

# ÉRCEK, SALAKOK, FÉMEK

Molnár Ferenc

*ELTE TTK Ásványtani Tanszék*  
*1117 Budapest, Pázmány Péter s. 1/C*  
E-mail: molnar@abyss.elte.hu

**Összefoglaló:** A tanulmány a réz-, bronz- és vaskohászat archeometriájának legfontosabb kérdéseit tekinti át. Részletesen foglalkozik a réz-, a bronz- és a vaskor fémkohászati nyersanyagainak eredetével, az e korokban felhasznált érc típusok ásványtani, közettani és földtani jellegeivel. Áttekintést ad a Magyarország és környezetében az adott korszakok bányászati és kohászati eljárásainak megfelelően felhasználható érctelepek elterjedéséről és az ércek azon jellemzőiről, melyek átöröklődhetnek a kohászat és a fémek feldolgozása során keletkező salakokba, félkész és késztermékekbe. Magyarországi tanulmányok tapasztalatai alapján bemutatja a salakok és fémek makroszkópos, fénymikroszkópos és elektronmikroszondás vizsgálatok alapján feltárható összetételi, és szöveti-szerkezeti jellemzőit, illetve az eredmények felhasználhatóságát a nyersanyagok eredetének meghatározásában és néhány technológiai kérdés megválaszolásában.

**Abstract:** The paper presents a review about the most important subjects of archaeometry related to the copper, bronze and iron smelting. It provides details about origin, mineralogical, petrological and geological characteristics of raw materials for metallurgy during the Copper, Bronze and Iron Ages. The paper also provides a review about distribution of those ore deposits in Hungary and surrounding areas which could be exploited at the level of mining and smelting technologies of those ages and emphasizes those peculiarities of ores which are recognizable in various types of slags, as well as in metallic semi- and end products of smelting and metalworking. On the basis of experiences gained during studies of Hungarian archaeological sites, the paper also presents those most important characteristics of compositions and textural-structural features for slags and metals which can be studied by macroscopic, microscopic and electronmicroprobe analyses and provides examples for utilization of results of those studies in determination of origin of raw materials and in answering some technological questions.

## 1. BEVEZETÉS – A SALAKOK ÉS FÉMEK ARCHEOMETRIÁJÁNAK HÁTTERE

A természetes állapotban fémesen is előforduló elemek hasznosítása már mintegy 10 000 évvel ezelőtt sem lehetett szokatlan az emberiség számára. A földtani törvényszerűségek által megszabott módon főként a természetes előfordulásaikban viszonylag gyakori termésvéz, termésvéz és termésvéz lehetnek azok a fémek melyeket az őskor embere elsőként vonhatott be a természet erőivel és a túlélés érdekében folytatott küzdelmébe. A hasznosítás alapja a fémek azon kristályszerkezeti sajátossága, hogy megfelelő mechanikai behatásra (kalapálás, húzás stb.) az anyag szerkezete nem esik szét (azaz nem hasad, vagy

törlik) hanem plasztikusan viselkedik, és így a felhasználás igényeinek megfelelő tárgyak alakíthatóak belőlük. Egy másik fontos szempont az, hogy a fémből készült tárgy kellően ellenálló-e a felhasználás során fellépő további mechanikai és vegyi hatásokkal szemben. E feltételeket mind a termésréz, mind a terméсарany kielégítheti, hiszen mindkettő jól megmunkálható, és keménységük a Mohs-féle skálán 2,5–3 körüli. A felhasználást azonban egy további követelmény is befolyásolja, nevezetesen az hogy a kedvező tulajdonságú fém nagy mennyiségben és tömegben legyen fellelhető, hiszen csupán e feltétel teljesülése esetén lehetséges nagyobb méretű és számú használati eszköz előállítás. Ez utóbbi feltételt nyilvánvalóan csak a termésréz teljesíti, hiszen míg ezen ásványnak akár több tíz kilogrammos tömegeinek előfordulása sem szokatlan (pl. Magyarországon a Recsk melletti Báj-patak völgyében ismert nagy tömegű termésréz „hömpölyök” előfordulása), addig a terméсарany leginkább igen finom szemcseméretben és kis tömegekben oszlik el a különböző kőzetekben.

A rézből készült eszközök tömeges elterjedésében nyilvánvalóan az volt a döntő tényező, hogy az esetleges termésréz előfordulások kiaknázását felváltotta az egyéb réztartalmú ércásványok (előbb oxidos-karbonátos, később szulfidos összetételű rézásványok) kohászattal történő feldolgozása. Az őskori kohászat lényegében az oxidos (vagy oxidos állapotba hozott) érc redukcióját jelenti. A kohászati tevékenység azonban önmagában nem létezhet: a szakmai tudás mellett bányászati tevékenységen és a kohászatban felhasznált egyéb anyagok (pl. az őskor kohászatában a faszén) előállításán alapul, továbbá feltételezi a kohászati félkész terméket feldolgozó és a felhasználás igényeit szorosan követő ipar létezését. Mindebből következik, hogy a bányászati és kohászati központok földtani és egyéb természeti okok miatt korlátozott elterjedése mellett a piac igényeit követő feldolgozóipar szélesebb területekre terjed ki.

A legidősebb rézkohászati tevékenységhez köthető, a karbon-kormeghatározás alapján Kr. e. 6500–7000 körüli időből származó kohósalakokat a mai Törökország területén (Anatólia) található Catal Hüyükből ismerjük. Bár e dátum bizonyos szempontból vitatható, az kétségtelen, hogy a Kr. e. 3500–5000 közötti időszakban a mai Törökország, Irán és Egyiptom területén már széleskörűen elterjedt rézkohászat folyt (Tylecote 1976).

Az őskori kohászati tevékenység során a feldolgozott ércek összetétele még alapvetően meghatározta az előállított (félkész) fémtermék összetételét. Közismert, hogy az arzén-, antimon- és ónbronztulajdonságai egymástól eltérőek, és egyes érclelőhelyeken a réz ásványai nem egyformán társulnak egyéb, vagy szintén réztartalmú Sb-, As, vagy Sn- ásványokhoz. Tehát a földtani viszonyok függvényében egyes kohászati központok által előállított fém feldolgozás közben tapasztalt sajátosságai az érclelőhely függvényében eltérőek lehetnek. Mindez kiválthatta egyes kedvezőbb megmunkálási és felhasználási tulajdonságú (földtanilag meghatározott érclelőhelyről) származó kohászati termék előnyben részesítését, majd az anyag tulajdonságainak tapasztalati úton történő jobb megismerése révén a fém minőségének a felhasználás szempontjait követő tudatos befolyásolását. Ezt jól példázza az, hogy az első ónbronztárgyakat a mezopotámiai Urból a Kr. e. 3500–3200 körüli időkből ismerjük. E bronzok még valószínűleg kassziteritet (SnO<sub>2</sub>) is tartalmazó oxidos rézérc kohósítása során keletkezettek. A bronz előállítási technológiájában a nyersrézhez adagolással hozzájuttatott,

és így feltehetően a réztől eltérő érclelőhelyről származó kassziteritre az első bizonyítékok a Kr. e. 2500–2000 közötti időkből származnak, míg a nyersrészhez adagolt cinktartalmú érc (valószínűleg karbonátos cinkérc) segítségével létrehozott sárgaréz-leletek a Kr. e. 1400–1200 közötti időkből, a mai Palesztina területéről ismertek (Pásztor et al. 1990).

