d ábrán az alulredukálódás esete látható, amikor a sok, vasoxid-dús híg salak feltölti a kohó medencéjét, onnan a faszén kiszorítja, ezáltal helyet biztosít a vasbuca lesüllyedéséhez. Így nagyméretű, tömör vasbuca alakul ki, amely a fúvóka alatt növekszik. Ilyenkor a kohósítás időtartamát nagy vastartalmú érc esetén az első salakcsapolás szükségessége határozza meg (ilyenkor ugyanis a vasbuca már olyan nagy, hogy kitölti az égési zóna alját és a további beadott vasérc már jórészt elsalakul, így felgyorsul a salak keletkezése, amit előbb-utóbb ki kell csapolni), kis vastartalmú érc esetén pedig a vasbuca kellően nagyra növekedésekor ér véget a vasércadagolás, amit több salakcsapolás is megelőz.

Kísérleti eredmények

Három kohósítást végeztünk el a 25-ös avar kohóban és egyet a 38-asban. A kísérletekhez a szokásos petesalmi vasércet használtuk (80% Fe₂O₃, 7% P₂O₅, 6% SiO₂, 3% CaO, 2% MnO, 2% egyéb). A kisebb kohóban a vasércet „natúrban”, a többi kisedett aprószemű, földnedves állapotában 5%-nyi kvarchomokkal keverve kohósítottuk, a nagyobb kohóban pedig a korábban már bemutatott granulációs technikával 25%-nyi oltottmészsel keverve

(megfigyeltük, hogy a könnyebb granulálhatóság érdekében, korábban használt 5%-nyi – vaskihozatalcsökkentő hatású – agyag nem szükséges, 25-30%-nyi oltottmészsel ugyanolyan jól formázhatók a granulák). A faszén : vasérc (vagy granula) arány 1 : 1 volt. A petesalmi aprószemű vasércet mutatja az 2.a ábra, a belőle 25%-nyi oltottmészsel megformázott granulákat pedig az 2.b ábra.

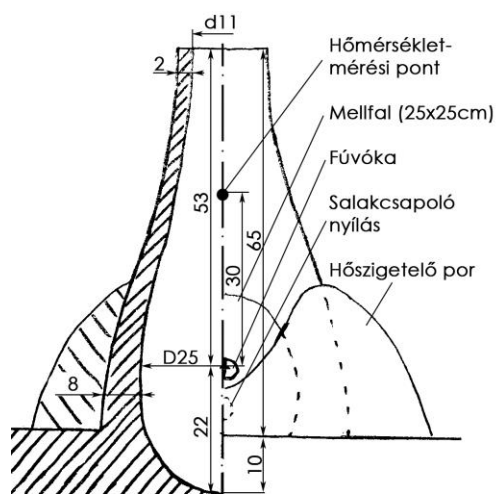


a



b

2. Ábra: a) A petesalmi aprószemű vasérc „natúrban”. b) 25%-nyi oltottmészsel formázott granulák



a



b

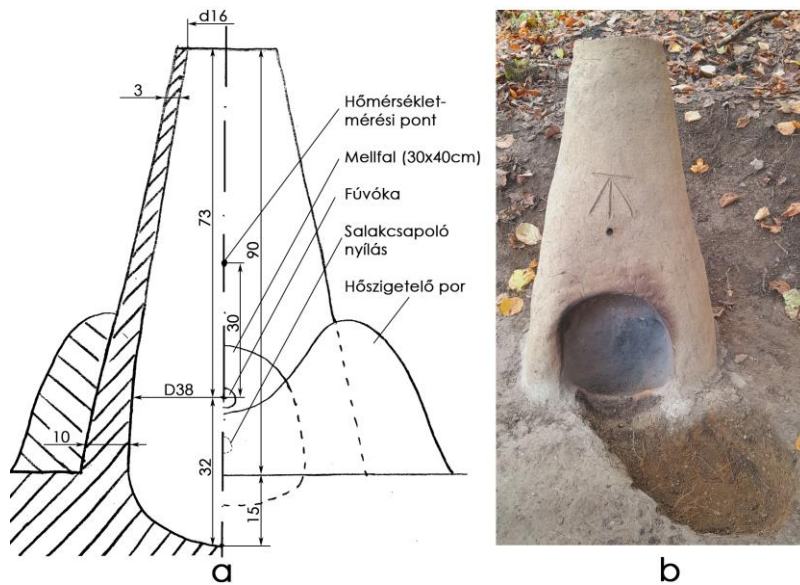


c

3. Ábra: a) A 25-ös (kisebb) avar kohó rajza félmetszet-félnézetben a főbb méretekkel. b) A kohó kitisztított állapotban (előtte salakcsapoló gödörrel). c) Üzem közben (mellfallal és a medencét körbe vevő hőszigetelő porral)

A 25-ös avar kohóban (ld. a 3. ábrán) az érc alulredukálódását a kohó geometriai kialakításával segítettük elő. A kohó keresztmetszete körte alakú, aknája szűk és alacsony volt (vö. bátaszéki avar kohók geometriája!), így a vasércnek nem állt rendelkezésre elegendő idő a túlredukálódáshoz (ezt a vasérc nedvességtartalma is elősegítette, ld. a 2. táblázatban a vasérc tömegvesztését szárítás és pörkölés után). A fúvóka felett mindössze 53cm-es magasságban volt a toroknyílás, amelynek belső átmérője csupán 11cm volt. A fúvóka alá süllyedő vasbuca számára elegendő mélységet biztosítandó, a fúvóka magassága a medencétől 22cm volt.

