

A bucamáglya – a hiányzó technológiai láncszem a somogyi Avar és honfoglalás kori vaskohászatban

Absztrakt

Volt (az én fejemben legalábbis) az avar és honfoglalás kori somogyi vaskohászat munkaszervezésében egy eddig hiányzó technológiai láncszem. Ez a "bucamáglya". Ez valószínűleg megfelel a régészeti feltárásokon újraizzító tűzhelynek azonosított objektumnak, azonban most ennek a funkciója részleteiben tisztázódik, és jelentősége nagyban felértékelődik. Olyan alapvető kérdésekre ad választ ez a technológiai lépés, mint:

1) Hogyan készültek a korabeli nagyméretű ékelt vasbucák, mint pl, a 10kg-os ékelt petesmalmi, zalavári vagy hévizi bucák (ld. egy összefoglaló videót erről, itt: <https://youtu.be/0GpHU572pro>)

2) Hogyan oldották meg a foszfor okozta technológiai problémákat a korabeli vaskohászok és hogyan foszfortalanították az amúgy extrém nagy foszfortartalmú, kovácsolhatatlan foszforvasakat (ld. egy összefoglaló videót erről, itt: <https://youtu.be/pTvBwjBvuGM>)

1. Bevezetés

1.1. A nagyméretű ékelt vasbucák problémája

Somogyból összesen 4db kb. azonos méretű „szabványos” ékelt vasbucát ismerünk (1db Petesmalom, 2db Zalavár, 1db Hévíz). Mindegyik kb. 10kg-os. Ezeken kívül két még nagyobb, kb. 50kg-os ékelt vasbuca is van Keszthely-Fenekpusztáról. Van még egy fél ékelt vasbuca Pusztakovácsiból, amit kaptam idén, ennek a tömege 2kg, tehát az egész 4kg-os lehetett. Ilyen nagyméretű vasbucákat valószínűleg nem tudtak akkoriban egy kohósítással előállítani, nem voltak ekkora kohók. Akkor viszont hogyan készültek?

Korábban is felvetődött már az, hogy ezeket több kis bucából kovácsolták össze. Ez azt hiszem teljesen nyilvánvaló meglátás, de a kérdés inkább az, hogy hogyan? A 2021-es Őskohász Táborban próbálkoztunk először egy kísérleti megoldással. Akkor 4 párhuzamos kohósítás bucáit kovácshegesztettük össze, a klasszikus módon, azaz a tömörített vasbucákat sorban felhevítettük és összekovácsoltuk üllőn nagy ráverőkalapáccsokkal. De ez nagyon nehéz munka volt, a legnagyobb gondot az ott készített közel 6kg-os buca átkovácsolás okozta, amely a megfelelő kovácshegesztéshez szükséges volt. A másik gond, hogy a régészeti bucákon nincsenek sík felületek, azokat nem vas, hanem csak fa szerszámokkal munkálták meg. Faszerszámokkal végképp nem lehetséges ilye hatalmas bucák átkovácsolása. Én mindezek alapján a bucák átkovácsolással történő (dinamikus) összehegesztését kizárom.

Ehelyett adódik egy sokkal egyszerűbb, kényelmesebb, gazdaságosabb megoldás. A bucamáglya. Ebben a berakott vasbucák (ezek kisebb, néhány 100g-os vasbucadarabok is lehetnek) magában a tűzben hegednek össze diffúziós (statikus) hegedéssel, azaz nagyjából ugyanaz történik, mint a bucahó fúvósíkja környékén. A bucamágjában a megfelelően elhelyezett vasdarabok 30-60 perces lassú fűtás során állnak össze egy vastömbbé, anélkül, hogy hozzájuk kellene nyúlni. A technológiát később mutatom be részletesen.

1.2. A foszfor probléma

Tudjuk, hogy a somogyi gyepvasércek nagy foszfortartalmúak. Erre tekintünk az 1. táblázatot, ami jelenlegi somogyi gyepvasérclelőhelyekről származó minták XRF vegyelemzési eredményeit mutatja.