A fémek felhasználásában napjainkig is ható döntő tényező az a sajátos körülmények által kiváltott technológiai fejlődés volt, mely a rézércek kohósítása mellett a vas alkalmazásának széleskörű elterjedéséhez vezetett. A vas már a réz és ötvözeteinek felhasználásának hajnalán is ismert volt, hiszen a szerencsésen fellelt vas-nikkel meteoritok feldolgozását már a bronzkorból ismerjük. A meteoritvas korlátozott mennyisége azonban csak kultikus igényeket elégíthetett ki, illetve csupán ritka ékszerek alapanyagául szolgálhatott. Érdekes körülmény az, hogy a vasat kohászati úton már a bronzkorban is előállították, hiszen az oxidos-karbonátos rézércek előfordulásaiban a vasoxid-hidroxid (limonit, goethit stb.), szintén nagy mennyiségben jelen van, és a rézkohászatban alkalmazott eljárás e vasérceket is redukálja színvassá, főként ha a rézkohót a „szokásosnál” (800–900°C) egy kissé magasabb (kb. 1100°C) hőmérsékletre hevítik. Az így előállított vas azonban sokkal kedvezőtlenebb tulajdonságú mint a réz, vagy a bronz: törékeny, rosszul megmunkálható, és nem „éltartó”. A megfelelő megmunkálási és felhasználási tulajdonságú acél a vas karburizálásával, azaz szénrel való telítésével állítható elő, mely a kohóban keletkező szivacsos, nagy salaktartalmú vasbuca redukáló környezetben (faszáron) történő kovácsolásával és tisztításával elérhető. E technológiai „ugrás” a régészeti adatok alapján Kr. e. 1400–1200 közötti időszakban a kisázsiai hettitáknál következett be (Tylecote 1976).

Érdekes kérdés az, hogy milyen tényezők kényszeríthették ki az adott időszakban már széleskörűen elterjedt bronznál a kohászat során eredetileg lényegesen kedvezőtlenebb tulajdonságú állapotban keletkező fém sajátosságainak jobb megismerését és a megfelelő feldolgozási technológia tapasztalati úton történő kidolgozását. A kérdésre adott válasz részletei még minden bizonnyal további kutatások tárgyát képezik, de nagy valószínűséggel feltételezhető, hogy a kiváltó ok a jó minőségű bronz előállításához nélkülözhetetlen ón időszakos hiányára vezethető vissza. Ezt példázza, az, hogy a korszak egyik jelentős rézbányászati és kohászati központjában, Cipruson is erre az időszakra tehető a bronz újrahasznosításának, azaz bronztárgyak újraolvasztásának kezdete (Waldbaum 1978). A fentiekben már láttuk, hogy a réz más fémekkel történő ötvözése (sárgaréz előállítása) is ezen időszakban kezdődött. A megfelelő minőségű vas előállítási problémájának megszűnésével a bronznál immár számos felhasználási szempontból kedvezőbb fém bányászati és feldolgozási technológiái a középkor végéig lényegében azonosak voltak.

A fenti nagyvonalú áttekintésből is kitűnik, hogy a fémek hasznosíthatóságát és felhasználását ásványaik természetes előfordulásainak sajátosságai nagymértékben befolyásolják. E sajátosságok szabják meg azt, hogy az érc egy adott lelőhelyen kellő mennyiségben és minőségben áll-e rendelkezésre, továbbá azt is, hogy mely technológiával milyen használati értékű eszköz állítható elő belőlük. A fémek és előállításuk során képződő anyagok archeometriai vizsgálata tehát nem nélkülözheti az érclelőhelyek ásványtani- és kőzettani sajátosságainak ismeretét, annál is inkább, mivel az ezekből következő összetételbeli sajátosságok átöröklődhetnek a kohászat és fémfeldolgozás során képződő anyagokba.

Az ásványtani megközelítés abból a szempontból is hasznos, hogy az ásványtanban használatos vizsgálati módszerek nem csak az anyag összetételét, de alkotóinak szövetszerkezeti elrendeződését is feltárják. Az ilyen jellegű megfigyelések pedig technológiai kérdések tisztázására lehetnek alkalmasak. Mindezek mellett a kohászat és feldolgozás során képződő anyagok és alkotóik kristályosodási-megszilárdulási folyamatai sokban hasonlítanak a földkéregben végbemenő természetes folyamatokhoz, melyek oknyomozó kutatása során szerzett elméleti és módszertani ismeretek jól alkalmazhatóak e sajátos régészeti leletekre is.

Az eddigi áttekintés alapján a továbbiakban a következő kérdésköröket részletezzük: a fémkorok technológiai szintjén kiaknázható réz-, és vasérclelőhelyek sajátosságai, a kohászat és feldolgozás során keletkező salakok jellemzői, továbbá a félkész- és késztermékek (fémek) vizsgálatából levonható következtetések. E kérdésköröknek igen szerteágazó és részletes külföldi szakirodalma van; a jelen dolgozat a hazai archeometriai vizsgálatok során szerzett tapasztalatok alapján szándékozik néhány lényeges momentumot szemelvénytyszerűen, és nem elsősorban az egyes korszakok szerint, a földtudományokban kevésbé járatos olvasó számára is érthetően áttekinteni.

## 2. ÉRCEK

A termésvéz és egyéb rézben gazdag oxid, karbonát, szulfid nagyobb tömegű keletkezése az őskori bányászat által elérhető felszinközeli zónákban az eredetileg szulfidos ércanyag átalakulása révén lehetséges. A szulfidos rézérctelepek többnyire magmás kőzetekhez kötődően, ún. likvidmágmás, illetve hidrotermális folyamatok révén képződtek a földtörténet különböző időszakaiban, és képződnek ma is az aktív magmatizmus zónáiban. Magyarország és környezetének földtani adottságait tekintve kizárólag a hidrotermális érctelepek vehetők számba, mint a réz jelentős forrásai. E hidrotermális telepekben a forróvízes oldatok a szulfidos ércanyagot telérekben és a teléreket övező kőzetekben kialakult ún. hintésekben halmozták fel. A hintésekben található viszonylag alacsony (<1 tömeg %) érc koncentráció csak mai technológiával hasznosítható. A telérek mellett különösen nagy érc koncentrációt jelentenek az ún. tömzsős előfordulások, melyek lényegében a lencsétől a teljesen szabálytalan alakú test formáit ölthetik, gyakran csaknem 100% szulfidásvány tartalommal.