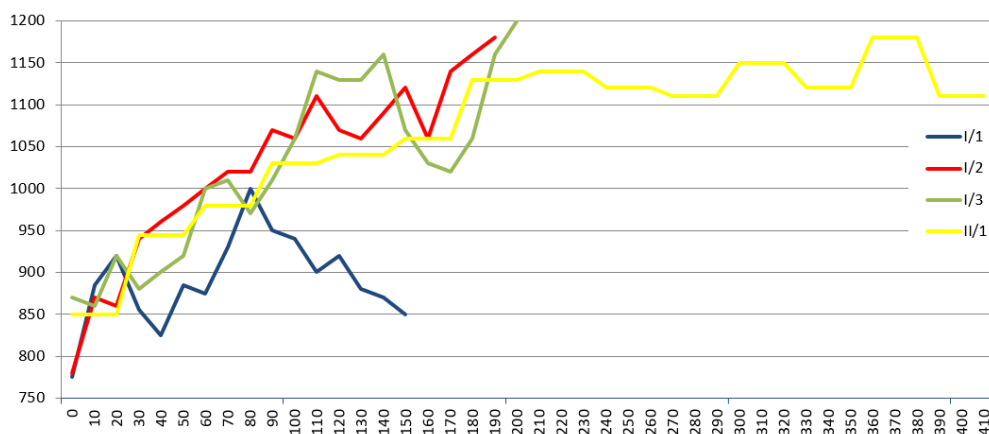
A nagyobb, 38-as kohó (ld. a 4. ábrán) esetén az alulredukálódást nem a kohó geometriája, hanem a granulációs technika okozta. A granulák 15-20g-osak voltak, de még nedves állapotban (ld. 2. táblázat) kerültek a kohóba, nem szárítottam ki őket. A granulák rossz redukálhatósága miatt itt a kohógeometriának túlredukálónak kellett lennie, ezért a kohó jóval magasabb volt (a fúvóka feletti magasság a torok nyílásáig 73cm volt), és a kohó nem körte, hanem a szokásos csanakakúp alakú volt, széles, 16cm átmérőjű torokkal. A fúvóka 32cm-es magasságban volt a medence aljától (a 25-ös kohóhoz képesti másfélszeres átmérőből adódott ennek az értéknek is a kb. másfélszeresre növelése).



4. Ábra: a) A 38-as (nagyobb) avar kohó rajza félmetszet-félmetszetben a főbb méretekkel. b) A kohó kitisztított állapotban (előtte salakcsapoló gödörrel).

1. Táblázat: A próbakohósítások adatai

	I/1	I/2	I/3	II/1
Vasérc	10kg natúr pet	18kg natúr pet + 5% homok	18kg natúr pet + 5% homok	55kg + 25% omész (69kg granulá)
Faszén	6-25mm	1 : 1 arányban 6-25mm : 25-50mm	1 : 1 arányban 6-25mm : 25-50mm	25-50mm
Levegő	vent1 (150l/p)	vent3 (250l/p)	vent3 (250l/p)	vent5 (350l/p)
Előfűtés	80p + 30p (hideg, nedves kohó)	45p + 30p	60p+30p	120+30p (hideg kohó)
Adagolás	175p	200p	220p	500p
Adagidő	3kg ércre: 40p, 55p, 55p	3kg ércre: 30p, 35p, 30p, 30p, 35p, 45p	3kg ércre: 35p, 35p, 35p, 40p, 35p, 40p	6kg granulára: 55p, 55p, 50p, 45p, 45p, 40p, 50p, 45p, 45p, 50p
Faszén égési sebessége	57g/p	90g/p	82g/p	138g/p
Átlaghőmérséklet	891°C	1028°C	1024°C	1053°C
Salakcsapolás	Háromszor, kb. 600g-os adagokban	nincs	A vége előtt kellett kb. 500g-nyit	nincs
Lefűjtetés	45p	25p	25p	40p
Tömör buca	1,7kg (+0,2kg szivacs)	3,5kg (+0,6kg szivacs)	4,6kg tömörítetlen (+0,7kg szivacs)	12,8kg
Buca mérete	10x8x7cm / 0,36liter	13x11x9cm / 0,75liter	16x15x14cm / 1,32liter	22x18x14cm / 2,95liter
Buca sűrűsége	4,72g/cm ³	4,68g/cm ³	3,49g/cm ³	4,36g/cm ³
Összes vas	1,9kg	4,1kg	-	12,8kg
Salak medve + folyósalak	1,8kg + 1,9kg	3,5kg + 1,4kg	3,5kg + 2,5kg	23,2kg + 8,5kg
Összes salak	3,7kg	4,9kg	6kg	31,7kg
vas aránya a salak+ vas össztömegből	34%	45%	-	29%
Vaskihozatal	19%	23%	-	23% (ércre), 19% (granulára)