1. Táblázat: Somogyi gyepvasércek kémiai összetétele a főbb oxidokra

#	Minta származási helye	EOV		Kémiai összetétel a fontosabb oxidokra (wt%)							Összes
				SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MnO	P ₂ O ₃	As ₂ O ₃	
1	Somogyfajsz (Legelő)	535.065	129.021	63.1	27.9	3.08	0.8	0.59	1.58	0.03	97.08
2	Somogyfajsz (Fajszipatak)	536.065	130.005	4.90	68.90	0.88	13.40	0.94	4.24	0.13	93.39
3		536.065	130.005	3.50	71.60	0.35	14.40	2.15	3.60	0.39	95.99
4		536.074	130.036	11.40	52.30	1.28	22.90	0.64	4.33	0.05	92.90
5	Somogyfajsz (Erdőirtás)	534.660	130.896	14.40	64.10	1.54	11.00	2.01	3.06	0.16	96.27
6	Libickozma (Koroknapatak, temető mellett)	534.218	131.321	26.90	46.30	2.39	12.90	3.33	2.70	0.15	94.67
7	Libickozma (Aranyospatak, híd alatt)	532.902	130.885	22.80	50.80	0.92	14.40	2.70	2.76	0.09	94.47
8	Libickozma (Aranyospatak, a lencséből fentről lefelé)	532.949	130.562	25.30	42.30	1.80	18.40	3.77	1.24	0.03	92.84
9				9.30	73.50	0.48	9.10	1.30	3.32	0.32	97.32
10				13.30	62.20	0.50	8.90	8.80	2.60	0.21	96.51
11				20.40	60.10	0.75	3.17	10.70	2.83	0.24	98.19
12	Somogyszob (Kócsmóna-patak, a lencséből fentről lefelé)	515.132	106.650	14.00	61.40	3.32	10.00	3.57	3.29	0.33	95.91
13	26.00			54.20	4.46	2.51	5.30	3.02	0.28	95.77	
14	Somogyszob (Kócsmóna-patak, a lencséből lentől felfelé)			19.20	67.30	3.62	2.41	0.96	3.62	0.35	97.46
15	5.20			14.40	1.18	63.90	2.95	0.70	0.08	88.41	
16	Petesmalom	530.807	099.280	3.82	81.00	0.46	3.44	1.61	6.60	0.12	97.05

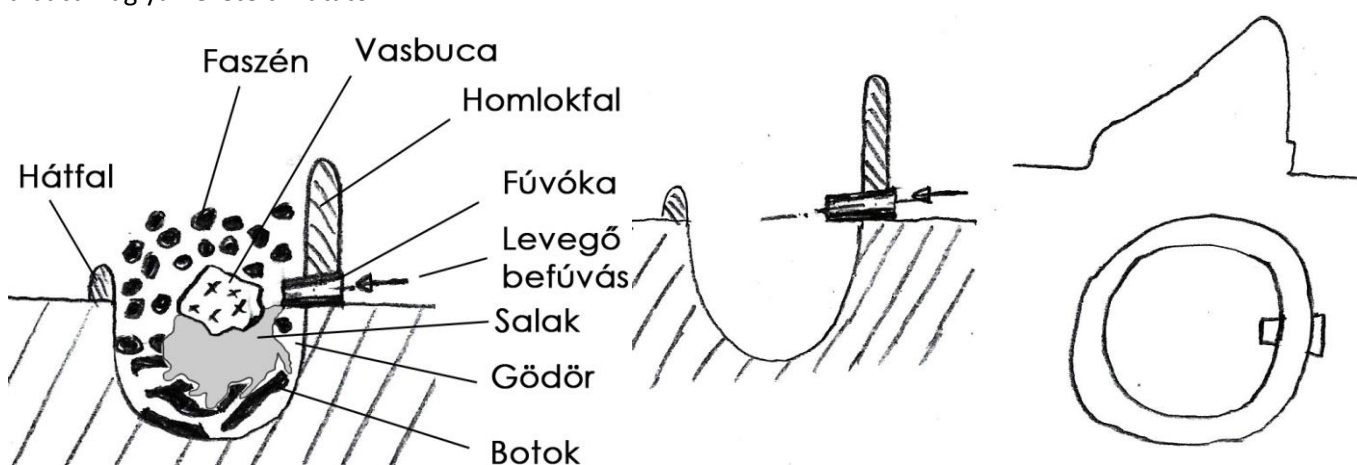
Látható, hogy mindegyikércben több %-nyi foszforpentoxidra számolt foszfor van (az 1-es és 15-ös minta nem tekinthető ércnek). Ezek a vasércsok azonban kohósíthatóak, magam is dolgoztam velük többször, vastartalmuk elég nagy, azonban a kapott vasbucák gyakran olyan sok foszfort vettek fel, hogy a kohóból kihúzza a tömörítés során darabokra törtek. Hasonló, de ritkábban előforduló jelenség mutatkozik az arzén esetén is. Ez nekem eddig katasztrofális hibának tűnt, amit azt gondoltam, mindenféle furmányos metallurgiai trükkökkel (mészadagolás bázikus salakképzésre, granulációs technika a túlredukálódás elkerülése érdekében, stb.). De a bucamáglya erre a problémára is megoldás jelent!