Az erózió révén a felszínre bukkanó tömzsős, vagy teléres szulfidérc a talajvízszint felett átalakul. Az átalakulás fizikai és kémiai folyamatok sorozatából áll, melyekben a legjelentősebb szerepe az aprózódásnak és a talajvízszint felett lefelé áramló oxigén- és széndioxid-dús csapadékvíznek van. Ezen átalakulás során egyes fémek akár távozhatnak is az érctelepből, mások a szulfidokból oxidáció útján képződő, illetve a szulfidok bomlása során felszabaduló oxidáló hatású kénsav-kénessav hatására, továbbá a felszabaduló fémeket szállító savas és oxidáló hatású oldatoknak a befogadó kőzettel történő reakciója révén képződő oxidos, oxi-hidroxidos, szulfátos illetve karbonátos ásványokban kötődnek meg. A réz és felhasználása szempontjából az e zónában keletkező legfontosabb ásvány a kuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), a tenorit ( $\text{CuO}$ ), továbbá az azurit ( $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ) és a malachit ( $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ ). Fontos megjegyeznünk, hogy e zónában a réz oxidos és karbonátos ásványai mellett a vas oxidjai

és hidroxidjai (hematit, limonit, goethit, lepidokrokit) is nagy mennyiségben keletkeznek – ezért szokásos a szulfidos érctelep oxidációs zónáját „vaskalap”-nak is nevezni.

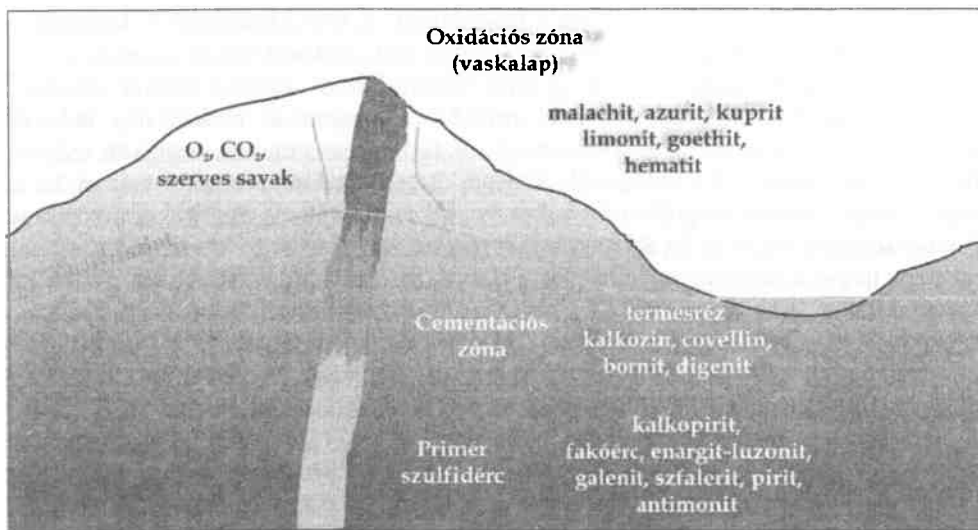
Az oxidációs zónából leszivárgó savas-oxidáló hatású oldatok a talajvíz szintjében (mely természetesen hosszú és rövid periódusú ingadozással rendelkezik) redukáló környezetbe kerülnek. Ekkor az oxidos ásványok formájában még nem megkötött szállított fémtartalom jelentős része kicsapódik. Különösképpen katalizálja ezt a folyamatot, ha az eredeti még szulfidos állapotban lévő ércanyaggal is történik elektrolitikus kölcsönhatás. A talajvíz szintjében tehát további ásványképződésre van lehetőség, mely rendszerint olyan intenzív, hogy ez képezi az érctelep legértékesebb, fémekben leggazdagabb részét. E zónát a szakirodalom „cementációs öv”-nek nevezi. A réz szempontjából fontos, hogy e zónában képződik a természetes, illetve a redukció fokozódásával olyan másodlagos szulfidásványok melyekben a réz-kén arány igen nagy (kalkozin –  $\text{Cu}_3\text{S}$ , bornit –  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ , covellin –  $\text{CuS}$ , digenit –  $\text{Cu}_9\text{S}_5$ ), tehát a réz szempontjából jó minőségű érceknek tekinthetők.

A primer szulfidérccek zónájában a réz legfontosabb, nyersanyagként leggyakrabban felhasznált ásványa a kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), a fakóérc-félék (tennantit  $\text{Cu}_{12}\text{S}(\text{AsS}_3)_4$ , tetraedrit –  $\text{Cu}_{12}\text{S}(\text{SbS}_3)_4$ ) és az enargit-luzonit ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ,  $\text{Cu}_3\text{SbS}_4$ ) társasága. E réz-szulfidok mellett galenit ( $\text{PbS}$ ), szfalerit ( $\text{ZnS}$ ), pirit ( $\text{FeS}_2$ ) és sok más Ag-, Bi-, Ni-, Sb-, As-tartalmú szulfidásvány is előfordulhat, sokszor a rézásványokkal olyan szoros összenövésben, hogy elkülönítésük még a mai technológiák alkalmazásával is körülményes. Ez abból a szempontból fontos, hogy a rézszulfidok kohósítása során ezen egyéb szulfidokból származó fémek szükségképpen az előállított nyersrézbe átöröklődnek, és mivel a rézhez társult egyéb ásványok jelenléte, vagy hiánya az adott érctelep kialakulási körülményeit tükrözi, ezért a fémréz összetétele utalhat a nyersanyagként felhasznált érc lelőhelyére.

A fentiekben bemutatott földtani környezetet és az ásványok előfordulásának zonalitását szemlélteti Kiss (1982) nyomán az 1. ábra. Nyilvánvaló, hogy a természet, illetve az oxidokat-karbonátokat tartalmazó felszíni-felszínközeli zóna még kezdetleges bányászattal is elérhető. Az oxidos-karbonátos rézércből direkt kohósítás, azaz az érc redukáló közegben (faszénen) történő hevítésével is kinyerhető a réz, tehát nem véletlen, hogy az ilyen típusú ércek kerültek elsőként kohászati feldolgozásra. A vasoxid-ásványok szoros és bőséges társulása e rézérckekhez a „vaskalap” zónát egyben a vasérc fontos lelőhelyévé is teszi. Tehát a rézérccek korai kohászata során már a vas nyersanyagával is technológiai közelségbe került az emberiség.

A cementációs és az elsődleges szulfidérccek zóna nyersanyagainak hasznosítása körülményesebb feladat, mivel a kohósítás előtt a kéntartalmat el kell távolítani, és az ércet oxidos formába kell hozni. Ez az érc ún. „pörköléssel” érhető el, mely lényegében a szulfidásványok faszénágyon történő kihevítését jelenti. E pörkölőgödörök megtalálása (a társult érc-, és pörkölt érc depókkal együtt) egy adott terület régészeti feltárása során egyértelmű bizonyítéka a bányászati és kohászati tevékenységek. Itt szükséges azonban megjegyezni, hogy az érc kohósítás előtti pörkölése már az oxidos ércek feldolgozása során is szükségessé válhatott az érc víztartalmának kohósítást megelőző csökkentése érdekében.