5. Ábra: Hőmérsékletmérési eredmények

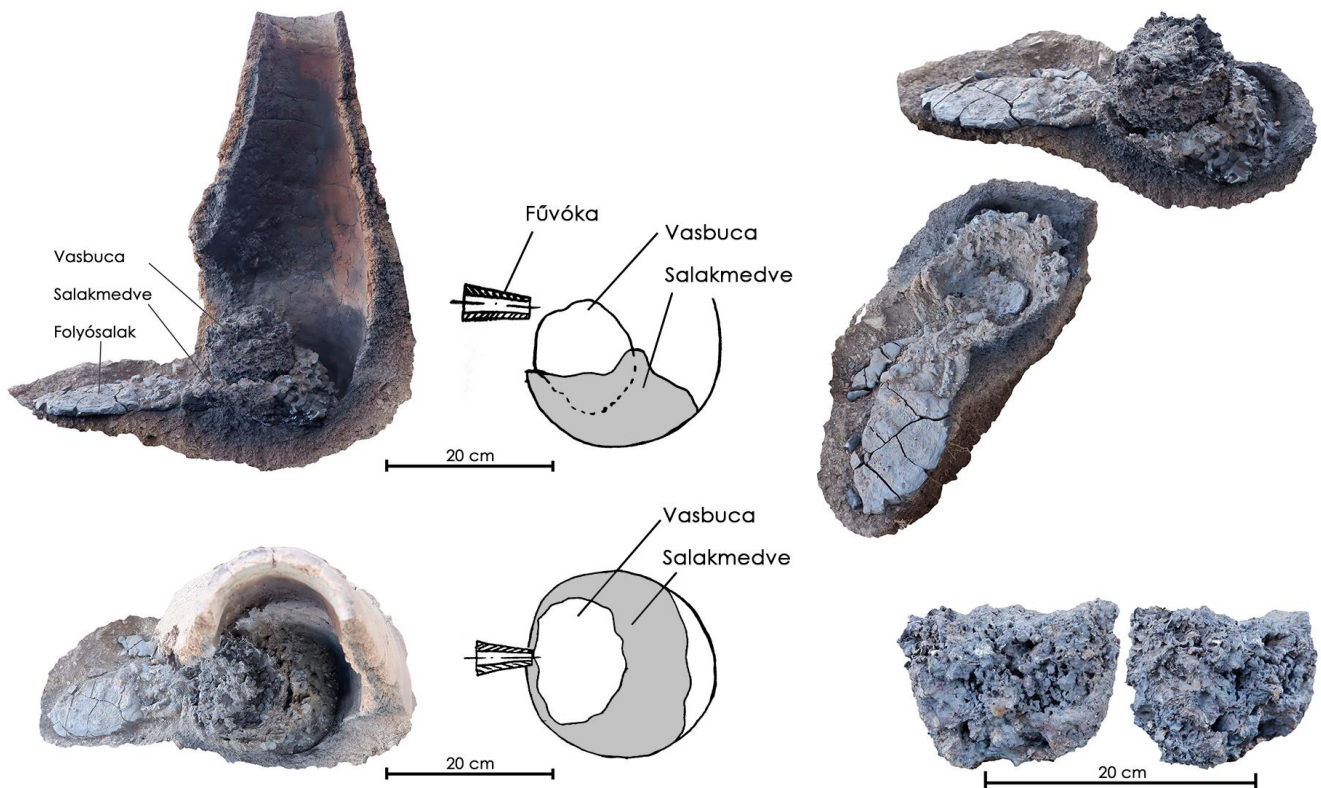
2. Táblázat: A vasérc és a granulák tömege szárított és pörkölt állapotban

	Szárítva	Pörköltve
500g nedves natúr érc	438g (88%)	365g (73%)
500g nedves granulák (25% omész)	427g (85%)	358g (72%)

Az 1. táblázat az elvégzett kísérletek adatait tartalmazza, a 5. ábrán pedig a hőmérsékletmérési eredmények láthatók. A 25-ös kohóban az első kísérlet (I/1) kevés levegővel (ventilátor 1-es fokozata, 150l/p) és aprószemű (6-26mm-es) faszénnel zajlott. Összesen 10kg-nyi ércet adagoltam a kohóba, de kb. 7-8kg-nál több nem fért volna, ugyanis ennyi érc után el kellett kezdeni salakot csapolni (a további beadott érc tehát jórészt elsalakult). A kapott vasbuca kicsi lett, tömörítés után mindössze 1,7kg-os. A bucához tapadt salakmedve szintén kicsi volt, 1,8kg-os, a salak nem töltötte ki a medencét, csak az elülső részét. Az első kísérletben tehát az alapvető probléma a kisméretű égési zóna volt.