Tudjuk, hogy a korabeli vaskohászoknak is meggyűlhetett a baja a foszforral. A régészeti vasbucák (az Óskohó Múzeumban kiállított 4db, a Petesmalmi nagy buca és a kapott félbucák) foszfortartalma 0,5-1,5% közötti, tehát meglehetősen nagy, ezek éppen a kovácsolhatóság határán vannak. Korábban 8 régészeti lelőhely kb. 50 salakmintáját vizsgáltam, és ezekben is sok foszfor volt.

2. A bucamáglya – kísérletek (módszerek és eredmények)

2.1. A bucamáglya felépítése

Az 1. ábrán a bucamáglya felépítését mutatom. Ez tehát tulajdonképpen egy egyszerű, a fúvósíkban max. 20-30cm-es átmérőjű gödör, amelynek pereméhez egy fúvókát teszünk, a fúvókafölé pedig egy homlokfalat emelünk. A 2. ábrán a bucamáglya nézeteit mutatom.



1. Ábra: A bucamáglya felépítése

2. ábra: Az üres bucamáglya metszete, oldal- és felülnézete

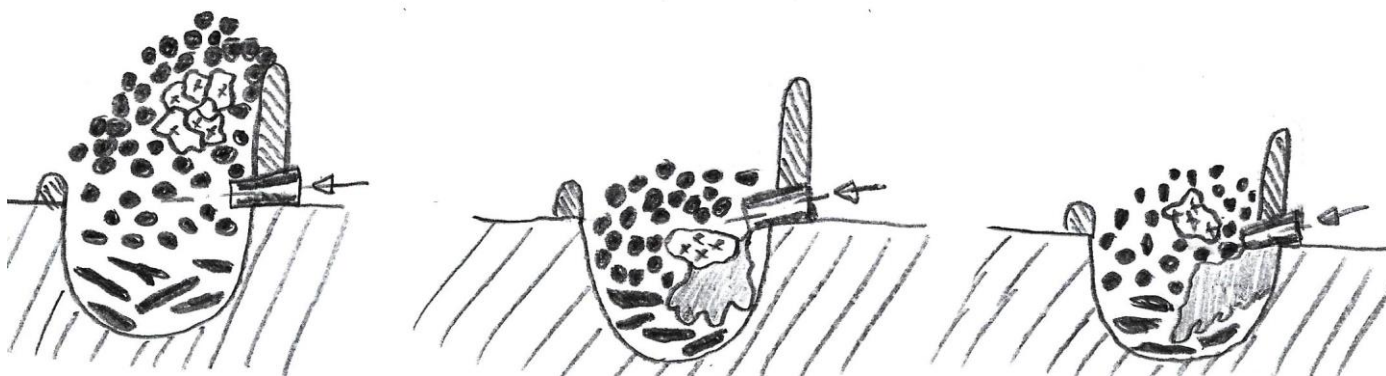
Azért, hogy a máglyába rakott faszén és vasdarabok ne boruljanak szét, a gödör fölé körbe egy alacsony falazatot rakunk. Elöl ez a falazat magasabb (homlokfal), mert ott van a több faszén, hátul alacsonyabb (hátfal), ezeket rézsűs oldalfalazat köti össze. Én a homlokfalat szimplán egy régebbi egyben maradt bucakohó mellfalból szoktam betenni (ebben már a fúvóka is benne van), oldalról pedig kövekkel vagy szintén egy-egy régi, kiégett mellfaldarabot használok, majd ezt a felépítményt porral szórom körbe, ami nemcsak hőszigetel, de nagyjából egyben is tartja a labilis tákolmányt. Itt jegyezném meg, hogy a bucamáglyának nincs mechanikai igénybevétele, a falazatok funkciója mindössze az alacsony faszénkupac egybentartása (az egyes elemek ráadásul a nagy hőhatás és sok olvadt salak miatt üzem közben össze is ragadnak). Ilyen módon a bucamáglyát pár perc alatt össze lehet rakni. A 3. ábrán látható egy ilyen, régi mellfalakkal összerakott bucamáglya. A piros nyíl jelöli azt a fúvókát, amin keresztül befújtam a levegőt a gödörbe (a többi fúvókának nincs funkciója, csak benne vannak a régi mellfalakban).



