

Molnár Ferenc

## Az Árpád-kori Kolon (Balatonmagyaród) település vassalak-depójának anyagvizsgálata: a technológia és a nyersanyag eredet kérdése\*

### 1. Bevezetés

Az Árpád-kori Kolon település területét érintő vezetékfektetést (SávT-2 jelű gyűjtőállomás inertgázellátása) megelőző feltárás keretében 1100 m<sup>2</sup> terület kutatása történt meg. A Kis-Balaton egykori mocsárvidékének keleti szélén É–D-i irányban elnyúló Zalakomár–Balatonmagyaródi-hát közepét K–Ny-i irányban átszelő nyomvonalon (amely keresztezi a Zalakomár–Balatonmagyaródi országutat) 124 objektumot (gödörket, cölöplyukakat, tűzhelyeket, kemencéket, vermeket, kutat és két nagyméretű késő középkori gazdasági épülethez tartozó fal alapárkokat) bontottunk ki. A településjelenségek a domb derekán, az országút nyugati széle közelében sűrűsödtek. Néhány objektum római kori, egy gödör kora Árpád-kori (10–11. századi), számos objektum Árpád-kori (12–13. századi) leleteket tartalmazott. A legtöbb objektumból késő középkori kerámia és vas használati tárgyak kerültek elő. A feltárt Árpád-kori kút rétegsora nagymennyiségű és jó megtartású vassalakot szolgáltatott. E lelet összhangban van azzal az írásos dokumentumokból és régészeti adatokból is ismert ténnyel, hogy a X–XII. század során Kolon jelentős gazdasággal rendelkező központ volt. A vassalak mennyisége és tömege ezt a képet azzal árnyalja, hogy e központban a vasművesség is fontos szerepet játszott.

Nyugat-Magyarország vasművességének honfoglalás-, és Árpád-kori jelentősége – fontos kelta, római és avar kori előzményekkel – a feltárt kohók és kovácsműhelyek nagy számában is tükröződik (GÖMÖRI 2000, 23). A nyugat-magyarországi gyevasérc lelőhelyek fontos szerepet játszottak a vasművesség központjainak kialakulásában. A helyi gyevasérc nyersanyag kiaknázásán alapuló, hosszabb ideig működő kohászati központokra ad példát a Kolontól DK-re mintegy

50 km-re Somogyban Somogyfajsz, Pusztakovácsi, Bodrog–Alsóbú és Somogyvamos környezetében megismert nagyszámú kohómaradvány. A kohászati központok mellett a vas feldolgozásának ott alakulhattak ki lényeges központjai, ahol a kereskedelmi és egyéb gazdasági tevékenység is súllyal bírt. Ezt látszik alátámasztani az a tény, hogy noha Kolon környezetében nem ismerünk kohómaradványokat, mégis e területről számos, jelentősebb kovácsműhelyre utaló leletanyag került elő az utóbbi évtizedekben (Csatár, Csonkahegyhát, Letenye). E kovácsműhelyek az ÉNy-magyarországi és a somogyi kohászati központoktól kb. egyenlő távolságban, a fontos ÉK–DNy-i irányú kereskedelmi útvonalak mentén helyezkedtek el.

A jelenlegi vizsgálódásunk tárgyát képező koloni vassalakok kapcsán első lépésben az a kérdés vetült fel, hogy vajon kohászati tevékenységhez, vagy egy jelentősebb kovácsműhelyhez kapcsolható a salakdepó kialakulása. A salakanyag részletesebb fénymikroszkópos, elektronsugaras mikrokémiai és röntgendiffrakciós fáziselemzése részben szintén e kérdés vizsgálatát célozta, de egyben alkalmas volt arra is, hogy a nyersanyag eredetére is ismereteket szerezzünk.

### 2. A salakdepó jellemzői

A koloni salakdepó az ásatás során feltárt 10. kútból került elő. A 10. kút környezetében még további 23 Árpád-kori (12–13. századi) objektumot (hulladék-gödörök, cölöplyukak, 1 kemence előtérrel) azonosítottunk. Közülük – a kúton kívül – még 12 objektumban volt vassalak. Egyik sem műhelygödör. Az ásatástól 300 méterre DNy-ra 1987-ben Szőke Béla Miklós végzett feltárást, ahol 10–11. századi műhelygödört talált (SZŐKE 1988, 65), amelyben sok vassalak és állatsont is volt (Szőke B. M. szíves szóbeli közlése).

A 10. kút alján a 6, 15, 14. sz. rétegek a használat közbeni, természetes feltöltődést mutatják – az egyik rétegben sok, belepottyant kerámialelettel (1. kép). A 13. sz. homokréteggel kb. félig, természetes módon feltöltődött a már használaton kívüli kút. Ezt követően kezdtek a feltárási területen kívül elhelyezkedő műhely vassalak hulladékával rendszeresen tölteni a még mindig jelentős (kb. 2 méteres) mélyedést. A rétegek elhelyezkedésén jól látszik, ahogy egyik vagy másik oldalról beöntötték a szemetet: ezek a betöltési csíkok ugyanis nem olyan egyenletesek, mint a természetes betöltődés következtében létrejött rétegek (1. kép). Az egyes „iparihulladék” rétegek: kékes-szürke, faszenes hamu (3. sz. réteg); fekete erősen kormos, faszenes (8. sz. réteg); vörösesbarna, gyengén átégett agyag (10. sz. réteg); nagy égett agyagtömbök (9. és 4. sz. réteg) váltakoznak világos, ill. sötétsárga homokrétegekkel (6, 7. sz.). E rétegsor azt mutatja, hogy egy-egy feltöltés között némi idő eltelt: a laza homokos berétegződések viszonylag gyorsan lejátszódó természetes folyamatok eredményei lehetnek.

A vassalak mellett igen sok állatsont is került a hulladékba. Dr. Vörös István archaeozoológus (Magyar Nemzeti Múzeum) vizsgálta az anyagot. Megállapítása szerint a maradványok közel fele kecske szarvasap. Az objektumban előfordulnak megmunkált és másodlagosan alkalmazott szarvasmarha és ló csontok, valamint a kecske szarvasapokról levágott szaru-szarvak is (VÖRÖS 2003, 1).

Jelentős számban találtunk homokkő darabokat, másodlagosan salakosra vagy felületén üvegesre égett paticsdarabokat, valamint agyaggolyókat a műhelyhulladékban. Az ipari hulladék mellett rendkívül sok háztartási hulladék (kerámia (főző) fazekak darabjai; állatsont (szarvasmarha, juh, sertés, néhány szárnyas); fenőkő; kézimalom alsó köve; vastárgyak: kés, karika, csat, zabla, lyukasztó töredéke, néhány szög is előkerült.

### 3. Anyagvizsgálati módszerek és célok

A koloni vassalakok kivételesen jó megtartása lehetőséget adott részletes morfológiai megfigyelések kivitelezésére és az eredmények statisztikai kiértékelésére. A morfológiai megfigyelések során 31 db, teljesen ép, törésmentes vassalakot választottunk ki, és ezeken a jellemző méretadatokat (hosszúság, szélesség, magasság) határoztuk meg.

A további részletes anyagvizsgálatra 6 db jellemző morfológiájú vassalakot választottunk ki. E salakokat hosszirányuknak megfelelően kettévágtuk és belső struktúrájukat 10–40x nagyítású sztereomikroszkópban vizsgáltuk. A salakok jellemző részeiből ráeső és áteső fénymenetű, 40–400x nagyítású polarizációs mikroszkópos vizsgálatokra alkalmas 30 µm vastag

polírozott felületű metszeteket készítettünk. A polarizációs mikroszkópos vizsgálatok során az elsődleges szempont a salak anyagának általános jellemzése és szöveti-szerkezeti tulajdonságainak elemzése volt. A salak anyagának inhomogén-homogén jellege, a vastartalmú szilikátok és oxidok, illetve fémes fázisok, továbbá a maradék salakképző anyagok morfológiai-szöveti sajátosságai fontos támpontot adnak a salak anyagainak eredetére vonatkozóan. A fénymikroszkópos vizsgálatok során kerültek kiválasztásra a salak azon alkotói, melyeken elektronsugaras mikrokémiai elemzéseket végeztünk.

Az elektronsugaras mikrokémiai elemzések során a metszetek polírozott felületét szénnel gőzöltük fel, majd a salak egyes alkotóinak összetételét CAMECA SX 100 típusú berendezésen, 15 kV energiájú elektronsugárzás, 20 nA mintáram, 150–300 másodperces detektálási idők, és a salak szilárd fázisainak megfelelő összetételű standardok felhasználásával határoztuk meg a brnoi Masarik Egyetem Elektronmikroszkópos Laboratóriumában. A salakok szilárd fázisainak kémiai elemeire vonatkozóan a kimutatási határok 0.001 súly % körüliek voltak, 1% alatti hibával. A nagy pontosságú elektronsugaras elemzés alkalmazása nem csak a salak alkotóinak főelem-összetételére, de azok nyomelem-tartalmának meghatározására is lehetőséget adott. A salakok alkotóinak kémiai összetétele, nyomelem-tartalma megalapozta a nyersanyagok eredetére, illetve a salak képződési körülményeire vonatkozó értelmezést.

A vassalakok anyagának pontosabb megismerése céljából további röntgenpordiffrakciós fázisanalízist is végeztünk. E vizsgálatokra az egyéb műszeres méréseknek is alávetett salakok mintegy 100–100 grammnyi anyagát 0.063 mm szemcseméret alá porítottuk majd Philips 5000 típusú berendezésen, 40 kV gyorsítófeszültség,  $\text{CuK}\alpha$  sugárzás, 1 másodperces léptetési idő, és  $2\theta = 4\text{--}63^\circ$  detektálási intervallum beállítás mellett elemeztük. E vizsgálat alkalmazásával meghatározható, hogy milyen (5–10 tömeg %-nál nagyobb mennyiségben jelenlévő) kristályos fázisok alkotják a salakokat, és e kristályos anyagoknak milyen a relatív mennyisége.