A második kísérletben (I/2) az égési zóna méretét növeltük meg a levegőmennyiség növelésével (ventilátor 3-as fokozata, 250l/p) és a faszén szemcseméretével (1 : 1 arányban használtam 6-25mm-es és 25-40mm-es szemcseméretű faszenet úgy, hogy az adagolásnál alulra került a durvaszemű, felülre a finom, rá pedig a vasérc). Mindezek hatására kiterjedtebb égési zóna jött létre, amelyet az 57g/p-ről 90g/p-re nőtt égési sebesség és a nagyobb hőmérséklet jellemez (891°C-ról 1028°C-ra). Ezen kívül a nagyobb mennyiségű híg salak képződése érdekében 5%-nyi kvarchomokot is adagoltunk (a kis mennyiség miatt ennek túlzottan nagy szerepét utólag nem látom). A kohóba mindezek hatására jóval több, 18kg-nyi vasérc fért és salakot csapolni így sem kellett. A vasbuca nagy lett, tömörítés után 3,5kg-os. A kohóban 3,5kg-os salakmedve maradt, a bontáskor pedig 1,4kg-nyi folyósalak folyt ki. Keletkezett továbbá 0,6kg-nyi vasszivacs az inaktív zónába pergő apró szemű ércből. Ez a kísérlet tökéletesnek mondható.

A harmadik kísérlet (I/3) ez előző megismérlése volt, azonban a kohósítás végén a vasbucát nem tömörítettük be, hanem csak letörtem a salakmedvéről és a kohót hagytam lehűlni. A kísérlet nagyjából ugyanúgy zajlott, mint az előző, bár a végén egyszer szükség volt salakcsapolásra. A salak össz mennyiségében is volt némi eltérés, 4,9kg-ról 6kg-ra nőtt (ennek oka talán a jobban leolvadó mellfal volt). A tömörítetlen, salakos vasbuca 4,6kg-os volt. A kísérlet után a kohót a fúvóka függőleges síkjában félbevágva (ld. 6.a ábra) jól megfigyelhető volt a kohó medencéjét kitöltő salakmedve, a kohó elé kifolyt folyósalak és a vasbuca pontos elhelyezkedése. Ezután olyan fotókat is készítettünk, amelyekeken a kohó teljes felépítményét elbontva a visszamaradt salak és vasbuca látható (6.b ábra). A tömörítetlen vasbucát a 6.c ábra mutatja.



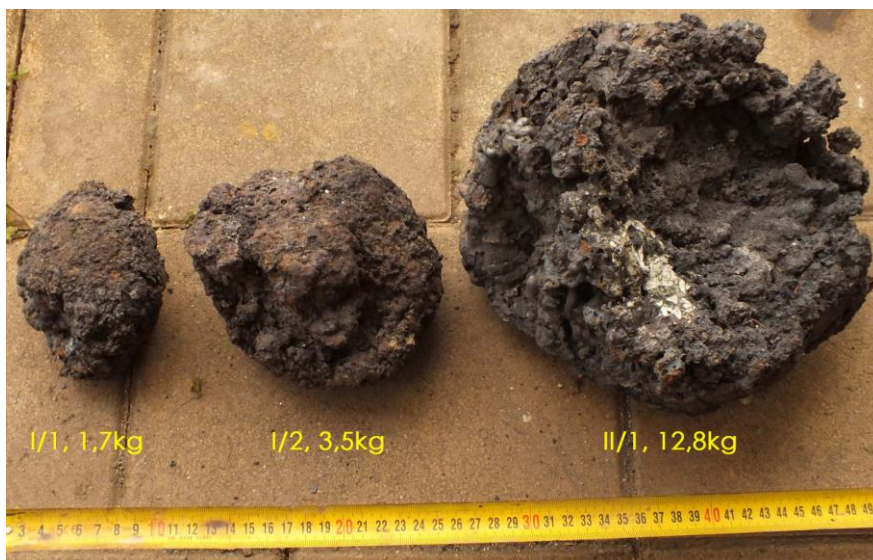
6. Ábra: a) Az I/3 kísérlet után félbevágott kohó a salakmedvével, folyósalakkal és a vasbucával, ill. a kohó medencéjét kitöltő salakmedve és a benne lévő vasbuca vázlatos rajza. b) Az elbontott kohó után maradt salak a vasbucával (felül) vasbuca nélkül (alul). c) A tömörítetlen vasbuca. Tena Karavidovic fotói.