A szulfidos rézérccek kiaknázása a kohósítás körülményesebb volta mellett egyéb technológiai problémákat is felvet. Láttuk, hogy az ilyen típusú rézérc a talajvízszint körül,



1. ábra. Szulfidos rézérctelep oxidációs-cementációs zónája az ásványegyüttesek zonációjával (Kiss 1982 nyomán)

illetve az alatt fordul elő. A szulfidos rézérc bányászata tehát esetenként a talajvízszint stüllyesztését követeli meg, mely egyben magas fokú bányaműszaki ismereteket is feltételez. Az újabb megfigyelések arra utalnak, hogy ilyen ismeretekkel már a Kr. e. 800 körüli idők északkelet-iráni (perzsa) bányászai is rendelkeztek, és a talajvízszint befolyásolására vonatkozó mérnöki eljárások (elsősorban hegllyábi települések vízellátásával kapcsolatban) a Római Birodalomban már Európa-szerte elterjedtek (Salih és Salamat 2008).

Magyarország ércföldtani adottságait tekintve az oxidációs-cementációs zónában nagyobb mennyiségben előforduló rézérc szempontjából Rudabánya és Recsk környéke vehető számításba. A Kárpátokban régészeti adatokkal bizonyíthatóan Úrvölgy (Spania Dolina) és Dobsina, míg az Alpokban az ún. Grauwacke Zóna teléres-hidrotermális ércesedéseit (pl. Mitterberg, Kitzbühel) érceit hasznosította az őskor embere (Czajlik et al. 1995). Szintén közismert a kelet-szerbiai (földtanilag a Timok övezet kréta korú intermedier intrúziós-vulkáni komplexumaihoz kapcsolódó) Rudná Glava-i tömzsös-hidrotermális rézércesedés őskori bányászata (Tylecote 1976). Érdekeség, hogy a fent említett kárpáti és az alpi érctelepekben a réz ásványaihoz Ni-, Bi-, Ag-, Sb-szulfidok társulnak, melyek sajátos kémiai jelleget kölcsönöznek az ilyen típusú érc őskori feldolgozása során előállított nyersrésznek (erre vonatkozóan még látunk példát a jelen dolgozat „Fémek” című fejezetében). Rudná Glava és Recsk felszíni bányászattal elérhető ércei alapvetően enargitos-luzonitos összetételűek, így a nyersrészben az As, Sb, Au és Ag jelentősebb koncentrációira számíthatunk. Rudabánya esetében az Sb és az Ag lehet az oxidációs-cementációs zóna rézércéből előállított fém jellemző nyomeleme, esetleg a Ba felszaporodásával a fém salakzárványaiiban.

A szulfidos érctelepek cementációs zónáiban, illetve a primér hidrotermális szulfidércben a réz ásványai gyakran tartalmaznak Sb-t és As-t, illetve ezen elemek a társult

egyéb szulfidokban is gyakoriak. A szulfidos rézérc feldolgozása tehát szükségszerűen okozhatja a nyersrész magas As- és Sb-tartalmát, mely sok esetben az antimon- és arzén-bronz eredetét magyarázhatja. Az ón-bronz esetében azonban figyelembe kell vennünk azt a földtani tényezőt, hogy a rézérc szulfidos előfordulásai csak a legritkább esetben esnek egybe az ón leggyakoribb ásványának, a kassziteritnek ( $\text{SnO}_2$ ) lelőhelyeivel. Bár léteznek Cu- és Sn-tartalmú szulfidok, ezek inkább csak ásványtani ritkaságként vehetők számításba. A kassziterit két földtani környezetben gyakori érctelep-alkotó ásvány. Ezek a gránitintrúziók kupolázónáiban képződő hidrotermális „greizen”-ércek, és a kassziterit-tartalmú érctelep/közet lepusztulása során a folyóvizekben képződő kassziterit-tartalmú torlatok. A hidrotermális „greizen” ércek elterjedése erősen korlátozott: Európában csupán az ún. Variszkuszi hegységrendszer területén, a Cseh-Szász érchegységben, Bretagne, Cornwall és Nyugat-Ibéria területén számottevők (a Cornwall-i kassziterites telepek római kori művelése közsímt). Kassziterites torlatok szolgáltathatták a bronzkor ónszükségletét Kisáziában. A földtani törvényszerűségek következtében tehát az ón-bronz előállítása többnyire a réz és az ón eltérő lelőhelyeinek a kiaknázását tételezi fel.

A vasérc legfontosabb és felszíni bányászattal könnyen elérhető első forrásai a szulfidos érctelepek mállása során keletkező „vaskalap” zónák lehetnek. Magyarországon ebből a szempontból Rudabánya, illetve a mai Szlovákia területén a Szepes-Gömöri Érchegység területe mindenképpen figyelmet érdemel. A szulfidos érctelepek és nagy vastartalmú kőzetek mállási zónáin kívül a vasoxid ásványok jelentős feldúsulásai az ultrabázisos-bázisos magmás kőzetek kristályosodása során az ún. likvidmaggás-szegregációs titanomagnetites-ilménites érctelepekben, az intermedier-savanyú intrúziók és karbonátos kőzetek kontaktusán kialakuló magnetites-hematitos szkarnércekben, tengeralatti bázisos vulkanizmust kísérő hidrotermális folyamatok „exhalációs” vasoxid érceiben és a kőzetek mállása során nagymennyiségben oldatba kerülő vas kémiai-biológiai folyamatok során történő kicsapódása révén képződő ún. üledékes vasércekben számottevők.

Magyarország és környezete földtani adottságait tekintve magnetites-hematitos ( $\text{FeFe}_2\text{O}$  és  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) szkarnércek felszíni kibukkanásai a „bánati kontakt-övben” (az Erdélyi Érchegység és a Dél-Kárpátok közötti zóna mezozoós karbonátközetibe nyomult kréta korú intrúziókhöz kapcsolódó ércek) szolgálhattak a vas korai nyersanyagaiént. Ehhez képest a Kárpát-medencében mennyiségben és gyakoriságban jelentősebb elterjedésük az üledékes eredetű ún. gyp-, és mocsárvasércek, melyek a talajvízben migráló  $\text{Fe}^{3+}$  -ionok szervesanyagban gazdag redukáló közegben történő kicsapódása révén képződtek. E folyamat során vaskarbonátos (sziderit), vaskloritos (chamozit) és vasban gazdag foszfátos (vivanit és egyéb Fe-foszfátok) dúsulások jönnek létre, melyek utólagos oxidációval vas-oxidos és -hidroxidos ásványokká (hematit, limonit, goethit, lepidokrokit) alakulnak át (Kiss, 1982). A képződési környezet sajátosságai miatt e vasércek gyakran növénymaradványokat, növényi szöveteket cementálva fordulnak elő sajátos gumós-vesés alakzatokban. E gumók tömege estenként több tíz kilogrammos is lehet! Jelentősebb gypvasérc előfordulásokat Ny-Magyarországon (Kópháza, Szombathely környéke), illetve Somogyuszob, továbbá Bagamér és Létavértes környékén ismerünk, de a széles körben elterjedt „vaskonkréciós pannon üldékeket” is számításba vehetjük, mint a vasérc időszakos és lokális forrásait (Gömöri

2000). A Mecsek hegységben Zengővárkony és Pécsvárad környezetében ismereteseek tengeralatti bazaltvulkanizmus „exhalációs” vasérci, de ezek felhasználására utaló régészeti bizonyítékok még hiányoznak. Likvidmagma-szegregációs Fe-Ti-érc szerény előfordulását Szarvaskő környékén találjuk, de az előfordulás földtani jellegzetességeinek ismeretében ezen érc felhasználása bármely időszak vaskohászatában erősen kétséges.