### 4. Eredmények

A 10. sz. kútból előkerült nagyszámú ép vassalak részletes morfológiai elemzése alapján fény derült a salakok egy sajátos, és nyilvánvalóan technológiai okokra visszavezethető alakú tulajdonságára. A vizsgált vassalakok ugyanis felülnézetben egy irányba megnyúltan, jellegzetesen elliptikus, vagy csepp alakúak (5. kép B, F). Az aszimmetria oldalnézetben is jellemző: a salakok egyik oldalán, az ellipszis

hossztengelyének megfelelően rendszerint anyagkivastagodás látható, és ezzel szemközt, az elvékonyodó rész felé felülnézetben esetenként egy sajátos nyúlvány is látható (5. kép A, D, E). A kivastagodó rész alsó, és a nyúlványtól távolabbi felén néha a tűzhely tapasztásának kissé égett agyagmaradványai is láthatóak. A salakok felső, „sík“ felületén gyakran egy bemélyedés van, melynek a salak kivastagodó része felőli oldalán fényes, sima, üveges felszín is előfordul (5. kép B). E megfigyelések összhangba hozhatóak azzal a következtetéssel, hogy a salak megnyúlási iránya a fújtató befúvási irányát jelöli. A kivastagodó rész, tetején a bemélyedéssel és az aszimmetrikusan elhelyezkedő, az elvékonyodó résztől távolabb eső, de abba az irányba néző üveges, sima felszínnel, a fújtatóval áellenes oldalon, az agyaggal kitapasztott tűzhely fala mentén képződhetett. Egyes salakok esetében a felső oldal felülete nem sima, hanem lencsényi-borsónyi üveges anyagú gömbökkel borított. Ez esetben azt feltételezhetjük, hogy a fújtató által keltett légáramlat nem volt elég erős a salakolvadék elterítésére, és a tűzhely fújtatóval szemközti falához való terelésére. Ezzel összhangban van az, hogy az ilyen egyenetlen-szemölcsös felső felületű salakok felülnézetben kevésbé elliptikusak, csaknem kör alakúak.

További érdekes eredményre vezettek az ép salakokon végzett morfológiai megfigyelések. A mérési eredmények összesítéséből kitűnik, hogy a salakok hosszúsága, szélessége és magassága egymástól nem függetlenül, hanem arányosan változik (2. kép).

A salakok összetételére általában elmondható, hogy helyenként vasoxidok által barnára színezett sötét-szürke-kékesszürke üveges anyagból áll. Metszetekben azonban kitűnik az erősen inhomogén szerkezet. A legtöbb salak egymásra rétegződő üveges sávokból épül fel: e sávozottság az 5. kép A és E felvételein is kitűnik. Esetenként azonban erősen szemcsés jellegű, üvegcsappékból összetapadó szerkezetet is megfigyeltünk (5. kép D). A salak anyagában számos nem üveges törmelék-, és salakképző adalékanyag szemcse is azonosítható. Ezek leggyakrabban faszénmaradványok (vagy a helyükön képződött üregek) továbbá milliméteres nagyságú lekerekített kvarcscemcedarabok. A szemcsés törmelékanyag jelenléte főként a vassalak darabok „alsó“, domború részén szembevetődik: itt a törmelék részben a tűzhely tapasztásából is származhat, de hasonló törmelék a salak belsejében is előfordul. Érdekes az, hogy néhány salakdarab esetében az üveges alapanyagba ágyazódva állati csontmaradványok is felismerhetőek voltak (5. kép H). Ennek, az anyagvizsgálatok alább taglalt eredményeinek tükrében technológiai jelentőséget is tulajdoníthatunk.

Mikroszkópos vizsgálataink arra is fényt derítettek, hogy jelentős inhomogenitások észlelhetőek az alapvetően üveges alapanyagban. Az inhomogenitások részben az üveg anyagfolyásos, egymásra-rétegződő, máskor gömbös-fürtös jellegéből, illetve a nagymennyiségű gázhólyag jelenlétéből adódnak (6. kép A, B), másrészt különböző textúrájú anyagdarabok és szemcsék előfordulásából. Az üveges alapanyagra szintén jellemző az igen finomkristályos (néhány tíz mikrométer nagyságú) mikrolitok pamatos-kévs előfordulása is. A teljesen üveges alapanyagban élesen elhatárolódnak kevés üveges anyagot és sok adalékanyag-törmelék, vagy üveget egyáltalán nem tartalmazó, uralkodóan kristályos fayalit ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), vagy fayalit-wüstit (wüstit:  $\text{FeO}$ ) összetételű anyaghalmazok (6. kép F, G, H). Esetenként az eltérő kristályosságú részek éles határfelületű rétegekként következnek egymásra (6. kép E). A salakanyagok szövetének e nagyfokú változékonysága arra utal, hogy a salak különböző részei eltérő körülmények között képződtek, azaz gyors, illetve lassú kristályosodás, továbbá eltérő anyagi összetétel mellett jöttek létre.

A koloni vassalakok anyagának leggyakoribb kristályos fázisa a fayalit, illetve egy vizsgált salak esetében kirschsteinit ( $\text{CaFeSiO}_4$ ), továbbá a wüstit. A fayalit és kirschsteinit rendszerint vázkristályos-prizmás formákat alkot, és e durvakristályos halmazokban gyakran tűs-dendrites wüstit képletek úsznak (6. kép E, G, H; 7. kép A). Máskor a wüstit agytekervény-jellegű viszonylag durva-kristályos halmazainak mátrixát alkotja fayalit a jókristályos anyagrészekben (7. kép A).

A különböző salakminták fayalitjának és kirschsteinitjének összetételét görcső alá véve (1. táblázat) feltűnő az a sajátosság, hogy a mangán-tartalom esetenként igen nagy, és meghaladhatja a 7 súly % is. Ugyanakkor a Mg-tartalom is esetenként feldúsul, kiváltképp a kirschsteinit fázisban. A viszonylag magas Mn-tartalom egyes koloni salakok wüstit fázisaiban is kimutatható volt (2. táblázat). A mangán jelenléte tehát a koloni salakokra jellemző bélyeg. A wüstites fázisokban a magnézium szintén előfordul, és további jellegzetesség a Ti állandó jelenléte (2. táblázat).

Egyes salakokban a nagyfelbontású elektronmikroszkópos vizsgálatok során azonosítható volt a magnetit ( $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ) előfordulása is. A magnetit vagy sajátalakú szemcsék formájában, főként az eltérő kristályosodottságú anyaghalmazok határán, vagy pedig a wüstit-fázisok szegélyén jelenik meg (6. kép G; 7. kép C). A magnetitre is jellemző a Ti-tartalom és esetenként a viszonylag nagy Mn-tartalom (3. táblázat). A magnetit előfordulásával kapcsolatban fontos hangsúlyozni azt, hogy míg a wüstitben a vas csak két vegyértékű (redukált) állapotban van, addig a

magnetitben a két vegyértékű vas mellett már három vegyértékű (oxidált) állapotú vas is beépül a kristályrácsba. Az egyes anyagalmazokban a magnetit előfordulása wüstit nélkül, illetve képződése a wüstit rovására (7. kép C) tehát arra utal, hogy a salakok változó oxidációs-viszonyok mellett képződtek.

Igen fontos megfigyelés az, hogy a vassalakok üveges, vagy kristályos részeiben fémszemcsék is előfordulnak (6. kép D; 7. kép D). A fémszemcsék gyakran sarkos-szilánkos megjelenésűek, máskor pedig kerekded, olvadéksepp jellegűek. A sarkos szilánkos megjelenés mindenképpen mechanikai hatásokat (kalapálás) tükröz.

A fémszemcsék elektronsugaras mikrokémiai elemzése merőben szokatlan eredményre vezetett. Egyes fémszemcsében csaknem a Ni az uralkodó fázis, illetve a vas mellett rendszerint kimutatható a Cu, Co, Cd, Zn és Ag jelenléte is (4. táblázat). A Mn, Ti és a Ni mellé tehát e nyomelemeket is felvehetjük a koloni vassalakok sajátos elemasszociációja közé.

Az üveges fázis kémiai összetételére is nyertünk adatokat az elektronsugaras mikrokémiai elemzések során (5. táblázat). Mint az várható volt, az üveges anyag alkáliákban (kálium és nátrium) dúsult: ez természetes velejárója a salakképződésnek, mivel a korabeli vaskohászat és vasfeldolgozás során a salakképződés elősegítése érdekében magas alkália és szilíciumoxid tartalmú adalékanyagokat használtak fel (a salakképződés elősegítette a vas „tisztulását”). Ezen adalékanyagok maradványai a koloni vassalakokban is megfigyelhetők, és tört-szilánkos, vagy kerekded kvarcsemmcsék ( $\text{SiO}_2$ ), illetve részlegesen megolvadt káliföldpát ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , több-kevesebb Na-tartalommal) formájában ágyazódnak az inhomogén üveges alapanyagba (6. kép B, C; 7. kép D). Az salaküveg összetételének egyes esetekben szintén jellemző vonása a rendkívül magas Ca-tartalom (5. táblázat). Ez különösképpen érdekes abból a szempontból is, hogy a nagy Ca-tartalom mellé jelentősebb foszfor-feldúsulás is kapcsolódik az üvegben. E megfigyelés összeköthető azzal a ténnyel, hogy egyes salakdarabok anyagában csonttöréseket is azonosítottunk. Ezen kívül az elektronmikroszkópos vizsgálatok során azonosítottunk egy olyan Ca-tartalmú fázist is aminek sztöchiometriailag ugyan nem megfelelő mennyiségben, de jelentősebb foszfortartalma (7–9 súly %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) volt. E fázis valószínűleg egy magas hőmérsékleten részben elégett csont apatitjának a maradványa (az apatit összetétele:  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ ). Eme megfigyelések felvetik annak a lehetőségét, hogy a vassalakok foszfor-tartalmának egy része a tüzhelybe szórt állati csontokból származhat.