A 38-as kohóban elvégzett egyetlen kohósítás célja szintén az ideálisan nagyméretű buca előállítás volt. Ennek érdekében tisztán 25-50mm-es nagy szemű faszén használtunk és a ventilátor 5-ös fokozatának megfelelő kb. 350l/p-es levegő térfogatárammal dolgoztunk (itt meg kell jegyezni, hogy ez a levegőmennyiség már két szokásos méretű kézifújtatóval lenne csak biztosítható). Ezen paraméterek hatására az égési zóna mérete tovább növekedett, bár a hőmérséklet a kiskohó kimaxolós kísérlethez képest nem változott, a faszén égési sebessége 138g/p-es értékre nőtt. 55kg-nyi natúr vasércből 25%-nyi oltottmészsel bekevert, összesen 69kg-nyi granulát kohósítottunk. Utólag már látható volt, hogy további kb. 5kg-nyi granula még beadagolható lett volna. A kohóbontásig salakcsapolásra nem volt szükség. A bontáskor a hőszigetelő por ellapátolása közben a mellfal mögött felgyűlt olvadt folyósalak sajnos nem a számára a kohó előtt kialakított salakcsapoló gödörbe folyt, hanem mellette terült szét a földön. Terveinkkel ellentétben így nem is tudtuk a salak nagyobb részét kicsapolni a kohóból, a bent maradt óriási salakmedve 23,2kg-os, a kifolyt folyósalak pedig csak 8,5kg lett (nagyjából fordított arányt szeretnénk volna a kohó egyszerűbb kitakarítása érdekében). A kohóból kivett vasbuca hatalmas és jól tömöríthető volt, a tömörítés közben egyben maradt és végül 12,8kg lett a tömege.

A 7. ábrán a kicsi és a nagyobb kohó látható az eléjük kifolyt folyósalakkal az I/2 és a II/1 kísérletek után, a 8. ábrán pedig az I/1, I/2 és II/1, betömörített vasbucák.



7. ábra: A 25-ös (a) és a 38-as (b) kohó az elé kifolyt folyósalakkal az I/2 és a II/1 kísérlet után.



8. Ábra: A próbakohósítások betömörített vasbucái

Még egy kísérletet kell végül bemutatni. Az I/3 kohósítás 4,6kg-os és $3,49\text{g/cm}^3$ sűrűségű tömörítetlen vasbucáját utólag újraizzítva 3,2kg tömegűre és $5,08\text{g/cm}^3$ sűrűségűre betömörítettük. Ez a tömörítés nem sikerült túl jól (a laza szerkezetű buca nagyon egyenetlenül hevült a tűzben), jó lett volna kb. 6g/cm^3 sűrűséget elérni. Itt látható volt, hogy munkaszervezési szempontból sokkal hasznosabb a kohóból kivett bucát a lehető legjobban betömöríteni, majd azon melegében újraizzítani és kipurgálni (faszerszámokkal teljesen betömöríteni és a salaktartalmat lecsökkenteni).

Értékelés, következtetések

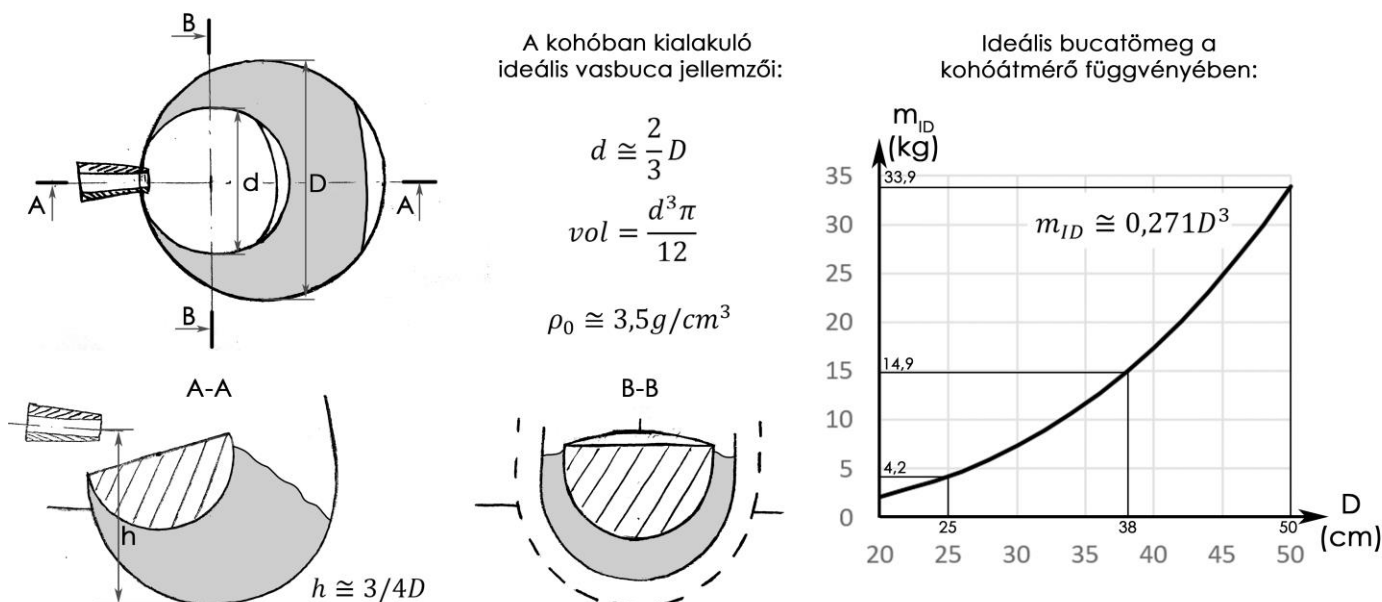
A kohókimaxolós kísérletek alapján látható, hogy a vasérc alulredukálása mellett a medencét feltöltő sok, híg folyósalak teszi lehetővé az ideális, nagyméretű vasbucák előállítását, igaz, a vaskihozatal csökkenése árán (az 1.c ábrán bemutatott túlredukáló esetben a vaskihozatal jellemzően 30% körül szokott lenni, míg az 1.d ábrán látható alulredukáló esetben 20% körül).