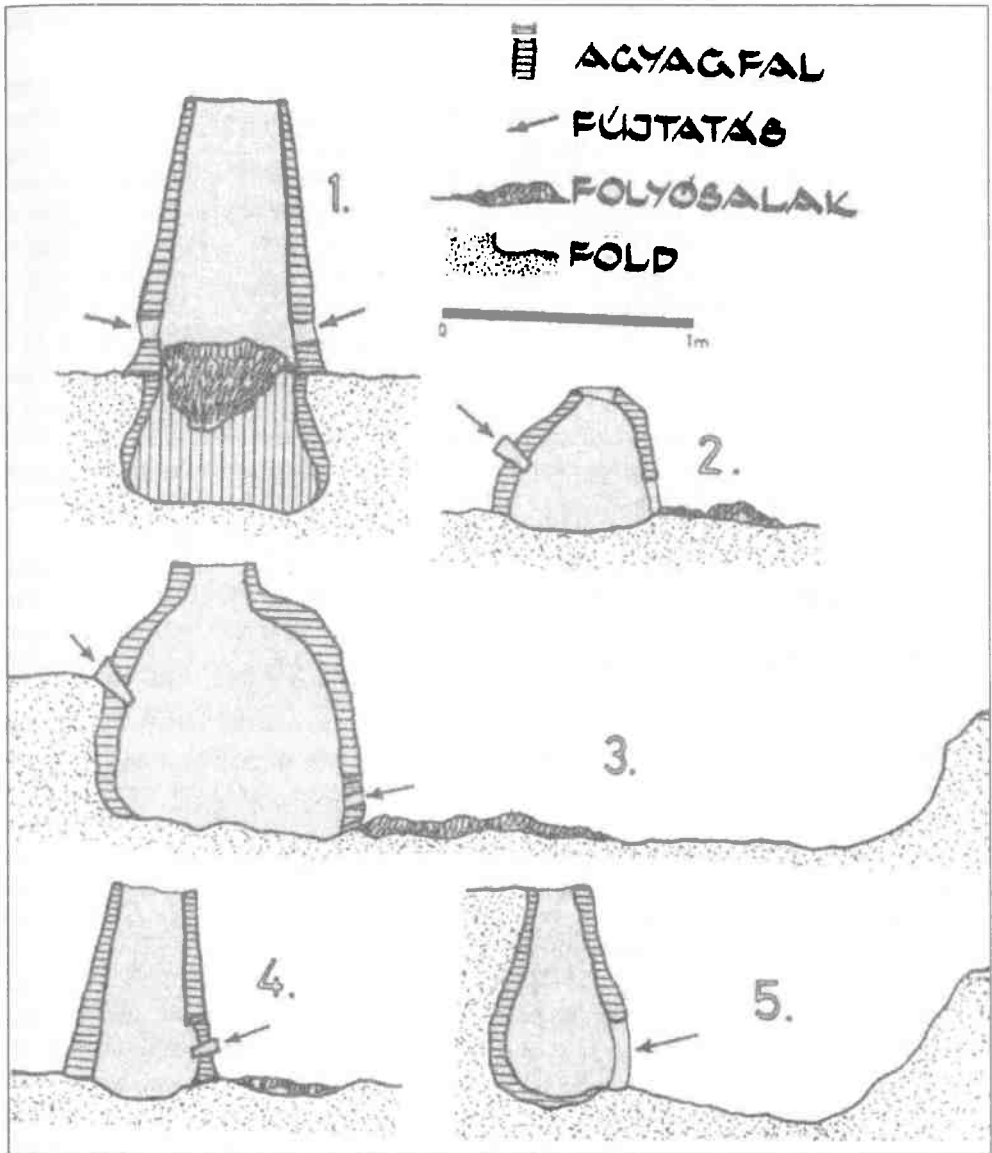
A vas érceinek földtani adottságait tekintve fontos következtetés az, hogy a szulfidos érctelepek mállási zónájának ércei szükségszerűen Cu, As, Sb, és kéntartalmúak, estleg Ni, Bi, Ag és Ba jelentősebb dúsulásaival, mely sajátosságok ezen ércek feldolgozása során keletkező salakokba és az előállított fémtárgyakba átöröklődhetnek. A gyepvasércekkel kapcsolatban jelentősebb foszfor-, kalcium-, és mangán-tartalommal számolhatunk. A földtani adottságok további fontos következménye az, hogy a „vaskalap” zónák vasérc rendszerint sokkal nagyobb vastartalmú (akár nagyobb, mint 50 tömeg %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), mint a gyepvasérc (általában 30 tömeg %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  körüli, jelentős  $\text{SiO}_2$  és  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tartalommal), ezáltal az utóbbi érc kohósítása során nagyobb tömegű salak képződik.

### 3. SALAKOK

Réz- és vasérc faszélen történő egyszerű redukciós kohósítása során szükségképpen keletkezik salak, mely elősegíti a fém és az érc egyéb alkotóinak elkülönülését. Az ércben gyakran nagy mennyiségben jelenlévő Si, Al, Ca, Mg, és egyéb alkáliák a faszélen történő redukció során képződő szilikátos és üveges fázisokba lépnek be, mely fázisokban a réz és a vas csak korlátozottan talál magának helyet. A salakképződés alkália-tartalmú (földpátos-csillámos) kvarchomok adagolásával segíthető elő, mely adalékanyagban az alkáliák jelenléte a szilikátos olvadék képződését segíti elő. Az eljárás révén viszonylag könnyen elérhető a réz színülése (800–900°C), a fémvas elkülönülése azonban magasabb hőmérsékletet igényel, és további kedvezőtlen tényező, hogy a vas egy jelentős része a szilikátos fázishoz is kötődhet, illetve tökéletlen redukció során a wüstitben ( $\text{FeO}$ , jelentősebb mennyiségben csak kohászat során keletkező, természetben ritkán előforduló vasoxid) visszamaradhat. A vasérc faszenes redukciója révén keletkező vasbuca szivacsos-szerkezetű, sok salakzárványt tartalmazó anyag, melynek további, salakképződéssel járó, redukáló faszénágyon történő hevítése és kovácsolása szükséges ahhoz, hogy a megfelelő tisztaságú és jól megmunkálható (karburizált) fémdarab jöjjön létre. Tehát a vasérc feldolgozása során nem csak a kohászathoz, hanem a vas további feldolgozásához kapcsolódóan is jelentős mennyiségű salak képződésével számolhatunk.