3. ábra: Régi bucakohó mellfalak felhasználásával megépített bucamáglya

2.2. A bucamáglya működése

A munka úgy kezdődik, hogy a bucamáglya aljára, a gödörbe kisebb fadarabokat teszünk, egyrészt, hogy spóroljunk a faszénnel, másrészt, hogy olyan laza anyag töltse ki a gödört, ami közé szépen le tud folyni sok salak. Ezután a fúvóka elé és alá egy réteg faszén kerül (én ugyanazt a frakcionált, 5-40mm-es szemcseméretű bükk/tölgyfaszenet használtam itt is, mint a kohósításoknál). A fúvóka előtt, a faszénrétegen ezután rakunk ez kis tüzet, ami ha leparázslott, betakarható még több faszénnel, majd elkezdhető a fújtatás. Én minden alkalommal ugyanazzal a kis centrifugál ventilátorral fújtattam, mint a kohósításokkor, mert mindig egyedül dolgoztam. De két kézi fújtatóval is nagyon szépen lehetne a folyamatos, lágy levegőbefúvást biztosítani, ha lenne, aki fújtat (ld. pl. ebben a videóban, itt: <https://youtu.be/QwNHEYogycY?t=505>). Ezután lágy fújtatás mellett átizzítjuk a máglyában lévő faszénkupacot. A faszénkupacot lefújtatjuk kb. a homlokkal közepéig, majd egy kis időre leállunk a fújtatással és egy kis fészket kaparunk az izzó faszénkupac közepébe. Ide helyezzük el az összehegeszteni kívánt vasbucadarabokat, szorosan egymás mellé, egymásra pakolva. Azért, hogy ez a rakás bucavas ne dőljön össze, oldalról faszénnel támasztjuk meg. Ezután az egészet betakarjuk faszénnel. A 4. ábra baloldala mutatja ezt az induló állapotot.



4. Ábra: A bucamáglya üzemállapotai. Balról jobbra: indítás, hegesztés, újraizzítás

Az indításkor a vaskupac tehát a fúvósík felett helyezkedik el, kb. 10-15cm-es magasságban. Ezután újraindul a fújtatás. Megfigyeltem, hogy nem kell sok levegő, inkább közepes mennyiségűt mondanék (a fújtatókkal elérhető térfogatáram kb. fele), viszont a lefújtatás akár egy órán át eltarthat, főleg, ha hideg vasdarabokkal indulunk. A fújtatás hatására a vaskupac elkezd lesülyedni a fúvókához, az ott eléggő faszén helyre. Eközben fentről egy darabig még pótolni kell a faszenet (pár kiló faszenet még rá kell rakni), a rakás összeesésének megfelelően. A vasbucá helyzetét felülről egy vékony bottal ki lehet tapintani, ill. szintén tapintató a buca a fúvókán keresztül, ha már elég mélyen van. A fújtatást addig folytatjuk, míg a buca a fúvóka alá nem ér. Onnan nem süllyed tovább, hanem megáll. Ebben a pozícióban még tartható egy ideig, de felesleges. Ekkorra a faszénkupac is jócskán összeesik. A lényeg csak az, hogy a buca felett legyen mindig kb. 10 centi vastag fedő faszénréteg. A bucamáglya üzemének első szakasza tehát a *hegesztés*, amelynek során a berakott vasakat a fúvóka alá lefújtatjuk. A vasdarabok ennek során diffúziós hegedéssel egymáshoz hegednek. Eközben a salak leszivárog a gödörbe, ahol egy salakmedve, salakblokk alakul ki. Minél nagyobb tömegű vasat rakunk be, annál tömörebb lesz az összehegedő buca (pár kis vasdarab nem heged össze, csak pontszerűen, ha viszont nagyméretű, tömörített bucákat rakunk össze, akkor azok olyan tömörre hegednek, hogy át nem lehet őket már faserszámmal kovácsolni). A hegesztés végén az egybeállt vasbucát nagyon óvatosan kipiszkáljuk a gödörből. A buca ilyenkor a kohóban lévő bucához hasonlóan hozzá van ragadva a salakmedvéhez meg némileg a falazathoz is. A máglyából kivett izzó bucát farönkön fakalapáccsal óvatosan tömöríteni kezdjük (ugyanúgy, mint a kohóból kivett bucát).

Ezután következik a második üzemszakasz, amikor a bucát *továbbtömörítés* céljából többször újraizzítjuk. Ilyenkor azonban már nem hevítjük fel a teljes térfogatot (amúgy sem tudnánk faserszámmal az egészet átkovácsolni), hanem csak az éppen továbbtömörítendő részeket, oldalakat. Többszöri újraizzítás és tömörítés után kialakítható a régészti bucaleleteknél megfigyelhető korong alak, majd végül be is lehet ékelni a bucát. Az újraizzítás üzemállapotában a bucamáglya már szimpla kovácstűzhelyként funkcionál, annál is inkább, mert a gödört, az alját ekkora már jórészt salak töltötte fel, azaz a tűztér egy kovácstűzhelyhez hasonló alakúvá vált. Ilyenkor az újrahevítendő vasbucát a fúvóka elé, fölé helyezzük el (ld. 4. ábra jobboldali kisképe).