Fontos látni, hogy mindegyik kísérletben a beadagolt vasérc vagy granulák nedvesek voltak. Száraz vagy pörkölt esetben jelentősen csökkenthető lett volna a felhasznált vasérc és faszén tömege, ezáltal a kohósítás időtartama. Ráadásul pörkölt érc esetén az 1 : 1 betétarány is csökkentendő lenne a túlredukálódás elkerülése érdekében, így pl. a 25-ös kohóban végzett kohósítások kb. fele faszénnel, és kb. 2/3-nyi időtartam alatt is működtek volna.

Az elvégzett kísérletek és az 1/3 kohósítás után tett megfigyelések alapján hozzávetőlegesen meghatározható, hogy ideális esetben mekkora vasbuca alakul ki egy adott méretű kohóban (ld. 9. ábra). Az ideális méretű vasbuca kialakulása szempontjából kedvező földbe mélyített medencegeometria félgömb alakú, a fúvókát pedig tapasztalati alapon kb. háromnegyed átmérő magasságban (h) érdemes a medence aljához képest elhelyezni. Az ideális vasbuca nagyjából félgömb alakú és kissé „előre dőlve” helyezkedik el a kohóban. Az átmérője (d) kb. a kohó átmérőjének (D) 2/3 része. Tételezzük fel továbbá, hogy a kohóban előálló tömörítettlen buca sűrűsége kb. 3,5 g/cm³, azon az alapon, hogy ekkora sűrűségű volt az 1/3 kísérlet tömörítettlen vasbucája. Egy adott átmérőjű kohó (D) esetén ezek alapján egyszerűen kiszámítható a benne előállítható vasbuca ideális tömege (m_{ID}) az (1) közelítő összefüggés segítségével:

$$m_{ID} = 0,271D^3 \quad (1)$$

Amelyet függvényként ábrázolva a 9. ábra jobb oldala mutat. Ez alapján egy 25cm-es belső átmérőjű kohóban 4,2kg-os, egy 38cm-esben 14,9kg-os, egy jóval nagyobb, pl. 50cm-esben pedig rendkívül nagy, 33,9kg-os lenne a kialakuló vasbuca ideális tömege (azonban látni kell, hogy ekkora kohó kimaxolásához már nagyon sok levegő befúvására volna szükség). Természetesen egy kohósítás kimenetele nem mindig ideális, de tételezzük fel, hogy a korabeli vaskohászok azért erre törekedtek. Az ideálisnál kisebb méretű vasbuca előállításához feleslegesen nagy lenne a kohó, a túlzottan nagyméretű buca pedig a kohóban elvégezhető kohósítások számát csökkentené jelentősen.