A faszenes redukción alapuló réz-, és a vaskohászathoz kapcsolódó szilikátos-üveges salak első tekintetben nagyon hasonló egymáshoz, másrészt összetételükben is az alább részletesebben bemutatott vas-szilikátos és oxidos fázisok uralkodhatnak. A rézkohászat salakjában azonban a réz és rezet tartalmazó kristályos fázisok is nagy mennyiségben előfordulhatnak, és a részletesebb mikroszkópos, vagy kémiai vizsgálat ezeket könnyen kimutathatja. A hazai archeometallurgiai gyakorlatban elsősorban vassalakokkal találkozunk, ezért a továbbiakban a vasgyártás és feldolgozás során keletkező salakok tulajdonságait





**2. ábra.** Egyszerű aknakemencék típusai Gömöri (1982) nyomán. 1 – bemélyített aljú aknakemence (La Tène), 2 – alacsony kupolakemence (La Tène), 3 – lemélyített kupolakemence munkagödörrel (La Tène), 4 – szabadon álló aknakemence (kora középkor), 5 – beépített aknakemence munkagödörrel (Árpád-kori), 6 – oldalról fújtatott aknakemence (Árpád-kori), 7 – kőből épített, szabadon álló aknakemence (korai és későbbi középkor)

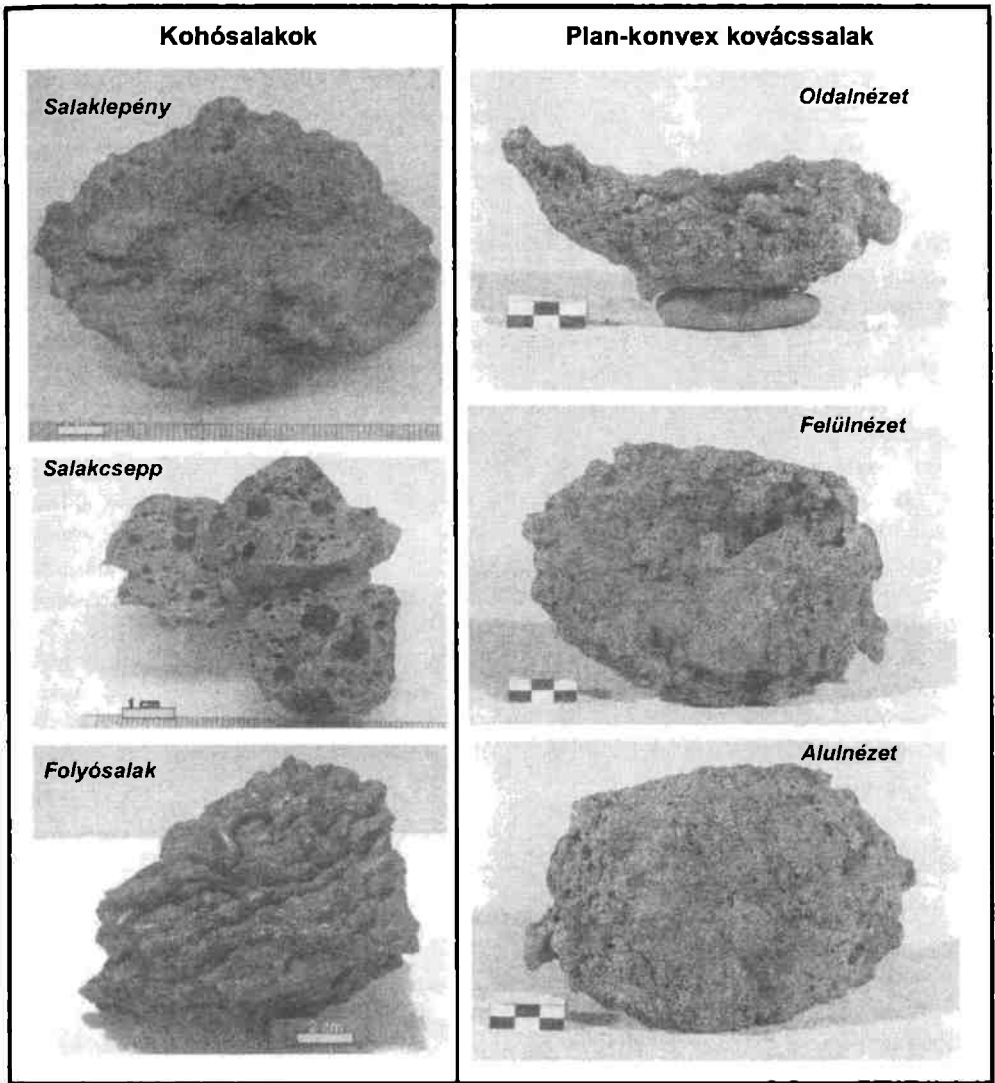
tárgyaljuk annak hangsúlyozásával, hogy az ismertetett módszerek a rézkohászat salakjaira is alkalmazhatóak.

A régészeti feltárások során előkerülő vassalakok kapcsán az elsődrendű kérdés az, hogy vajon kohászathoz, vagy kovácsoláshoz köthetőek. Az első esetben a kérdés eldöntéséhez további támpontot szolgáltathat a lelőhely geológiai adottságainak felmérése (vasérctelep közelsége), ércdepók, pörkölőödrök, a pörkölt érc depóinak és kohómaradványok, fűjtatócsövek azonosítása, továbbá a vassalak mennyiségének felmérése, de részletesebb anyagvizsgálatokra ezek mellett is szükség lehet, mivel a felsorolt objektumok és adatok hiánya még nem zárja ki egy vassalak kohászati eredetét, illetve nem támasztja alá a vassalak kovácsműhelyből való származását. Másrészt egy kovácsműhely azonosítása pusztán a vassalak előfordulása révén szintén körülményes (de nem lehetetlen) feladat, főként ha a műhelyre utaló egyéb objektumok és anyagok (pl. kovácstűzhely, a kovácsolás során keletkező mágneses reve, fémszilánkok, szerszámok, félkész és kész vastárgyak) hiányoznak a lelőhelyen. Önmagában a vasbuca, vagy egy fűjtatócső előfordulása egy adott lelőhelyen előkerült vassalak tömegben szintén nem döntő bizonyíték a lelőhely kohászati jellegére, hiszen a vasbuca feldolgozása és a fűjtatócső felhasználása történhetett egy kovácsműhelyben is.