Itt jegyezném meg, hogy a hegesztések tulajdonképpen többször is megismételhetők a bucamáglyában. Az első hegesztés után nem feltétlenül kell áttérni az újraizzítás üzemre, hanem a munka folytatható úgy is, hogy a gödörből kiszedünk némi salakot, azért hogy legyen hova lesülyednie a vasbucának, friss faszenet töltünk a gödörbe, az összehegedt vasbucát ismét némileg a fúvóka fölé helyezzük és további vasdarabokat pakolunk fel rá, majd az egészet újból lefújtatjuk a fúvóka alá. Volt, hogy én három hegesztést is megcsináltam, mielőtt a tömörítés szakaszába léptem volna.

Még bemutatok egy konkrét kísérletet: Két hegesztést végeztem el. Az elsőhöz 2,7kg-nyi vasdarabot raktam össze, majd az összehegedt bucához további 0,8kg-nyit. A második hegesztés után tömörítések következtek, a végeredmény pedig egy 1,7kg-os tömörített buca lett. Ezt a kísérletet egy videóban mutatom be, itt:

3. Diskusszió

A bucamáglyának mint technológiai lépésnek alapvetően két fő jelentőségét látom: 1) a kompaktálás, 2) a foszfortalanítás. Történeti-régészeti szempontból pedig a korabeli munkaszervezés jobb megértéséhez visz bennünket közelebb.

3.1. Kompaktálás

A bucamáglyában bármilyen kis dirib-darab bucavasakból egy nagyobb, kompakt bucát lehet készíteni vele. Ha tehát a kohósítás során valamilyen oknál fogva nem áll össze a vasbucá vagy a tömörítés során összetörik, akkor ezzel a módszerrel a kohón kívül egybehegeszthetők a darabok. Alapvetően azonban én úgy gondolom, hogy azok a nagy régészeti bucák készülhettek így egy-egy bucamáglyában, amik tömege 2kg-nál nagyobb (szinte kizárólag csak ennél nagyobb bucákat ismerünk Somogyból). Itt most kell egy kis gondolati kitérőt tenni. A régészeti bucák meglehetősen tömörek, jóval tömörebbek, jóval kevesebb salakot, faszéndarabkákat tartalmaznak, mint egy, a kohóból kihúzott és egy lépésben betömörített buca. A tömörség fokát a bucák sűrűséggel lehet pontosan számszerűsíteni. Végigmértem néhány kísérleti bucamon (ebben a videóban mutatom, hogyan: https://youtu.be/l0nawpj1_WM) meg kettő darab nálam lévő régészeti bucán a sűrűségeket és a 2. táblázatban látható értékeket kaptam.

2. Táblázat: Kísérleti és régészeti (rég) vasbucák sűrűsége és tömörítettségi állapota

Buca	Tömeg (g)	Sűrűség (g/cm ³)	Tömörítettség
2_12	2062	4,39	Egyszer tömörített
2_13	2492	3,33	
2_18	2365	3,32	
2_14	1267	5,48	Faszer- számokkal teljesen tömörített
Petesmalmi darabokból 1	1605	5,88	
Petesmalmi darabokból 2	1824	5,68	
Hematit ékelt 1	2150	5,97	
Hematit ékelt 2	4871	5,49	
Fél ékelt buca (rég)	1955	4,46	
Májinka bucadarab (rég)	1290	6,29	
Petesmalmi vastömb	1504	7,23	Átkovácsolt