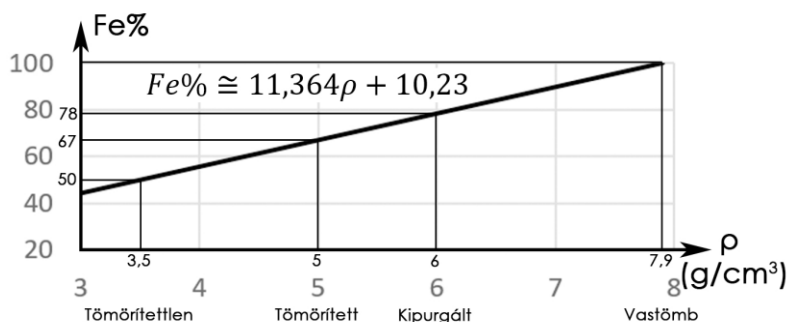


Ezek után érdemes még végiggondolni azt is, hogy mekkora tömegű vas nyerhető egy adott méretű kohóban egy kohósítás során ideális esetben. Ehhez a vasbuca sűrűsége alapján meg kellene tudni határozni a vasbuca vastartalmát. Erre vonatkozóan egyrészt vasbucák vastömbé kovácsolási kísérletei alapján hozzávetőlegesen elmondható (ezeket a kísérleteket itt most nem részletezve), hogy az első tömörítés állapotában lévő a vasbuca kb. a tömegének 1/3-ad részét veszíti el mire vastömbbé kovácsoljuk. Ez a megfigyelés a kisebb, 2-5kg-os tömörített vasbucákra vonatkozik, nagyobb, 10kg feletti tömegű tömörített bucák esetén a kisebb fajlagos felület miatti kisebb leégési veszteségek okán ez a tömegvesztés valószínűleg némileg kisebb lenne, azonban ilyen nagy bucát még sosem kovácsoltunk vastömbbé. Másrészt több, különböző mértékben betömörített és átkovácsolt vasbuca sűrűségmérése alapján összefoglalóan elmondható (ezeket a sűrűségméréseket sem részletezve), hogy kohóban kialakuló tömörítettlen vasbuca sűrűsége kb. 3,5g/cm³, az első tömörítés után jó esetben kb. 5g/cm³-es, kipurgálás után szintén jó esetben kb. 6g/cm³, végül pedig vastömbbé kovácsolva a vas elméleti sűrűsége, azaz 7,9g/cm³ érhető el (a gyakorlatban inkább csak 7,6-7,7g/cm³). Ezek alapján a (2) közelítő összefüggés állapítható meg a vasbuca sűrűsége (ρ) és a vastartalma (Fe%) között, amelyet a 10. ábrán látható diagram is szemléltet.

$$Fe\% = 11,364\rho + 10,23 \quad (2)$$

Látható, hogy a kohóban kialakuló, még tömörítettlen vasbuca vastartalma kb. 50%, az első jól sikerült tömörítés után 67%, alaposan kipurgálva pedig 78% körüli (vastömbbé kovácsolva 100% lehetne, de a gyakorlatban pár %-kal kisebb).

A 11. ábrán nagyjából azonos kiinduló tömegű vasbucákból kapott tömörített vasbucát, kipurgált vasbucát és kikovácsolt vastömböt mutatok be ide vonatkozóan.



10. Ábra: A vasbucá vastartalma a sűrűsége függvényében



11. Ábra: Nagyjából azonos kiinduló tömegű vasbucákból kapott tömörített vasbucá, kipurgált vasbucá és kikovácsolt vastömb

Ezek alapján a vasbucá vastartalmának ismeretében már meghatározható egy adott átmérőjű kohóban ideális esetben előállítható vas tömege. A kohóban kialakuló tömörítettlen vasbucá kb. 50%-os vastartalmát figyelembe véve egy 25cm-es belső átmérőjű kohóban előállított bucából 2,1kg-os, 38cm-esnél 7,5kg-os, 50cm-esnél pedig 17kg-os vastömb lenne nyerhető. Ezt foglalja össze a 3. táblázat. A 4. táblázatban pedig a kísérletek során kapott vasbucákra és a petesalmi vasbucaleltre vonatkozó adatok láthatók. A 4. táblázat adataiból megállapítható, hogy az I/3 kísérlet megfigyelései alapján felvázolt elméleti modellel meghatározott adatok jó egyezést mutatnak a II/1 kísérlet során kapott eredményekkel is: pl. az ideális esetben kb. 7,5kg-os vastömb, a valós II/1 kísérletben kapott vasbucából pedig egy kb. 7,6kg-os vastömb lenne kikovácsolható.

3. Táblázat: Különböző átmérőjű kohókban nyerhető vasbucá és a belőle kikovácsolt vastömb tömege ideális esetben

Kohó belső átmérője	Ø25-ös	Ø38-as	Ø50-es
Tömörítettlen buca tömege (kg)	4,2	14,9	33,9
Kikovácsolható vastömb tömege (kg)	2,1	7,5	17