A vassalakok archeometriai vizsgálatának első lépése a morfológiai elemzés és a salak makroszkóposan megfigyelhető egyéb tulajdonságainak a rögzítése. A salak morfológiai jellegei jórészt tükrözhetik a salak képződésének körülményeit, bár önmagukban – néhány szignifikáns salaktípus kivételével – nem meghatározó érvényűek. A morfológiai jellegek értékeléséhez szükséges áttekintenünk a kohósalak és a kovácssalak képződési körülményeit.

A faszenes ércredukció során alkalmazott kohók térben és időben részletesen tipizálhatóak (2. ábra), azonban a salakképződés szempontjából végső soron két típust különíthetünk el. Az egyszerű aknakemencékben a nagytömegű salak képződése a fűjtatócső közelében történik, és a szilikátos olvadék rendszerint a faszénágyon átcsöpögve a kemence alján lepény formájában szilárdul meg. E salak alsó része a kemencetapasztás átégett maradványait tartalmazhatja, felső része pedig faszénlenyomatos, illetve a salak is tartalmazhat faszénmaradványokat. Az adott típusú vassalak rendszerint nagy fajsúlyú, tömör, és mágneses, és akár több kilogrammos tömegű, lepényszerű képződmény (3. ábra). Mivel a morfológia a kemence aljához igazodik, gyakran „plan-konvex” jellegű is lehet az ilyen salak, ezért csak részletesebb vizsgálat segíthet az a kohászati eredet eldöntésében, mivel „plan-konvex” típusú salak kovácstűzhelyen is képződhet (ld. alább). A bucakohókban szintén gyakori a különböző méretű kerekded, erősen gázhólyagos és kis fajsúlyú, csupán egyes részein mágneses, első pillantásra is üveges anyagú salakcseppek képződése (3. ábra). E salakcseppek azonban kovácsműhelyben is képződhetnek, tehát a makroszkópos jellegek alapján eredetük nem meghatározható.

A bucakohászatban használt kohók egy sajátos típusa salakcsapoló nyílással rendelkezett. A salak időszakos lecsapolása során sajátos morfológiájú, ún. folyósalak képződik. E salaktípus könnyen felismerhető mivel a salak folyásából származó fonatos-olvadéknyelves struktúra a salak felszínén jellegzetes rajzolatokat alkot (3. ábra). E morfológiai jelleg felismerése tehát a salakot egyértelműen kohászathoz kapcsolja.



**3. ábra.** Jellemző vasalak típusok (Árpád-kori). A salaklepeny és salakcsepp Letenyéről, míg a folyósalak Imoláról származik. A kovácssalak Balatonmagyaródról (a középkori Kolonról) származik

A kovácstüzhelyen keletkező salakok többsége szinte kivétel nélkül „plan-konvex” morfológiájú (Bayley et al. 2001). A képződési körülmények jól tükröződnek a salak megjelenésén (3. ábra). A felső „plan” oldal rendszerint sima és üveges, esetenként kissé bemélyedő jellegű. A kovácstüzhely fűjtatójából érkező erős légáramlat olvadék-elterítő hatásából következően a salak felülnézetben gyakran elliptikus alakú, és a fűjtatóval szemközi

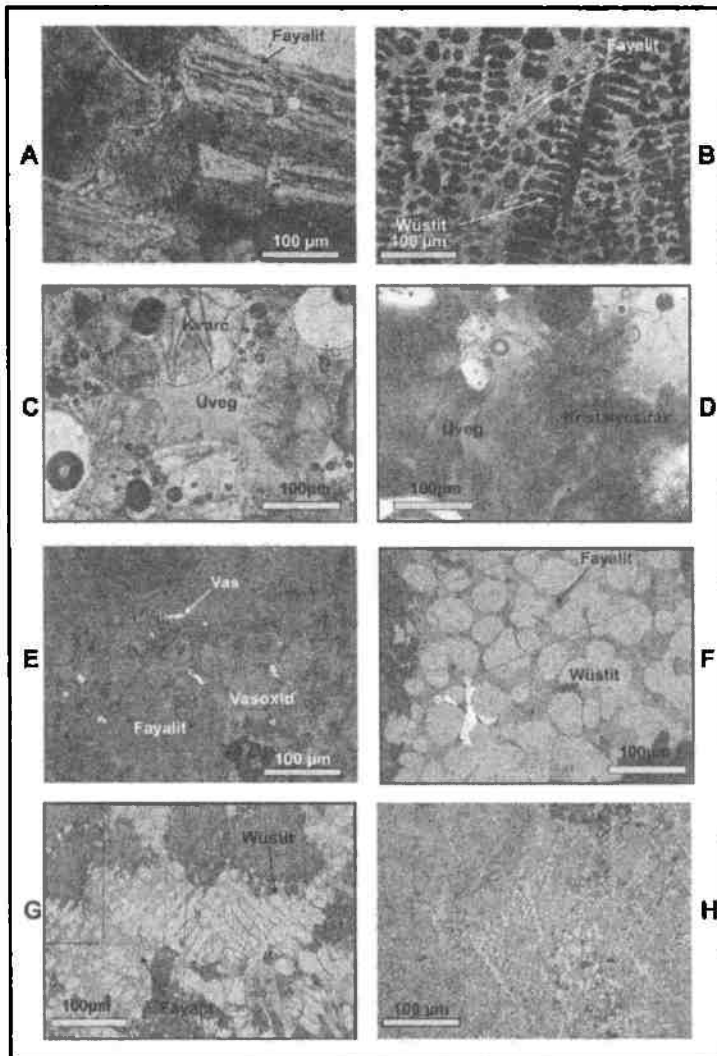
irányban jelenik meg az üveges felső kéreg. Máshol a felső rész egyenetlen, salakcseppes struktúrájú is lehet. Oldalnézetben szintén jellemző lehet a kissé aszimmetrikus, megnyúlt forma, és kitűnhet a salak réteges felépítése. Ez utóbbi sajátosság arra vezethető vissza, hogy a kovácstűzhelyt többszörösen felhevíthették egy-egy buca, vagy egyéb munkadarab megmunkálásához a korábban képződött salak eltávolítása nélkül. A „plan-konvex” kovácssalak alsó, domború része a tűzhelytapasztás átégett maradványait tartalmazhatja, és rendszerint viszonylag sima felületű. A „plan-konvex” salakok tömege elérheti a kilogrammos nagyságrendet, rendszerint erősen mágnesesek és anyaguk viszonylag tömör. Mindezek mellett erősen üveges, kis fajsúlyú, porózus „plan-konvex” salakok is ismeretesek. A jellegzetes morfológiájú salaktípus mellett, egyéb üveges, kis fajsúlyú salakcseppek is képződhetnek a kovácstűzhelyen, de ezek rendszerint kisméretűek (néhány centiméteresek), szabálytalan alakúak és kicsi a tömegük.