Az értékek alapján három fő kategóriát különíthetünk el. Azok a vasbucák, amik csak egy tömörítést kaptak (1-es szint), azaz a kohóból kivett melegükben voltak csak tömörítve, újraizzítás és továbbtömörítés nem történt rajtuk, azok 3-4g/cm³ sűrűségűek. Azok a bucák, amiket többször is újrahevíttek és faszerszámokkal teljesen betömörítettek (2-es szint) 5-6g/cm³-es sűrűségűek. A kikovácsolt vastömbök sűrűsége pedig természetesen az elméleti sűrűséghez (7,8g/cm³) közeli értékű (ld. a 2. táblázatban a „petesmalmi vastömb”, 3-as szint). Az látszik, hogy a régészeti bucák a 2-es tömörítettségi állapotba tartoznak, azaz több újraizzítással és faszerszámossal teljesen betömörítettek (a fél ékelt buca a 4,46g/cm³-es sűrűségével kicsit kilóg a sorból, de jó lenne több régészeti buca sűrűségét is ismerni). Tapasztalatból tudom, hogy az 1-esről a 2-es szintre való tömörítés során kb. lefeleződik a tömeg. Ez azt jelenti, hogy azok a kb. 10kg-os tömörített ékelt vasbucák (pl. a Petesmalmi és a két Zalavári) kb. 20kg-nyi 1-es szintű tömörített vasbucából készültek. Tovább lehetne itt most fejtegetni azt, hogy feltételezve, hogy egy kohósítással készültek ezek a bucák, akkor bizonyos vaskihozatal (kb. 10-30%-os) mellett mennyi vasérc kellett (kb. 70-200kg), de mivel én nem hiszem, hogy egy óriás szuperkohóban készültek ezek a nagy bucák, így ezt a gondolatmenetet nem is részletezném. Az viszont megállapítható, hogy ezek a 10kg-os ékelt vasbucák a korabeli kis kohókban előállítható vasbucák méretét figyelembe véve kb. 8-10 kohósítással nyert bucából (vagy vasmennyiségből) lehettek összerakva. Ebben a videóban azt mutatom be, hogyan készülhettek ezek a nagy ékelt vasbucák: <https://youtu.be/0GpHU572pro>

3.2. Foszfortalanítás

A somogyi foszfordús gypvasércekből nagyon sokszor kovácsolhatatlanul nagy foszfortartalmú vasbucá keletkezik a kohóban, amelyet a kohóbontás után lehetetlen betömöríteni, mert darabokra törnek. Egy ilyen kovácsolhatatlan, extrém nagy foszfortartalmú bucavas melegtörékenységet lehet látni ebben a rövid videóban: https://youtu.be/UQaM_9_JN0I

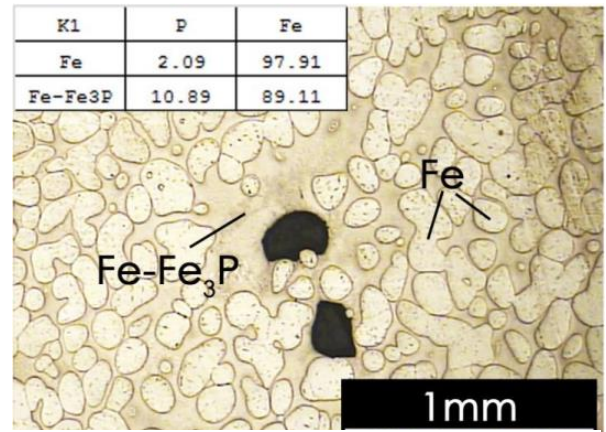
A törékenységet a szemcsehatáron megjelenő vas-vasfoszfid ($\text{Fe-Fe}_3\text{P}$, ld. az 5. ábrán) eutektikum kb. 1050°C-on való megolvadása okozza. A szemcsehatáron kialakuló olvadékfázis miatt az alakítás során a szemcsék elválnak egymástól (melegtörékenység). Ha csak nagyon kis mennyiségű eutektikum van a fémmátrixban, akkor még kovácsolható a vasbuca, ilyenkor azt lehet tapasztalni, hogy az eutektikummal terhelt részekből szemcsék peregnek ki az alakítás közben, ugyanakkor az egész tömb nem törik szét. A nagy foszfortartalmú, kovácsolhatatlan vasbucák előállítását hatalmas bánatot és elkeseredést okozott nekem mindig, mert nem tudtam mit kezdeni az ilyen anyaggal. Ennek ellenére sok összetört extrém foszforos vasbucadarabot félretettem, megőriztem, amik most nagyon jól jöttek.

Nos, ennek a bucamáglya technológiának a mostani látókörömbé kerülése ezt a kérdést is megoldotta. Én ennek