A salak üveges anyagában a fő alkotók mellett jellemző kísérő elemként szintén azonosítható a Mn, a

Ti és a Mg is, illetve ezek mellett a bárium is jelentősebb koncentrációkban fordul elő (5. táblázat).

Az üveges alapanyag egyes részein számos esetben azonosítottunk nagyon finomkristályos, tollszerűen kévés felépítésű részeket (7. kép B). E részekben a finomszemcsés fayalit és wüstit mellett a fayalittal ún. szimplektites összenövést alkotó, K-gazdag fázisok is előfordulnak. E fázisokon végzett kémiai elemzések nem adtak sztöchiometrikus eredményeket, de az adatok a leucit ( $\text{KAl}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ) és a kalszilit ( $\text{KAlSiO}_4$ ) közé eső összetételekre utalnak. A leucit és a kalszilit az olvadék kovasav-tartalmának függvényében a káliföldpát részleges, vagy teljes megolvadása során, gyors hűlés mellett képződő fázisok. E fázisokat a röntgenpordiffrakciós vizsgálat kimutatta a mintákban (ld. alább).

A röntgenpordiffrakciós vizsgálatokkal olyan szilárd kristályos fázisok jelenlétét igyekeztünk meghatározni, melyek finom szemcseméretük miatt sem fénymikroszkóppal, sem elektronmikroszkóppal nem határozhatók meg egyértelműen. Természetesen az egyéb, fő fázisok is uralkodó mennyiségben megjelentek a röntgenpordiffrakciós fázisanalízis felvételein, sőt a nagymennyiségű üveg jelenléte miatt rendszeresen észleltük az üveges anyag hatását mutató jellegzetes alapvonal-emelkedést is. Egy erősen üveges, és egy jókristályos fázisokat bőven tartalmazó minta jellegzetes röntgenpordiffraktogramját mutatja be a 3. kép, míg az összes vizsgált mintára vonatkozó eredményeket a 6. táblázat foglalja össze. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az egyéb vizsgálatokkal azonosított kristályos állapotú komponenseken kívül a röntgenpordiffrakciós vizsgálat kimutatta a csritobalit, a leucit, a kalcit és az aragonit jelenlétét is a koloni vassalakokban. A leucit a fentiekben említett nagy K-tartalmú fázis, mely a salakképző adalékanyag káliföldpát-tartalmának megolvadásából származhat. A cristobalit a kvarccal azonos összetételű, de más szerkezetű, rendszerint igen finomkristályos formában megjelenő fázis. Képződése gyorsan hűlő szilikát-olvadékok alapanyagában (természetes folyamatok esetén magas szilícium-dioxid tartalmú lávaközetekben) nem meglepő. A kalcit és az aragonit azonos összetételű, de eltérő szerkezetű kalcium-karbonát. Feltehető, hogy a kalcit az adalékanyaggal kerülhetett a salakba, míg az aragonit utólagos, talajvízből kivált ásvány lehet a salak porózus anyagában.

## 5. Következtetések

A koloni vassalakok kivételesen jó megtartása lehetőséget ad arra, hogy a morfológiai megfigyeléseket – az egyéb anyagvizsgálati eredményeket is figyelembe véve – technológiai következtetések levoná-

sára használjuk fel. A vassalakok sajátos alakja legközelebb az un. plan-konvex típusú salakokhoz áll, melyet a szakirodalom főként a kovácsolási és nem a kohászati folyamatokhoz köt (BAYLEY ET. AL. 2001, 15). A koloni salakok (felső) „plan“ oldalán megfigyelhető morfológiai bélyegek (bemélyedő felszín, a salak kivastagodó része felé eső sima, üveges résszel, és az ellentétes oldalon elhelyezkedő kivékonyodó nyúlvánnyal) a még képlékeny salak felszínére a fújtatóból érkező légáram anyagterelő hatását tükrözik. E jelenség a buca kohászat kemencéiben nem lép fel, mivel a viszonylag kiegyenlített hőmérsékleti viszonyok között a salak a redukálódó ércen és a faszénágyon keresztül csöpögve rendszerint a kohó aljában gyűlik össze, és felszíne a fújtató légáramának hatását nem tükrözi. A kohó alján képződő salakokkal ellentétben, a koloni vassalakok jellegzetes réteges szerkezetet mutatnak, és a kovácstűzhely változó hőmérsékleti és oxidációs körülményeit tükrözően erősen inhomogén, üveges és kristályos olvadékcseppekből állnak össze, a kristályos olvadékcseppek összetételének széles spektrumú változékonyságával, melyben wüstit és magnetit is helyet kap az egyéb szokásos salakképző szilikátos fázisok mellett. A salakdarabok viszonylag nagy mérete és tömege azt is kizárja, hogy már félkész vasrudak kovácsolása során képződtek: ez utóbbi esetben nem várhatunk nagy tömegű salakképződést és a salakképző anyagok használata sem jellemző. Összességében a koloni salakok leginkább a vasbucák újraiztítása során képződő vassalakokra emlékeztetnek. Ilyen, sajátosan elliptikus alakú, hosszirányban 10–15 cm nagyságú vassalakokat a Nemeskér–Tüskés-réten feltárt IX.sz.-i kohótelepből írt le Gömöri János (GÖMÖRI, 2000, 112). A nemeskéri telep esetében a bucaizzító kemencékben keletkezett salak kivastagodó részéhez salakkivezető csatorna is kapcsolódott, mely azonban a koloni salakoknál hiányzik: e technológiai különbség valószínűleg azt tükrözi, hogy a koloni kovácsműhely már előzetesen, a kohászat helyén „előkovácsolt“ vasbucával dolgozott és így viszonylag kevesebb salak képződött, melynek elvezetéséről nem volt szükséges gondoskodni.

A koloni vassalakok morfometriai jellege, azaz a hosszúság, szélesség és magasság adatok közötti korreláció jelenléte arra utalhat, hogy a salakok azonos technológiával készültek, hasonló méretű tűzhelyeken képződtek, sőt azt a következtetést is megengedi, hogy esetleg ugyanazon tűzhelyen képződött salakokról van szó.

A morfológiai bélyegeket és a bucaizzításra utaló sajátosságokat összevetve megkísérélhetjük magának a kovácstűzhelynek a rekonstrukcióját is. E rekonstrukciót a 4. kép szemlélteti. A rekonstrukció felhasználásával elének tárul a koloni kovácsműhelyben folytatott tevékenység egy részlete, melyet az anyag-

vizsgálati eredmények is alátámasztanak. Eszerint a kovács a vasbucá anyagát a felizzított faszénágyra helyezte, majd kvarc- és földpát-tartalmú homokot szórva a felszínére a fújtató légáramával hevítette. A hevítés következtében az adalékanyag elfolyósodott és a bucában még jelenlévő salakkal összeömlendve a tűzhely aljára csöpögött. A kellően kiizzított bucát a kovács a tűzhelyről levéve kalapálással tömörítette, majd ismét visszahelyezte a tűzhelyre, ahol további adalékanyagokkal együtt hevítette. A fújtató erős légáramában a kalapált buca felületéről a meglazult salakdarabok (a tűzhelyen képződött és még a kohósítás során a bucába zárult salakdarabok) és fémszemcsék is a képződő salak anyagába kerülhettek. A hevítés-salakképzés-kalapálás folyamatát a kielégítő eredmény eléréséig többször ismételhették, ezáltal a tűzhely aljzatában felhalmozódó, időnként újraiztító salak réteges-inhomogén szerkezetűvé vált.

A fenti gondolatmenet mentén az anyagvizsgálati eredmények további kérdéseket vetnek fel. Ezek közül a legfontosabb a fémszemcsék és az egyéb salakfázisok jellemző elemösszetételéhez társul. Láttuk, hogy a wüstit és a fayalit elemháztartásában jellemző módon a Mn, a Ti, a Ca és a Mg azonosítható, míg az üveges alapanyagban ezek és az alkáliák mellett megjelenik a foszfor és a bárium is. A gypvasérc kohósítása során képződő bucákban és salakban a foszfor jelenléte rendszeresen kimutatható, mivel a Ny-magyarországi gypvasérccek 0.2-0.3 – 2-3 súly %  $P_2O_5$ -tartalmúak (GÖMÖRI, 2000, 165, 170, 244). A gypvasérccekre szintén jellemző a hasonló nagyságrendű MnO tartalom, az akár tíz súly% nagyságrendet elérő CaO tartalom és a néhány tized súly % mennyiséget elérő MgO-tartalom. Gypvasérc eredetű bucák kovácsolásával tehát a koloni salakok kristályos szilikátos fázisainak elemháztartása jól összhangba hozható. A bárium esetleg származhat a salakképző kálicföldpátos kvarchomok földpátjából (mivel a bárium a kálicföldpátok jellegzetes nyomeleme).

A fémszemcsék összetételét tekintve azonban már komoly problémákba ütközünk, hiszen a gypvasérccekből, és így a belőlük készült vasbucákban nem számolhatunk számottevő Ni, Co, Cu, Zn, Cd és Ag feldúsulásokkal. A teljesség kedvéért azonban szükséges megjegyezni, hogy egy somogyfajsi vasbucá nyomelemzése kapcsán tized-század súly %-nyi Ni és Cu tartalmat mutattak ki, bár általában a somogyfajsi leletekben nem jellemző a Ni előfordulása (GÖMÖRI, 2000, 162). Ugyanakkor a gypvasérccekből kohósított bucákban rendszeresen találunk foszfort 0.01–1 súly %-nyi mennyiségben. A koloni vassalakok fémszemcséi feltűnően foszfor-szegények (4. táblázat).