4. Táblázat: A kísérletek során kapott vasbucák és a petesalmi vasbucaleltre adatai

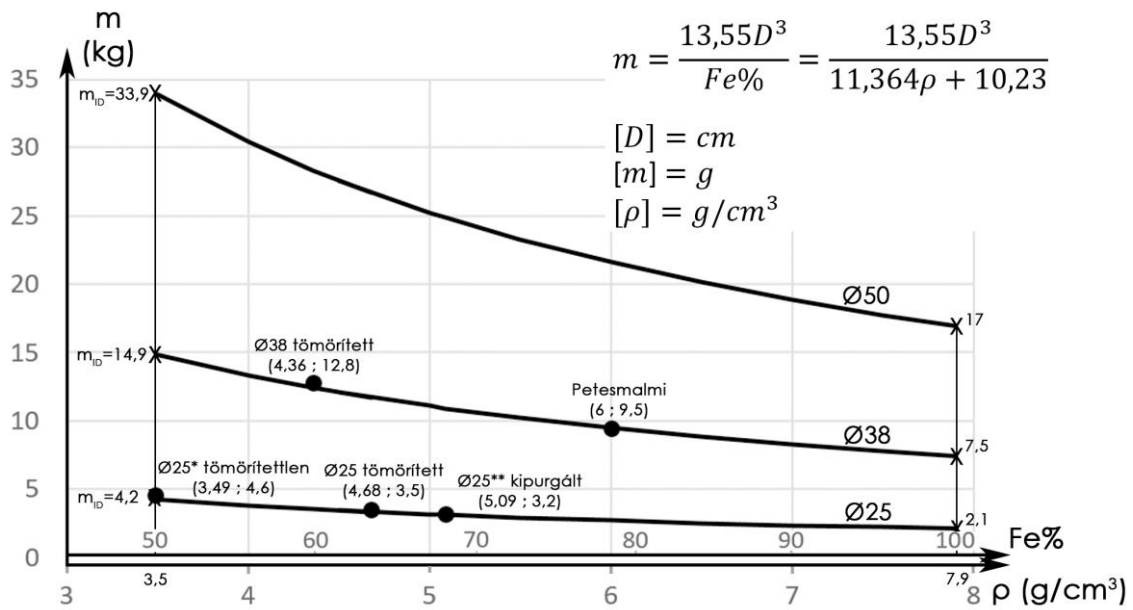
Kohó/buca	Ø25-ös (tömörített)	Ø38-as (tömörített)	Ø25-ös* (tömörítettlen)	Ø25-ös** (kipurgált)	Petesalmi (kipurgált)
Buca tömege (kg)	3,5	12,8	4,6	3,2	9,5
Buca sűrűsége (g/cm³)	4,68	4,36	3,49	5,09	6
Vastartalom (Fe%)	63	60	50	68	78
Kikovácsolható vastömb tömege (kg)	2,2	7,6	2,3	2,2	7,4

Végezetül még egy hasznos diagramot érdemes a bemutatott elméleti modell alapján felrajzolni, amely közelítően megmutatja egy adott átmérőjű kohóban előállított vasbucá tömegét a sűrűsége függvényében, azaz attól függően, hogy mennyire van betömörítve. Erre vonatkozik az (1) és (2)-ből összevonva kapott (3) összefüggés:

$$m = \frac{13,55D^3}{11,364\rho + 10,23} \quad (3)$$

A 12. ábra diagramján látható három hiperbola a Ø25, Ø38 és Ø50cm-es kohóátmérőkre vonatkozó ideális bucatömegeket mutatja a (sűrűséggel és vastartalommal jellemzett) tömörítettség függvényében, az egyes pontok

pedig a kísérletek során kapott vasbucákat helyezik el a diagramban, illetve a diagramban feltüntettem a sokat emlegetett petesmalmi vasbucacaleletet is. A petesmalmi bucalelet láthatóan éppen Ø38-as hiperbolán helyezkedik el, ami azt jelenti, hogy ez a buca ideális esetben egy ekkora, kb. 38cm-es belső átmérőjű, átlagos méretű kohóban előállítható volt.



12. ábra: A vasbuca tömege a kohóátmérő és a sűrűséggel, ill. vastartalommal jellemzett tömörítettség függvényében

Ezen kívül általánosságban megállapíthatjuk, hogy annak ellenére, hogy avar kori vasbuca leletek alig vannak, az elmúlt évtizedekben feltárt magyarországi avar kori vaskohók méretei alapján (amelyeknek több esetben is 50cm körüli legnagyobb belső átmérővel rendelkeztek), hogy a petesmalmi 10kg-os kipurgált vasbuca nagy mérete ellenére nem tekintendő kuriózumnak, ekkora, de akár még némileg nagyobb méretű bucák is jellemzőek lehettek az avar kori vaskohászatra.

Fontos továbbá, hogy ennek a diagramnak a segítségével egyébként bármilyen régészeti bucaleletre meghatározható az, hogy ideális esetben nagyjából mekkora kohóban készülhetett és az is, hogy kb. mekkora a vastartalma mindössze egy roncsolásmentes tömeg és sűrűségmérés után.

Összefoglalás

- Egy régészeti leletek alapján rekonstruált avar korra jellemző nagyon kicsi, 25cm-es belső átmérőjű és egy átlagos, 38cm-es belső átmérőjű kohóban elvégzett próbakohósítások során ideálisan nagyméretű vasbucákat sikerült előállítani a kohósított vasérc (vagy granulák) alulredukálásával keletkező nagy mennyiségű, híg folyós salaknak köszönhetően, amely feltöltve a kohó medencéjét lehetővé tette nagyméretű, tömör vasbuca kialakulását a fúvóka alatt. A kisebbik kohóból kivett vasbuca a tömörítés után 3,5kg, a nagyobbikból pedig 12,8kg-os lett.
- Az elvégzett kísérletek során tett megfigyelések alapján egy elméleti modell vázolható fel egyrészt arra, hogy:
 - egy adott méretű kohóban ideális esetben mekkora vasbucát lehet előállítani
 - a sűrűség és a tömeg ismeretében mekkora a vasbuca vastartalma.
- A bemutatott kísérletek alapján elmondható, hogy egy átlagos méretű avar kohóban ideális esetben elő lehetett állítani egyetlen kohósítás során a petesmalmi bucalethez hasonló méretű bucát.