örülök a leginkább. Többször is megpróbáltam a korábbi extrém foszforos, törékeny vasbucadarabkákat a bucamáglyában összehegeszteni. Először csak néhány extrém foszforos vasdarabot adtam kisebb foszfortartalmú, jól kovácsolható bucavas darabokhoz, a sikereket látva aztán a későbbi kísérletekben pedig már csak ezeket az extrém foszforos vasdarabokat adtam be (erről szól ez a videó, itt:) Azt figyeltem meg, hogy ezek az összehegedés mellett, mintegy ki is „purgálódnak”, azaz valahogyan kovácsolhatóvá válnak. A magyarázatot nem tudom pontosan, de úgy vélem, hogy ez a $\text{Fe-Fe}_3\text{P}$ eutektikum a salakhoz hasonlóan kiolvad a szemcsék közül. Itt meg kéne magyarázni azt, hogy akkor ez miért nem megy végbe a kohóban? Szerintem azért nem, mert a kohóban mintegy 100-150°C-kal kisebb a vasbuca hőmérséklete, mert az jórészt „hidegben”, a fúvóka alatt ül, és a kapillaritás miatt, illetve a kohóban a bucát esetlegesen körbevevő salak „salaksztatikus” nyomása miatt egyszerűen nem tud az eutektikum kifolyni. A bucamáglyában viszont a vasrögök újra átmennek a forró fúvósíkon, ahol végbemegy ez a fajta kipurgálás. Ennek során, ahogyan megfigyeltem, (néha sajnos jelentős vasvesztesség mellett) egy laza vassváz, vasszivacs marad vissza, amit viszont már össze lehet tömöríteni.

Mindez az jelenti, hogy az őskohászok számára feltételezem, hogy nem is volt igazán gond az, ha a kohósítással kapott vasbuca extrém foszforos, kovácsolhatatlan volt. Ilyenkor óvatos tömörítéssel célszerű lehetett kb. öklömnyi darabokra törni, és a még meleg darabokat azonnal egy már előkészített máglyába rakni (munkaszervezés szempontjából kézenfekvő az, ha a kohóbontáskor kilapátolt még izzó faszenet eleve áthányják a máglyába, így a vasbuca darabok azonnal át is pakolhatók oda kipurgálásra, összehegesztésre). Ez a bucamáglya tehát a kohósítások során tapasztalható technológiai szórásokat, a vaskihozatal és a kapott vas kémiai összetétele tekintetében is mintegy kiátlagolja.

Itt térnék ki röviden azokra a megfigyelésekre, amiket a petesalmi vidrapark poros, aprószemű vasércének kohósítása során tettem. A vasérc összetétele az 1-es táblázatban látható (16-os minta), vastartalma nagyon nagy, meddője szinte csak foszforpentoxidot tartalmaz. A vasérc kohósítására az jellemző, hogy ha a tóból kiszedett állapotában adjuk be a kohóba, akkor a nagy vastartalom és a kis szemcseméret miatt extrém módon túlredukálódik, azaz szinte csak vas keletkezik belőle, salak pedig nem. A vassvázis ilyenkor az összes foszfort felveszi és nagyon szivacsos, poros, laza buca keletkezik, ami tömörítés közben darabokra hullik, megmunkálhatatlan. Ezt a vasércet egyetlen módon tudtam biztonsággal jól kohósítani, mégpedig az ún. granulációs technikával. Ennek során a poros vasércet kb. 10%-nyi jó, zsíros agyaggal kevertem össze, majd 20%-nyi oltott meszet adtam hozzá. Így egy jól formázható massa jött létre, amiből kb. 20-30g-os kis granulákat gyúrtam. Ezek a granulák már nem redukálódtak túl, sőt, inkább alulredukálódtak, így sok és jól folyó, nagyszerű salak keletkezett (pont olyan tömör és nagy salakmedvékkel, mint a régészeti leletek). A vasbucák bár kisebbek lettek, nagyon jól kovácsolhatóak, kis, vagy közepes foszfortartalmúak voltak. A redukálódás tekintetében ez a két véglet. Valahol a kettő között van mindenféle egyéb gypvasérc redukálódása. A bucamáglya tehát alkalmas lehet arra, hogy termelékenységet növeljen azáltal, hogy nagyobb vaskihozatalra, de rosszabb minőségű, kovácsolhatatlan foszforvasra járatott kohókból kikerülő vasanyagok kipurgálhatóvá és kompaktálhatóvá válnak. Annak eldöntésére, hogy melyik a jobb termelési stratégia, 1) jól alakítható, de kisebb bucákat előállítani és azokat kompaktálni, vagy 2) nem kovácsolható, de nagyobb bucákat előállítani, majd a máglyában azokat kipurgálni és kompaktálni Jó lenne pontosan tudni, milyen mértékű is a vasvesztesség a kipurgálás során, de ehhez még több kísérlet kell.