A vasbucák IX–XIII sz.-i feldolgozása során

keletkezett salak, illetve az előállított vastárgyak nyomelem-összetételéről csak szórványadatokkal rendelkezünk. Figyelemre méltó azonban az a tény, hogy az erre az időszakra datált Ny-magyarországi kovácműhelyekből származó leletekben rendszeresen feltűnik a Ni és a Cu, mint jellemző nyomelem. Gömöri János adatbázisa szerint az Árpád-kori hidegségi kovácműhelyben készült vasszegekben tized súly % mennyiségű nikkal van jelen (GÖMÖRI, 2000, 81). Valter Ilona kutatásai során a csatári, X–XI. századi kovácműhelyben talált fémtermékekben azonosította a Ni előfordulását a metallográfiai vizsgálat (VALTER, 1979, 56). A réz jelenlétével már sokkal gyakrabban találkozunk a különböző kohászati és vasműveségi leletek sorában. A réz jellemző nyomelemként (század súly % koncentrációban) jelen van a nemeskéri típusú bucakemencék (VIII–IX. sz.), és az imolai típusú bucakohászat Ny-magyarországi lelőhelyein (GÖMÖRI, 2000, 230, 244). A koloni leletekhez leginkább hasonló eredményt az Árpád-kori letenyei vassalakok fémszemcséinek vizsgálata szolgáltatott, mely szintén kimutatott magas Ni- és Cu-tartalmú fémszemcséket egyéb színesfém-nyomelemek kíséretében (MOLNÁR, 2003, 1).

A gyevasérc összetételéből kiindulva nem tudjuk megnyugtatóan magyarázni a magas Ni-tartalmú és egyéb nyomelemekben dúsult fémszemcsék előfordulását a koloni (és letenyei) vassalakokban. A fémszemcsék elemháztartása inkább olyan vasércből előállított bucákra utal, mely szulfidos értelepek mállási övében képződött vasoxidos kéreg (az ún. vaskalap) ércanyagának feldolgozásából származhatott. Olyan szulfidos értelepek, melyben a Ni, Co, Cu, Zn, Cd és Ag együttesen fordul elő elsősorban kolontól nyugatra, az Alpok területén, illetve Dny-ra a Dinaridák ÉK-i elvégződési zónájában ismertek. A csatári leletek kapcsán Valter Ilona is felhívta a figyelmet hogy a vas sajátos összetétele nem magyarázható a vasérc dunántúli eredtével (VALTER, 1979, 56). A koloni kovácműhelyben feldolgozott vasbucák fémszemcséinek összetétele szintén megengedi e felvetést, de nyilván még további vizsgálatok szükségesek egy megalapozottabb hipotézis felállításához.

A koloni vassalakok foszfor- és kalcium-tartalmát érdemes olyan szemzőgből is megvizsgálni, hogy esetleg nem gyevasércből készült bucák feldolgozása során keletkezett salakról van szó. Ezt az is indokolja, hogy a vassalak fémszemcséi nagyon alacsony foszfor-tartalmúak (4. táblázat). Láttuk, hogy a gyevasércből készült vas a nyersanyag összetételéből következően viszonylag magas foszfortartalmú, azonban más eredetű vasérc esetén ez már nem mindig teljesül. A foszfor kérdése azért is érdekes, mivel a vas foszfortartalma erőteljesen befolyásolja a belőle

készült tárgy minőségét és felhasználhatóságát. A viszonylag magas (0.1–1 súly %)  $P_2O_5$ -tartalmú vas nehezebben kovácsolható, viszont a belőle előállított tárgyak szívósabbak, keményebbek, és a korrózióval szemben ellenállóbbak. Finomabb kovácsolást igénylő anyagoknál azonban a foszfor-szegény összetétel a kedvező, és különösképpen akkor volt lényeges az alacsony foszfortartalom, amikor jó minőségű vasat karburizálással és hőkezeléses kovácsolással állítottak elő. Ez utóbbi esetben azonban már magas fokú technológiai eljárás ismerete feltételezhető. Például a kora középkori Meroving vasműveségből (V–VIII sz.) ismerjük azt a jelenséget, hogy a „nemesebb“ felhasználású és bonyolult kovácsolást igénylő tárgyakat (kardok, török, lándzsahegyek) alacsonyabb foszfortartalmú, kovácsolás közben karburizált és hőkezelt vasból készítették, mint a „hétköznapi“ tömegtermelésű szegek, kapcsok, kapák stb. vasáruit (EHRENREICH ET AL. 2005, 54). A körülményes és munkai igényes hőkezelési és karburizálási eljárások nélkül, a szívós és ellenálló vastárgyak készítésére csak a foszfor-tartalmú vas felhasználása adott lehetőséget.

A koloni lelőhelyen a vassalakokkal együtt nagymennyiségű állati csont és szarvmaradvány került elő. A csontmaradványok megmunkálás, fűrészelés nyomait mutatják. Kések és egyéb vágóeszközök nyelének készítéséhez történő felhasználásuk kézenfekvő lehetett. E tárgyak esetében azonban a vágóél szívóssága és a penge korrózióval szembeni állékonyasága is fontos követelmény. Ha elfogadjuk azt a megközelítést, hogy a kolonban feldolgozott bucák legalább egy része nem gyevasércből készült (ahogyan azt a vasszemcsék Ni-, Co-, Cu-, Zn-, Ag-tartalma és foszfor-szegénysége sejteti), továbbá a bonyolult hőkezeléses és kovácsolási eljárás jó minőségű karburizált acél előállítására nem volt ismert a kovácműhelyben, akkor a vágószerszámoknak megfelelő keménységű vas előállításához a buca feldolgozása során a foszfor-tartalmat emelni kellett. Tehát a nem gyevasérc eredetű bucákban a hiányzó foszfor-tartalmat tapasztalati úton, a bucából készült vastárgyak megmunkálási és felhasználási tulajdonságainak ismeretében a kovács pótolni igyekezett a buca feldolgozása során a kielégítő használati minőség elérése céljából. Erre szolgálhat magyarázatul az, hogy a vassalakok szórványosan állati csontmaradványokat, illetve e csontokból keletkezhetett Ca-ban és foszforban gazdag fázisokat is tartalmaznak, azaz a kovácsolás közben a tűzhelybe szórt csontanyag elégetésével érte el a koloni kovács a vas felhasználás szerint megkívánt minőségének szabályozását.

## Jegyzet:

\* A Balatonmagyaród-Kolon lelőhelyre és a 2002. évi feltáráshoz kapcsolódó régészeti adatokat dr. Kvassay Judit állította össze. A lelőhely egészét lásd Kvassay Judit:

Árpád-kori és késő középkori településrészletek Balatonmagyaród–Alsó-Koloni-dűlő lelőhelyen. Zalmúz 15 (2006) 259–280.

## Irodalom:

BAYLEY ET AL 2001

Bayley, J. – Dungworth, D. – Paynter, S.: English Heritage Publications, vol. 01, 30 p.

EHRENREICH ET AL 2005

Ehrenreich, R.M. – Hamilton, E. – Nash, S.K.: Far from Barbaric: Re-assessing the Sophistication of Merovingian Metalworking, JOM, Vol. 57, No.8, pp. 51–55.

GÖMÖRI 2000

Gömöri J.: Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannoniában. Soproni Múzeum Régészeti Gyűjteménye, 373p.

MOLNÁR 2003

Molnár F.: Letenyei kohósalak leletek archeometriai

vizsgálata. Kutatási jelentés 2003. ZGM Adattár 2595–2003.

SZÓKE 1988

Szóke B. M.: Zalakomár–Alsó Kolon (Zala m). In: Sz. Burger A. szerk.: Az 1987. év régészeti kutatásai. RégFüz 41 (1988) 65.

VALTER 1979

Valter I.: Árpád-kori kovácsműhely csatáron. Zalai Gyűjtemény 12 (1979) 43–74.

VÖRÖS 2003

Jelentés a Balatonmagyaród–Alsó-Koloni-dűlői állatcsontanyag meghatározásáról. Kézirat. ZGM Adattár 2566–2003

## Study of a slag-dump from the Árpadian period of Kolon settlement (Balatonmagyaród): technology and origin of raw materials

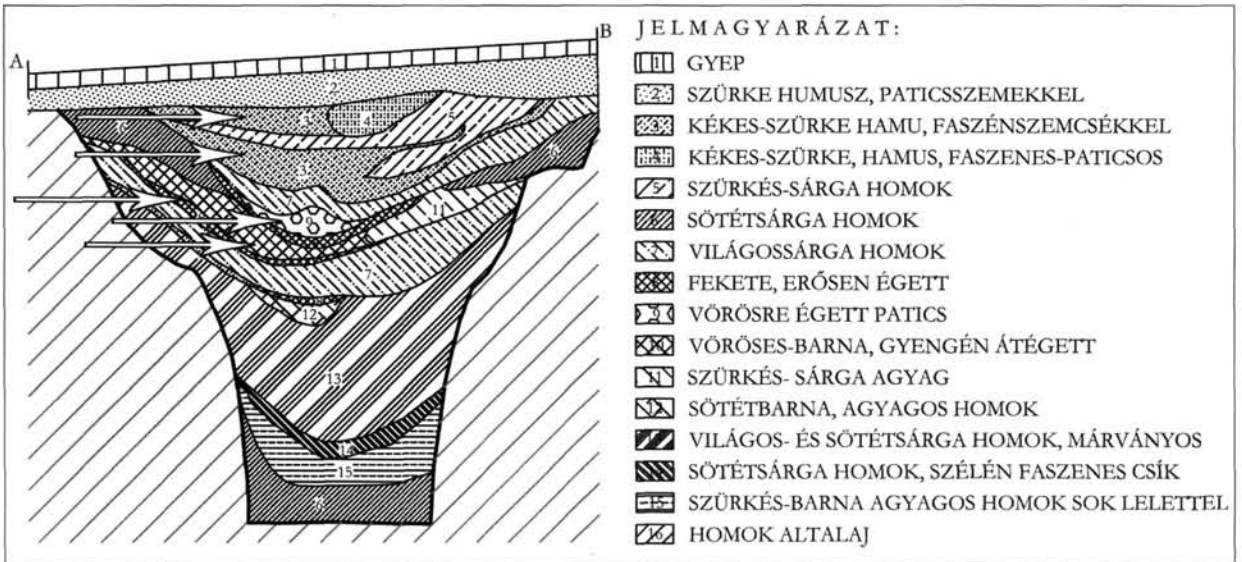
Morphological and textural characteristics of smithing slags from Kolon indicate that they formed as a result of heating and forging of blooms. Results of morphological examination (e.g. correlation between length, width and thickness parameters) of plan-convex slags indicate that they were formed by identical technology or in the same forge. By the means of macroscopic and microscopic examination, electron microprobe and X-ray diffraction analyses the following components were identified in the samples:

- iron and ferro-alloys, in some cases with high Ni content and with Co, Cu, Zn, Cd and Ag trace elements
- wüstite: FeO (with Ti and Mn content)
- magnetite: FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (with Ti and Mn content)
- fayalite – kirschsteinite: Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> – CaFeSiO<sub>4</sub> (with considerable Mn and Mg content)
- kalsilite-leucite: KAlSiO<sub>4</sub> – KAlSi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>
- glass with high iron content that is also rich in alkalines and alkali metals; it also exhibits manganese and phosphorus
- remnants of additives: quartz and cristobalite – SiO<sub>2</sub>, potassium feldspar – KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

Trace element contents of silicate and glass phases indicate that the reconstructed forge was partly used to

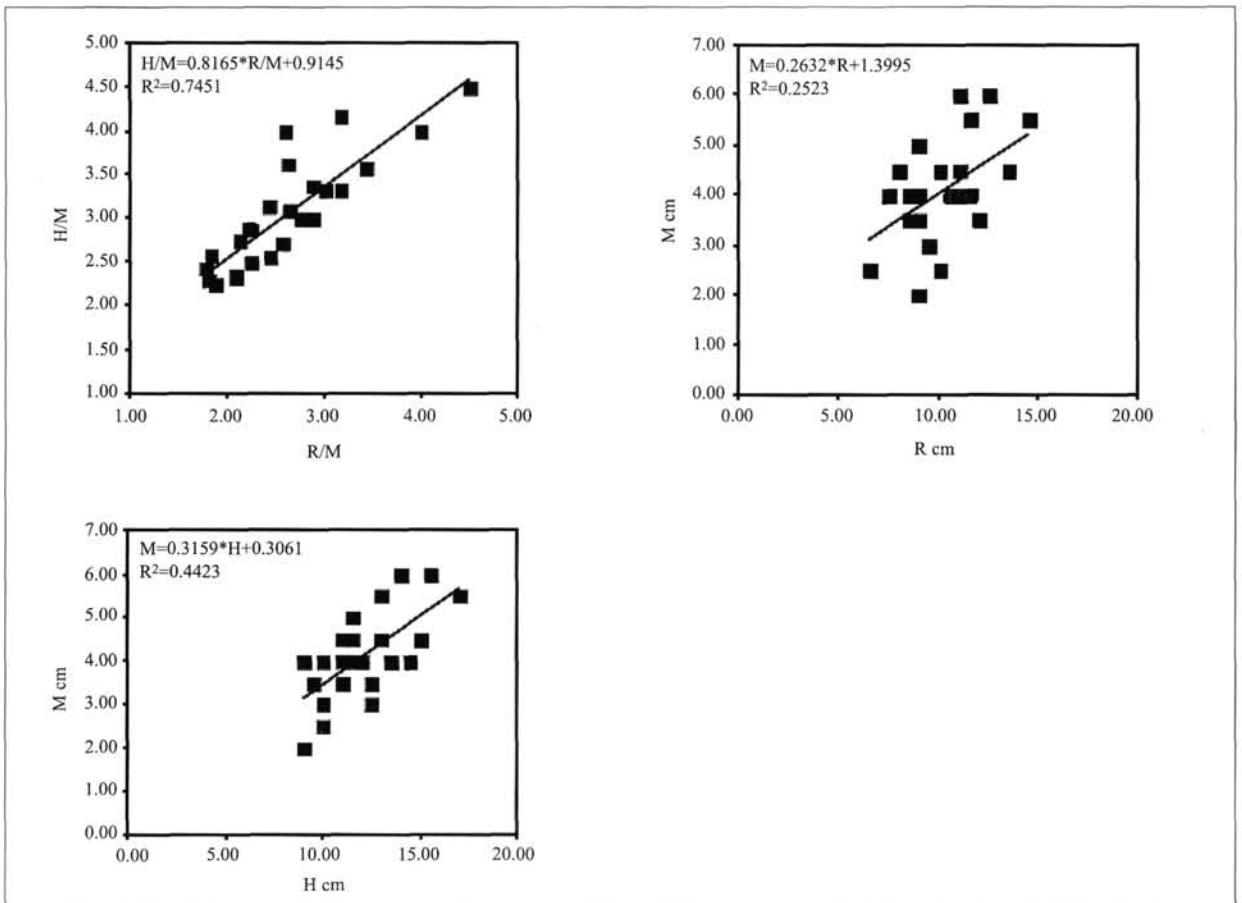
produce iron from blooms made from bog-ore. However, the Fe-Ni alloy composition of some metal pieces in the slag and their minor element contents (Co, Cu, Zn, Cd, Ag) cannot satisfactorily be explained by the use of local bog-ore only. This observation is in direct correlation with previous assumptions, i.e. that some of the blooms originate from foreign (mountainous) regions where ores of different source and composition occur. The specific components of slags and iron objects from West Hungary requires further research, especially because the processing of non-bog-ore to make highly durable and corrosion-proof objects (e.g. knives) may have required control of the phosphorus content of the iron during forging. This method was used instead of a more developed and also more demanding forging technique when heat is controlled more efficiently allowing heat treating and carburization, when carbon is introduced into a metal. Controlling of the phosphorus content of the iron may be indicated by remains of animal bones that were found in the slags and also by the high calcium and phosphorus content of other fragments from Kolon.

Translated by Attila Kreiter



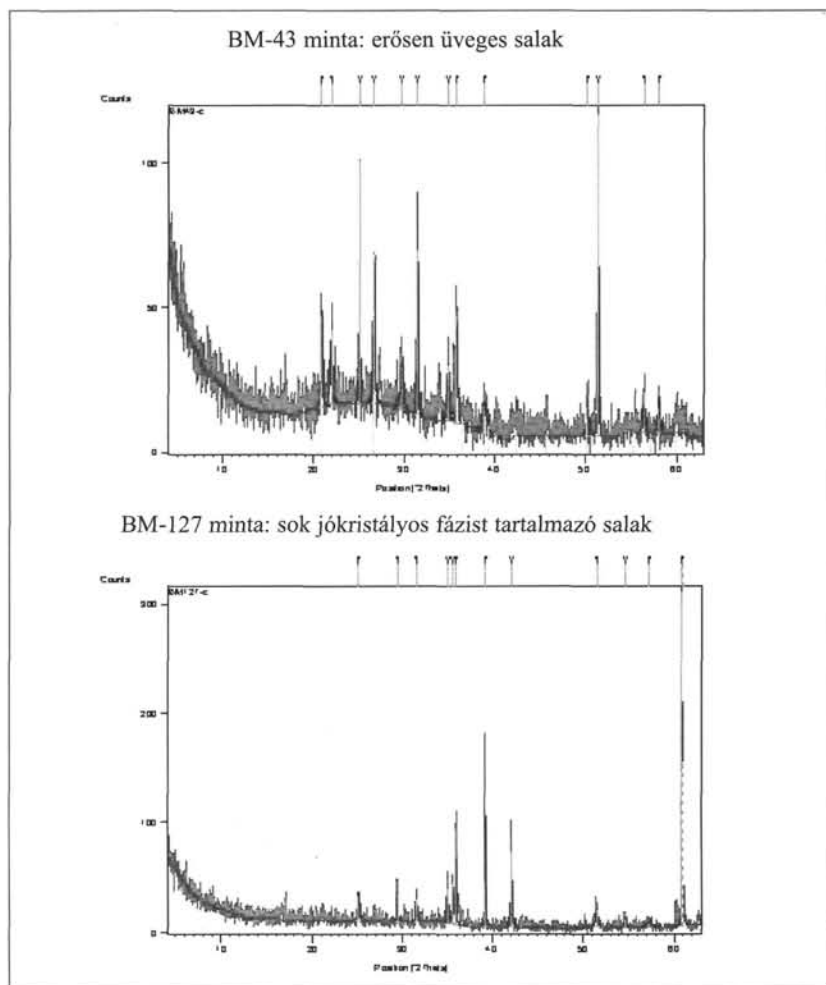
1. kép: A balatonmagyaródi 10. objektum, kút szelvénye

Fig. 1: Balatonmagyaród, wall section of the well

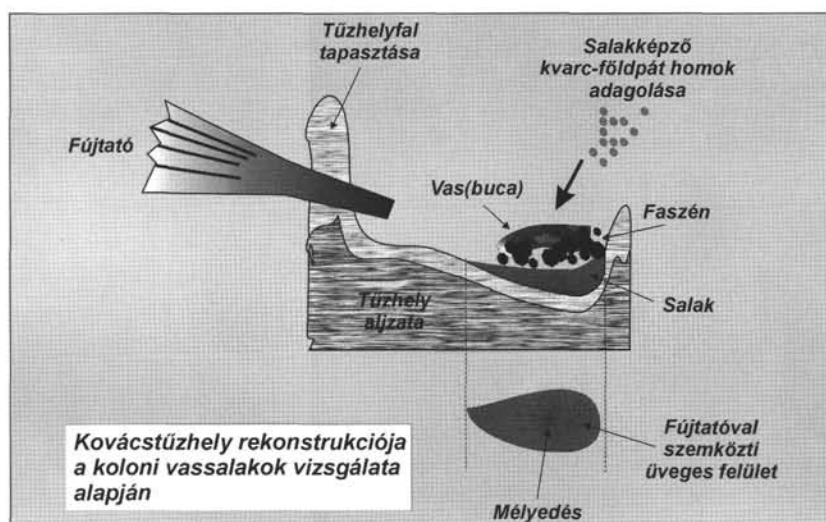


2. kép: A morfometriai vizsgálatok eredményei. Az adatok az mutatják, hogy az elliptikus vasszalakok kisebb (R) és nagyobb (H) átmérője és legnagyobb vastagsága (M) között összefüggés van. Ez arra utalhat, hogy a salakok ugyanazon tüzhelyen képződtek.

Fig. 2: Results of morphometric analysis. The data indicate that there is a correlation between smaller (R) and larger (H) diameters as well as the largest thickness (M) of elliptical iron slags. This may indicate that the slags were formed in the same forge.

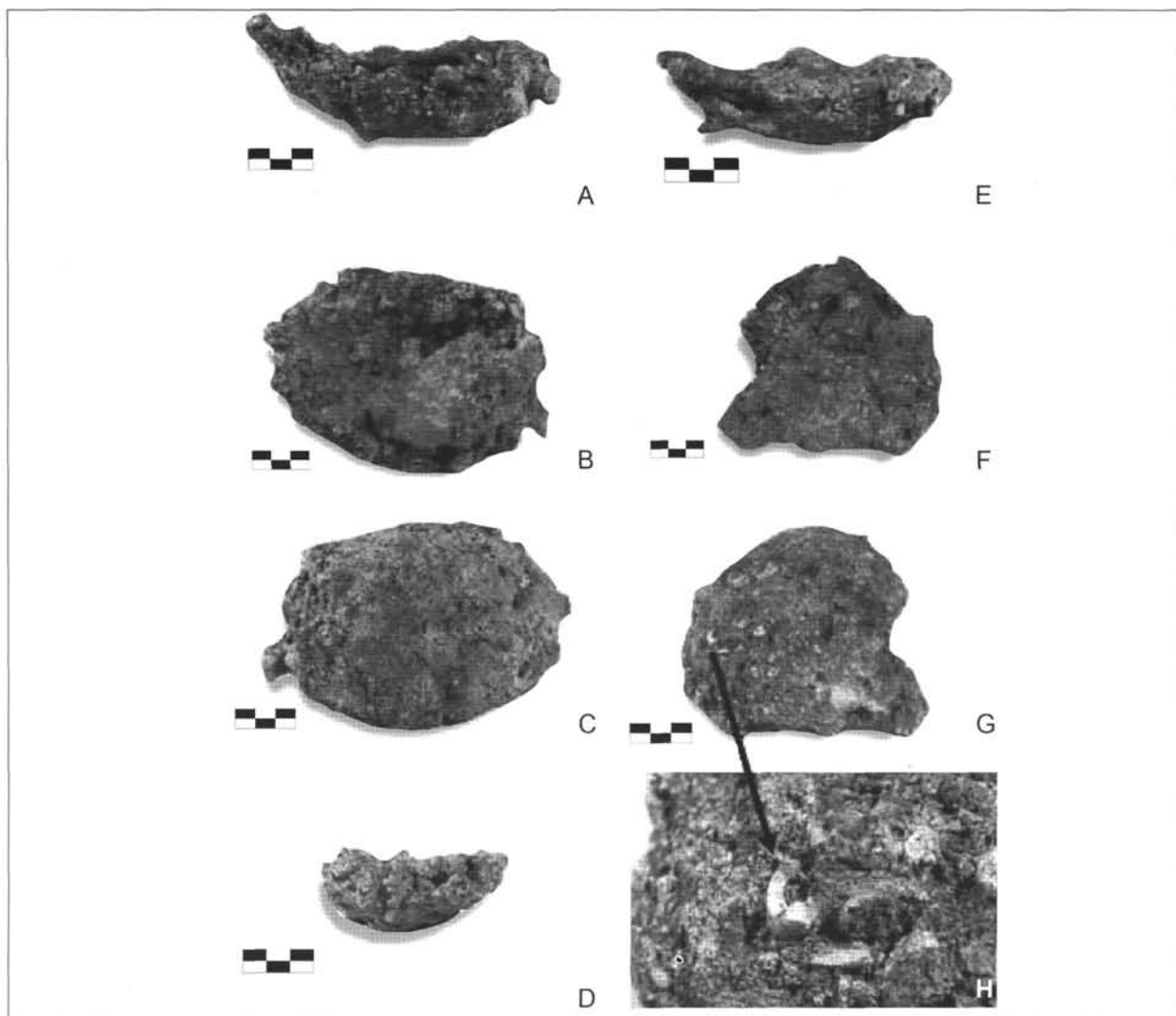


3. kép: Két jellegzetes röntgen-pordiffrakciós felvétel a koloni vassalakok anyagából.  
Fig. 3: Two characteristic X-ray powder diffraction graphs of the slags from Kolon.



4. kép: A koloni kovácsműhely bucaizzító tüzhelyének rekonstrukciója a vassalakok morfológiai és szöveti-szerkezeti jellemzői alapján.

Fig. 4: Reconstruction of the smithing forge from Kolon based on the morphological and textural characteristics of the slags.



5. kép: A vassalakok morfológia és szerkezeti jellemzői.  
Fig. 5: Morphological and structural features of the slags.

A: Egy jellegzetesen inhomogén, réteges szerkezetű vassalak oldalnézeti képe.

A: Profile of a typically heterogeneous, layered slag.

B: Az A képen látható vassalak felülnézeti képe. Jól látható a kivékonyodó résszel szemközti oldalon, a kivékonyodó rész felé néző csillogó, sima üveges felszín. E felszín a fújtatóból érkező légáram hatására alakulhatott ki.

B: The slag from Fig. A from above. Opposite to the tapering appendage a smooth glassy surface can be observed that was possibly formed by the blast from the bellows.

C: Az A képen látható vassalak alsó, domború része. A sima felület a tűzhely tapasztott aljzata mentén alakulhatott ki.

C: The lower, convex part of the slag from Fig. A. Its relatively smooth surface was formed on the plastered bottom of the forge.

D: Erősen üveges, olvadékcseppes struktúrájú vassalak oldalnézeti képe

D: Profile of a highly glassy slag with "melt-drops" structure.

E: Erősen inhomogén, réteges szerkezetű vassalak oldalnézeti képe.

E: Profile of a highly heterogeneous, layered slag.

F: Az E képen látható vassalak felülnézeti képe. A bal alsó részen látható kivékonyodó nyúlvány jelöli a fújtató helyét, a vele szemközti oldalon pedig a fújtató légárama által feltorlódott anyag jellegzetes elrendeződése látható.

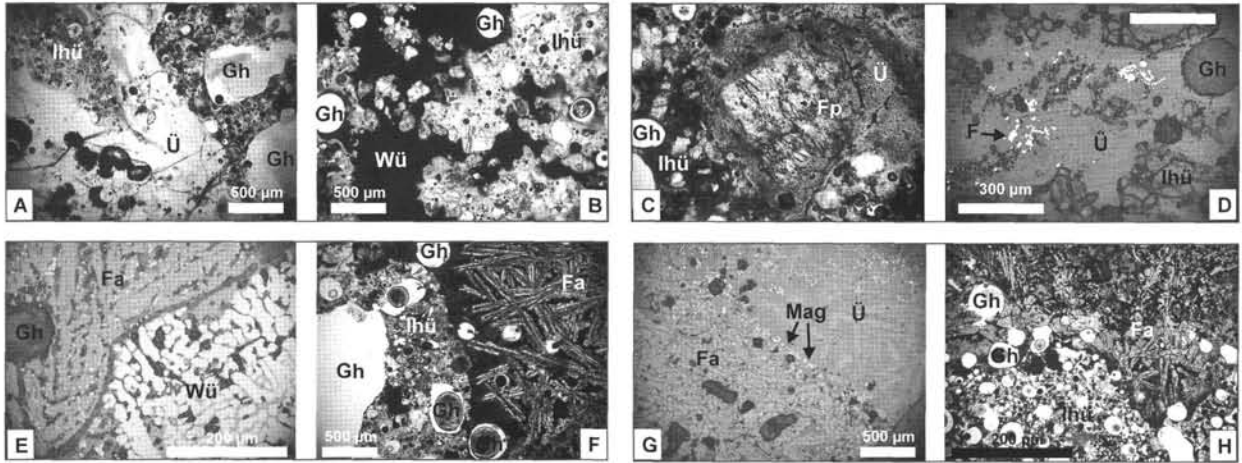
F: The slag from Fig. E from above. The tapering appendage in the left bottom indicates where the bellows were attached to the forge. Opposite to it, the characteristic arrangement of piled up melted surface was created by the blast of the bellows.

G: Az E képen látható vassalak alulnézeti képe, erősen inhomogén szemcsés szerkezettel.

G: Bottom-view of the slag from Fig. E with highly heterogeneous grained structure.

H: A G kép kinagyított részlete. A nyíllal jelölt anyagmaradvány állati csont eredetű. Mellette jól láthatóak az üveges alapanyagba ágyazódó gáthólyagos salakcseppek.