5. ábra: extrém nagy mennyiségben megjelenő $\text{Fe-Fe}_3\text{P}$ eutektikum a ferritszemcsék határán

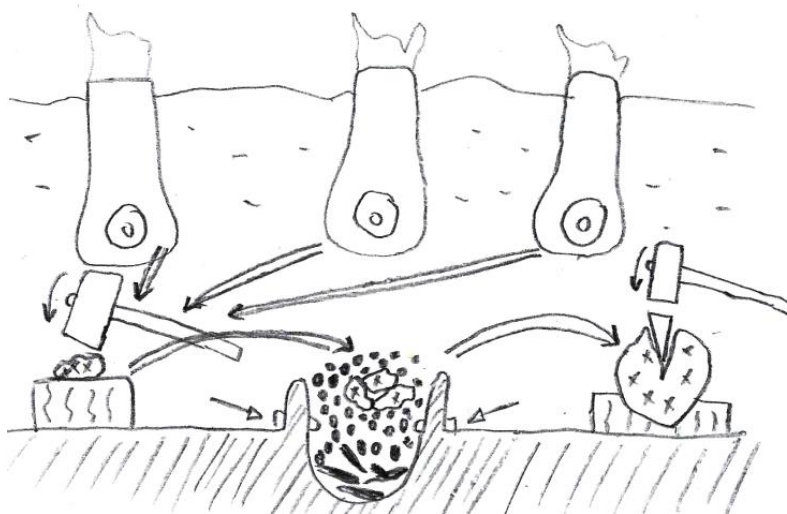
3.3 Munkaszervezési hipotézis

Összességében egy avar vagy honfoglalás kori somogyi vaskohászati műhely működését én úgy látom, hogy az egyes vaskohászati műhelyekben meglévő néhány kohót egyszerre egy időben, párhuzamosan működtették. Ezekben a kohókban a somogyi gyevasércek (egy-egy lelőhelyen belül is, ld. 2-4, 8-11 és 12-13-as minták az 1. táblázatban) nagyon heterogén kémiai összetétele miatt változatos vaskihozalatokat és kémiai összetételű (P- és C-tartalmú) vasakat kaptak. Természetesen törekedtek a minél nagyobb vaskihozatalra és a kohóbontások után a vasbucák alapos betömörítésére, de ez nem mindig jött össze. De sebj, mert a kohósítás (primer metallurgia) után következett a kapott bucavasak összehegesztése a bucamáglyában (szekunder metallurgia) célszerűen a sorban kibontott kohók még meleg,



6. ábra: Négyfújtatós bucamáglya

betömörített vasbucáit, az izzó faszénnel feltöltött máglyába rakták, a fújtatókat áthelyezték a máglyához (ehhez lehetett akár több fúvóka is, párosával hozzájuk csatlakozó, folyamatos légáramot biztosító fújtatókkal, ld. 6. ábra). Lefújtatták a bucákat a fúvósík alá, majd kivették és tömörítették, aztán visszatették a máglyába, ahol mint egy kovácstűzben még többször újraizzították és korong alakúra tömörítették a bucát végül pedig esetleg beékelték. Mindezt szinte kizárólag faszerszámokkal, ott a kohótelepeken. A munkaszervezésről egy összefoglaló ábrát is rajzoltam, ld. a 7. ábrát. Mindez egyébként éppen belefért egy napba. Egy reggeli munkakezdéssel a kohósítások koradélutánra lementek, estig pedig össze lehetett rakni a nagy bucát a máglyában. Nincs hulladék (régii mellfalak, faszén újrahasznosítása), nincs hőveszteség (meleg bucák, izzó faszén). Egy buca tehát egy napi termelés eredménye. Nyilván egy ilyen vascsinálás napra elő kellett készülni, faszenet égetni, vasércet bányászni, pörkölni, aprítani, stb. tehát vagy többen dolgoztak párhuzamosan a héttérben a kohászokat kiszolgálva vagy csak kevesen, de akkor ők szakaszos munkaszervezésben.



7. ábra: Munkaszervezés az Avar és honfoglalás kori somogyi vaskohászatban

4. Összegzés

A bucamáglya az Avar és honfoglalás kori somogyi vaskohászati műhelyek lényeges objektuma és technológiai lépése lehetett. A bucamáglyában az adott vaskohászati műhely kohóiban előállított kisebb-nagyobb, jobb-rosszabb minőségű (melegtörékeny és kovácsolható) egybe hegesztették, így állították elő azokat nagyméretű, esetleg ékelt, alaposan betömörített régészeti vasbucákat, amiket a korszakból és a területről ismerünk. A technológia nemcsak a kompaktálásra, hanem a nem kovácsolható, extrém foszforos, melegtörékeny bucavasak kipurgálására, foszfortalanítására is alkalmas, ezzel nagy termelékenységnövekedést elérve.