H: An enlarged detail of Fig. G. The arrow shows a piece of animal bone. Next to it slag drops exhibiting gas bubbles that are embedded in a glassy material.



6. kép: A vassalakok jellemzői 30 mikrométeres vastag metszeteik polarizációs mikroszkópos vizsgálatára alapján.  
Fig. 6. Characteristics of the slags in 30 µm thin sections under a polarising microscope.

A: Eltérő jellegű üveges anyagrészek érintkezése. Ü - homogén, legfeljebb folyási struktúrákat mutató üveg; Ihü - inhomogén, a salakképző kvarc-földpát homok törmelékcsomókat tartalmazó üveg. Gh - gázhólyag. Áteső fénymenetű polarizációs mikroszkópos felvétel az analízátor kiiktatásával.

A: Joining of glassy substances with different textures. Ü - homogeneous glass with occasional flow bands; Ihü - heterogeneous glass exhibiting remnants of slag forming agents (flux) such as detrital grains of quartz-feldspar sand. Gh - gas bubble. Photo micrograph made under a polarising microscope with the analyser out. B: Inhomogén, salakképző kvarchomok szemcséit tartalmazó üveges anyaghalmozokba (Ihü) benyomuló vas-oxidban (wüstitben - Wü) gazdag anyagrészek. Gh - gázhólyagok. Áteső fénymenetű polarizációs mikroszkópos felvétel az analízátor kiiktatásával.

B: Inhomogén, salakképző kvarchomok szemcséit tartalmazó üveges anyaghalmozokba (Ihü) benyomuló vas-oxidban (wüstitben - Wü) gazdag anyagrészek. Gh - gázhólyagok. Áteső fénymenetű polarizációs mikroszkópos felvétel az analízátor kiiktatásával.

B: Heterogeneous glassy substance exhibiting grains from slag forming quartz-sand (Ihü). Into the glassy substance an intrusion of an iron oxide (wüstite - Wü) rich substance can be observed. Gh - gas bubbles. Photo micrograph made under a polarising microscope with the analyser out. C: Részlegesen megolvadt kálium-földpát (Fp) maradványa a homogén (Ü) és inhomogén (Ihü) üveges alapanyagban. Áteső fénymenetű polarizációs mikroszkópos felvétel az analízátor kiiktatásával.

C: Remains of a partly melted potash feldspar (Fp) within a homogeneous (Ü) and heterogeneous (Ihü) glassy substance. Photo micrograph made under a polarising microscope with the analyser out.

D: Tört-szilánkos vasszemcsék (F) a salak homogén (Ü) és inhomogén (Ihü) üveges alapanyagában. Reflexió fénymenetű polarizációs mikroszkópos felvétel az analízátor kiiktatásával.

D: Splintery, fractured iron (F) within a homogeneous (Ü) and heterogeneous (Ihü) glassy substance of the slag. Photo micrograph made under a polarising microscope with reflected light and the analyser out.

E: Eltérő összetételű kristályos anyaghalmozok éles érintkezése a salak anyagában. Fa - fayalit vázkristályokban gazdag kristályos anyagrészek. A fayalit kristályin apró wüstit-szemcsék ülnek, míg a kristályok közötti teret üveges alapanyag tölti ki. Wü - wüstit kristályokban gazdag anyagrészek. A wüstit fényes szemcséi jellegzetes "agytekervény"-szerű halmazokat alkotnak. A kristályokat befogadó alapanyag fayalitos és üveges összetételű. Gh - gázhólyag. Reflexió fénymenetű polarizációs mikroszkópos felvétel az analízátor kiiktatásával.

E: Sharp boundary of crystalline substances with different textures in the slag. Fa - crystalline substance rich in skeletal crystals of fayalite. On the fayalite crystals there are tiny wüstite crystals, while the space between the crystals is filled with a glassy substance. Wü - substance rich in wüstite crystals. The shiny grains of wüstite form characteristic "brain-winding" clusters. The substance in which wüstite is embedded is characterised by fayalite and glass. Gh - gas bubble. Photo micrograph made under a polarising microscope with reflected light and the analyser out.

F: Inhomogén üveges anyagrészek (Ihü) és fayalit-vázkristályokat tartalmazó kristályos anyagrészek (Fa) érintkezése egy vassalak anyagában. Gh - gázhólyag. Áteső fénymenetű polarizációs mikroszkópos felvétel az analízátor kiiktatásával.

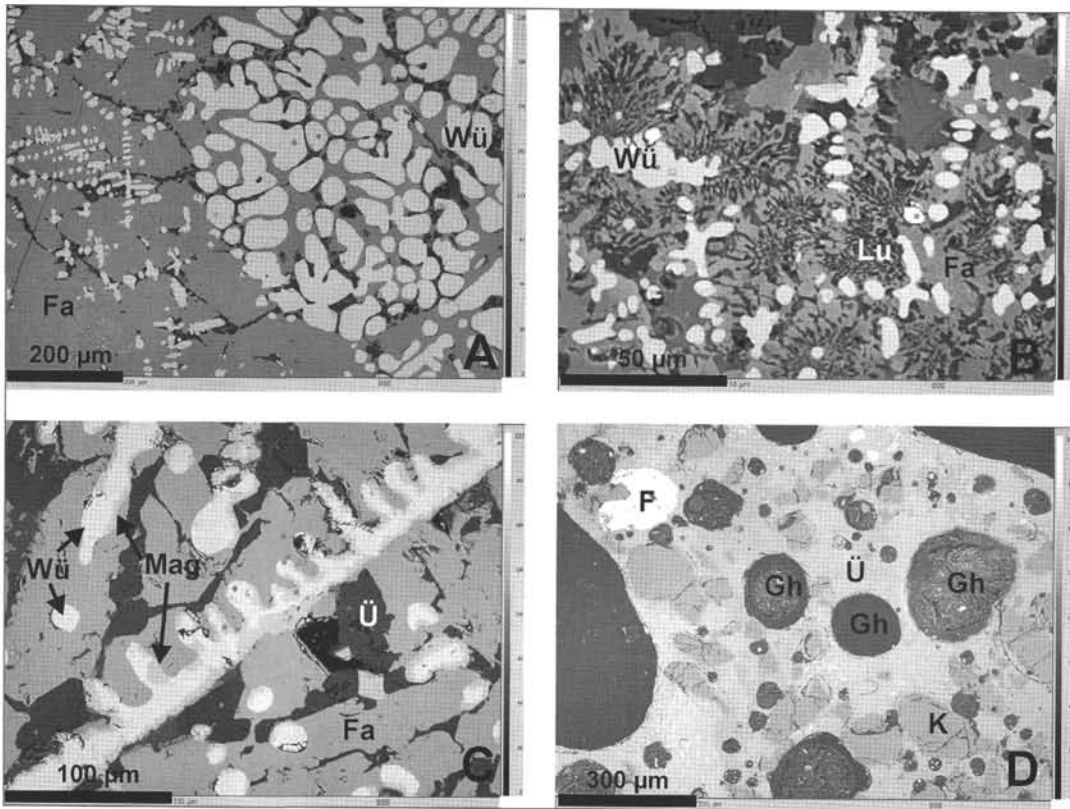
F: Sharp boundary between a heterogeneous glassy substance (Ihü) and crystalline substance exhibiting skeletal crystals of fayalite (Fa) in an iron slag. Gh - gas bubble. Photo micrograph made under a polarising microscope with the analyser out.

G: Magnetit (Mag) kristályok feldúsulása jókristályos-fayalitos (Fa) és üveges (Ü) anyagrészek határán. Reflexió fénymenetű polarizációs mikroszkópos felvétel az analízátor kiiktatásával.

G: Enrichment of magnetite (Mag) crystals along the boundary between slag components (Ü - glassy, Fa - crystalline with fayalite) with different textures. Photo micrograph made under a polarising microscope with reflected light and the analyser out. H: Erősen változékony szövétű salak. Az inhomogén, a salakképző kvarchomok szemcséit magába záró üvegcsépp (Ihü) peremére egy durvakristályos fayalitot (Fa) tartalmazó kéreg nőtt rá, mely a kép felső része felé haladva egyre több tús-vázkristályos wüstit-szemcsét tartalmaz (fekete anyaghalmozok a fayalitban). Áteső fénymenetű polarizációs mikroszkópos felvétel az analízátor kiiktatásával.

H: Erősen változékony szövétű salak. Az inhomogén, a salakképző kvarchomok szemcséit magába záró üvegcsépp (Ihü) peremére egy durvakristályos fayalitot (Fa) tartalmazó kéreg nőtt rá, mely a kép felső része felé haladva egyre több tús-vázkristályos wüstit-szemcsét tartalmaz (fekete anyaghalmozok a fayalitban). Áteső fénymenetű polarizációs mikroszkópos felvétel az analízátor kiiktatásával.

H: Slag with a strongly varied texture. A heterogeneous glass drop incorporates slag-forming quartz-sand (Ihü). On its margin, a crust developed that exhibits coarse-grained fayalite (Fa). The fayalite, towards the upper part of the picture, exhibits more and more acicular skeletal wüstite crystals (black clusters in fayalite). Photo micrograph made under a polarising microscope with the analyser out.



7. kép: A vassalakok szöveti jellemzői polírozott felületű metszeteik elektronmikroszkópban készült nagyfelbontású visszaszórt elektronképein.

Fig. 7: Texture of polished sections of slags in high resolution back-scattered electron images taken in the electron microprobe used for microchemical analyses.

A: Eltérő összetételű, jókristályos anyagcseppek a salak anyagában. A wüstit (Wü) kristályai jellegzetes, "agytekervényes" szövetű halmazt alkotnak. A durvakristályos fayalit (Fa) halmazait finomszemcsés tűs-dendrites wüstit-halmazok szövik át.  
A: Drops of differently developed crystalline compositions within the slag. Wüstite crystals show a cluster of characteristic "brain-winding" texture. Clusters of coarse-grained fayalite (Fa) are intergrown with fine-grained acicular dendritic wüstite clusters.

B: Az inhomogén szövetű üveges alapanyag egyes részeiben tűs-dendrites wüstit (Wü) halmazok között a leucit (Lu) és a fayalit (Fa) szimplektites összenövésű halmazai fordulnak elő. A szövet kálium-, és vasgazdag szilikátos olvadék viszonylag redukív körülmények között végbement gyors hűlésével jött létre.  
B: In some parts of a heterogeneous glassy substance, between acicular dendritic wüstite (Wü) clusters, simplectitic intergrowth of leucite (Lu) and fayalite (Fa) appear. This texture developed as a result of fast cooling of potassium and iron rich silicate melt within a relatively reduced atmosphere.

C: Durvakristályos fayalitot (Fa) áttörő dendrites wüstit (Wü) mely a szegélyein magnetit alakult. A fayalit közeiben látható sötét színű anyag a szilikátüveg (Ü). A magnetit a wüstit magas hőmérsékleten végbementő részleges oxidációjából keletkezett, ami arra utal, hogy a salak képződése során az oxidációs-redukciós viszonyok ingadozóak voltak.  
C: Coarse-grained fayalite (Fa) breached by dendritic wüstite (Wü), which along its rims developed into magnetite (Mag). Between fayalite crystals, the dark-coloured substance is a silicate glass (Ü). As a result of partial oxidation of wüstite at a high temperature magnetite was formed. This implies that when the slag was formed in the forge, highly variable oxidizing and reducing conditions existed.

D: Inhomogén, kvarcsezemcséket (K) tartalmazó üveges alapanyag (Ü) kerekded vascsappal (F).  
D: Glassy substance (Ü) exhibiting heterogeneous quartz grains (K) with a round iron drop (F).

	BM-127 fayalit				BM-193 kirschsteinit		BM-205 fayalit		BM-529 fayalit		
	súly %	súly %	súly %	súly %	súly %	súly %	súly %	súly %	súly %	súly %	súly %
TiO <sub>2</sub>	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	0,05	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	0,06
FeO	68,24	68,38	65,81	68,134	40,41	31,826	64,88	63,87	60,02	59,90	65,575
MnO	0,11	0,10	0,079	0,122	0,23	0,234	3,50	3,42	6,74	7,14	3,153
Na <sub>2</sub> O	k.h.a.	0,00	k.h.a.	k.h.a.	0,44	0,22	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.
CaO	0,70	0,60	2,209	0,821	22,82	28,564	0,73	0,62	1,74	1,40	0,614
K <sub>2</sub> O	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	0,11	0,04	k.h.a.	k.h.a.	0,04	k.h.a.	k.h.a.
SiO <sub>2</sub>	29,38	29,51	29,801	29,577	30,87	32,277	29,68	29,32	29,96	29,74	29,305
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	0,13	k.h.a.	0,077	k.h.a.	k.h.a.	0,12	0,11	0,19	0,16	k.h.a.
MgO	0,75	0,76	0,8	0,725	3,13	5,426	1,12	1,51	1,30	1,67	0,719
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	k.h.a.	0,10	k.h.a.	0,074	1,66	0,78	k.h.a.	k.h.a.	0,09	k.h.a.	k.h.a.
Összeg	99,26	99,58	98,699	99,53	99,67	99,37	100,06	98,84	100,09	100,02	99,43
4 oxigénre számított összetétel											
Si	1,00	1,00	1,01	1,00	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Fe	1,94	1,93	1,86	1,92	1,05	0,81	1,82	1,81	1,67	1,67	1,86
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	0,10	0,19	0,20	0,09
Mg	0,04	0,04	0,04	0,04	0,14	0,25	0,06	0,08	0,06	0,08	0,04
Ca	0,03	0,02	0,08	0,03	0,76	0,93	0,03	0,02	0,06	0,05	0,02
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P	0,00	0,01	0,00	0,01	0,11	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Összeg	3,00	3,00	2,99	3,00	3,04	3,02	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00

1. Táblázat: a fayalit egyes szemcséinek összetétele a különböző salakmintákban az elektronsugaras mikrokémiai elemzések alapján.  
Table 1: Composition of individual grains of fayalite within different slag samples according to electronmicroprobe analysis.

	BM-127	BM-193		BM-529	
	súly%	súly%	súly%	súly%	súly%
FeO	97,986	96,629	95,417	93,61	94,11
MnO	0,063	0,074	0,112	2,206	2,525
TiO <sub>2</sub>	0,194	0,602	1,298	0,442	0,231
MgO	0,05	0,438	0,225	0,084	0,193
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,081	0,046	k.h.a.	1,297	1,13
CaO	k.h.a.	0,187	0,304	0,04	k.h.a.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.
SiO <sub>2</sub>	0,292	0,235	0,215	0,404	0,277
Összeg	98,666	98,211	97,571	98,083	98,466

2. Táblázat: a wüstit egyes szemcséinek összetétele különböző salakmintákban az elektronsugaras mikrokémiai elemzések alapján.

Table 2: Composition of individual grains of wüstite within different slag samples according to electronmicroprobe analysis.

	BM-127				BM-205				
	súly%	súly%	súly%	súly%	súly%	súly%	súly%	súly%	súly%
FeO	97,156	97,683	97,464	94,847	95,99	91,696	92,258	93,828	95,193
MnO	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	0,748	0,715	0,506	0,62	0,763
TiO <sub>2</sub>	0,403	0,211	0,311	1,089	0,236	0,647	0,789	0,656	0,125
MgO	k.h.a.	0,057	k.h.a.	k.h.a.	k.h.a.	0,059	0,043	k.h.a.	0,068
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	k.h.a.	0,068	0,043	0,111	0,424	2,049	3,119	1,894	0,386
SiO <sub>2</sub>	0,266	0,282	0,327	1,742	0,532	1,329	1,051	0,836	0,6
CaO	0,015	0,011	k.h.a.	0,035	0,037	0,069	k.h.a.	0,049	0,03
Összeg	97,837	98,309	98,143	97,822	97,965	96,562	97,764	97,882	97,163

3. Táblázat: a magnetit egyes szemcséinek összetétele különböző salakmintákban az elektronsugaras mikrokémiai elemzések alapján.

Table 3: Composition of individual grains of magnetite within different slag samples according to electronmicroprobe analysis.

	BM-193				BM-529	
	súly%	súly%	súly%	súly%	súly%	súly%
S	k.h.a.	0,008	0,007	0,01	0,002	k.h.a.
Ag	0,005	0,032	0,031	0,015	k.h.a.	0,024
Co	0,652	0,695	1,042	1,012	0,007	0,055
Ni	5,23	8,334	40,732	45,296	0,013	0,068
As	k.h.a.	k.h.a.	2,833	2,31	0,015	0,01
Zn	0,034	0,02	0,032	k.h.a.	k.h.a.	0,01
Cu	1,096	1,034	0,57	0,605	k.h.a.	0,053
Mn	0,003	0,015	0,005	0,001	0,114	0,109
Cd	0,627	0,225	0,005	0,016	0,161	0,137
Fe	89,99	85,095	52,653	48,034	97,384	96,321
P	0,012	0,007	k.h.a.	k.h.a.	0,002	0,005
Összeg	97,65	95,472	97,91	97,3	97,698	96,792

4. Táblázat: a salak vasszemcséinek összetétele különböző salakmintákban az elektronsugaras mikrokémiai elemzések alapján.

Table 4: Composition of iron grains within different slag samples according to electronmicroprobe analysis.

	BM-193	BM-205		BM-529		
	súly %	súly %	súly %	súly %	súly %	súly %
TiO <sub>2</sub>	1,06	k.h.a.	0,88	0,15	0,051	1,084
FeO	27,50	3,64	13,58	17,47	17,145	19,405
MnO	0,06	0,08	0,26	1,80	1,845	0,632
Na <sub>2</sub> O	1,17	2,10	2,12	2,68	1,968	1,866
CaO	2,45	2,53	5,16	14,25	10,544	8,355
K <sub>2</sub> O	9,83	5,98	2,51	3,54	7,046	5,138
SiO <sub>2</sub>	48,60	66,26	59,11	35,85	39,64	43,491
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,76	17,87	14,25	21,31	20,367	17,558
MgO	0,24	0,57	1,19	0,05	0,112	k.h.a.
BaO	0,22	k.h.a.	0,14	0,12	0,152	0,109
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,46	k.h.a.	0,43	1,15	0,651	0,503
Összeg	96,35	99,02	99,62	98,38	99,521	98,141

5. Táblázat: a szilikátüveg összetétele különböző salakmintákban az elektronsugaras mikrokémiai elemzések alapján.

Table 5: Composition of silicate glass within different slag samples according to electronmicroprobe analysis.

Minta	Meghatározott kristályos fázisok
BM-43	fayalit, kvarc, criistobalit, kalcit
BM-91	kvarc, krisztobalit
BM-127	fayalit, wüstit
BM-193	leucit, kvarc, wüstit
BM-205	wüstit, fayalit, aragonit
BM-529	wüstit, fayalit

6. Táblázat: röntgen-pordiffrakciós felvételek alapján meghatározott kristályos fázisok különböző vassalak mintákban. Az eljárás csak az 5–10 térfogat %-nál nagyobb mennyiségben jelenlévő kristályos fázisokat mutatja ki. A kristályos fázisok felsorolási rendje a relatív mennyiségi viszonyokat tükrözi.

Table 6: Crystalline phases determined within different slag samples according to X-ray powder diffraction analysis. This method is suitable to detect crystalline phases above 5-10 per cent by volume only. The order of crystalline phases represents their relative amounts.