A fenti áttekintésből kitűnik, hogy egyes esetekben a morfológiai és egyéb makroszkóposan megfigyelhető jellegek már utalnak a vassalak eredetére. Sokszor azonban csupán salaktöredékek kerülnek elő egy-egy lelőhelyről, illetve a makroszkópos megfigyelés nem vezet kielégítő eredményre. A salakok vizsgálatának következő fázisa a salakból készült 30 mikrométer vastag, felületükön polírozott metszetek áteső-, és ráeső fénymenetű polarizációs mikroszkópos vizsgálata. E vizsgálatok célja az, hogy a salak alkotóinak jellemzőit, és főként szöveti-szerkezeti tulajdonságait megfigyeljük, és a salak eredetére utaló mikroszkópos bélyegeket rögzítsük.

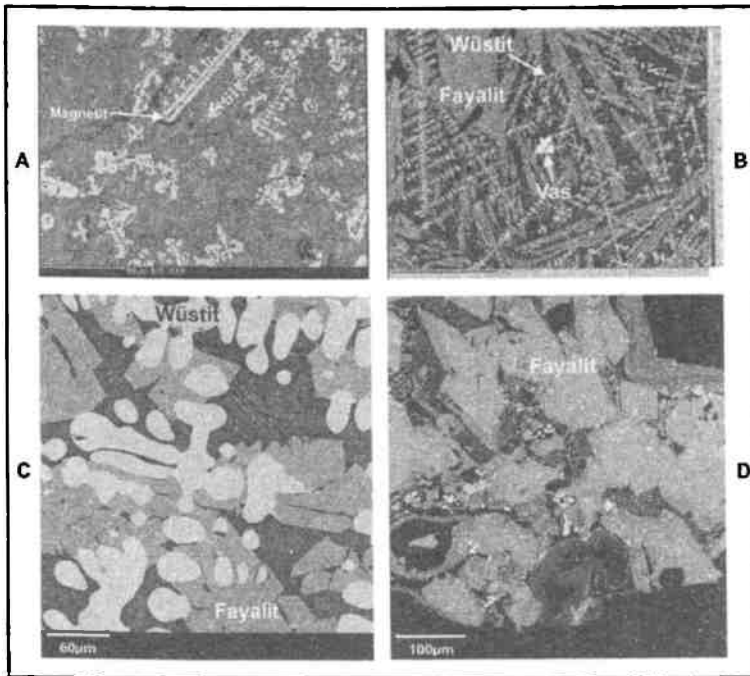
A vassalakok (és jórészt a rézkohászat során képződő salak) felépítésében a leggyakrabban előforduló kristályos fázisok a következők:

- wüstit:  $\text{FeO}$
- magnetit:  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$
- fayalit:  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$
- kirschsteinit:  $\text{CaFeSiO}_4$
- kalszilít:  $\text{KAlSiO}_4$
- leucit:  $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$
- piroxén-félék: klinoensztatit  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ; klinoferroszilít,  $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ,  
diopszid  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
- adalékanyag-maradványok: kvarc,  $\text{SiO}_2$ , földpátok (plagioklász, kálföldpát).

A vassalakokban ezeken kívül rendszeresen előfordulnak vas-, és vasótvözet szemcsék, továbbá a salak jelentős részét teheti ki a magas vastartalmú, alkáliákban és alkáliföldfémekben gazdag üveg is. Áteső fénymenetű polarizációs mikroszkópos megfigyelések révén könnyen azonosítható a fayalit-kirschsteinit, az adalékanyag-maradványok és az üveges anyag (4. ábra, A, B, C és D képek), mely utóbbiban rendszerint kristálycsírákként fordulnak elő a piroxén-félék. A salakok áteső fénymenetű mikroszkópos vizsgálatát azonban gyakran megnehezíti a nem átlátszó (opak) fázisok nagymennyiségű jelenléte, ezért célszerűbb ráeső fénymenetű polarizációs mikroszkópban a salakmetszet polírozott felületén észleléseket végezni. E megfigyelések során a fémszemcsék nagy fényvisszaverő képességük révén könnyen azonosíthatók, és jól megfigyelhetők az egyes alkotók kapcsolódásából kirajzolódó szöveti-szerkezeti bélyegek. A fémszemcsék eloszlásának és alakjának megfigyelése



**4. ábra.** Jellemző vasalak szövetek polarizációs fénymikroszkópban. A vázkristályos fayalit cseppszerű üveges alapanyag-halmazokban (kovácssalak). B – tűs-dendrites wüstit sugaras-kévs fayalit mátrixban. A fayalitkristályok közeit üveg tölti ki (kovácssalak). C – az adalékanyag kvarcscemcséinek maradványai az üveges alapanyagban (kovácssalak). D kristálysírák (piroxénfélék) üveges alapanyagban (kovácssalak). E – szilánkos-tört vasszemcsék uralkodóan durvakristályos fayalitból álló alapanyagban (kovácssalak). F – durvakristályos, agytekervény-szerű wüstit vázkristályos fayalitból és a fayalit közeit kitöltő üveges-leucitos alapanyagban (kohósalak). G – dendrites wüstit fayalitos alapanyagban (kohósalak). H – tűs-dendrites wüstit durvakristályos fayalitból álló alapanyagban (folyósalak). Az A, B, C és D képek a polarizációs mikroszkóp áteső, míg a E, F, G és H képek a polarizációs mikroszkóp ráeső fénymenete mellett készültek az analizátor kiiktatásával



**5. ábra.** Elektronmikroszkópban készült nagyfelbontású visszaszórt elektronképek vassalakok jellemző szöveteiről. *A* magnetit vázkristályok a világosszürke fayalitból és a sötétszürke üvegből álló alapanyagban (kovácssalak). *B* tűs-dendrites wüstit és vázkristályos fayalit. A fekete hátteret az üveges alapanyag alkotja (folyósalak). *C* - dendrites wüstit vázkristályos fayalitban. A fayalitkristályok között kitöltő inhomogén anyag leucitba ágyazott wüstit tollszerű képleteit tartalmazza (kovácssalak). *D* - durvakristályos fayalit összetételi zónássággal (a Fe-, Ca-, és Mg-tartalom változásából eredően). *A* fayalit kristályai közötti teret wüstit-szemcséket tartalmazó leucitos-üveges alapanyag tölti ki (kovácssalak)

elsőrendű fontosságú, mivel ha azt tapasztaljuk, hogy egyes sávokban-rétegekben jelennek meg, és alakjuk tört-szilánkos, akkor a kovácssalak-eredet bizonyítottan tekinthető (4. ábra, D kép). A szilikátos fázisok mellett a wüstit és a magnetit még mindig viszonylag nagy reflexióképességű: a wüstit rendszerint tűs-dendrites, durvadendrites és agytekervény-szerű képleteket alkot a fayalitos mátrixban (4. ábra F, G és H képek). Ha a wüstit szöveti jellege nem mutat jelentős változékonyságot a salak egészében, akkor valószínűsíthető a kohósalak eredet. Ellenben ha a wüstit erősen eltérő szövetű mezői élesen váltakoznak (és pl. a határfelületeken vasszemcsék ülnek), akkor inkább a kovácssalak jellegre következtethetünk. A magnetit leggyakrabban lándzsahegy-szerű vázkristályos füzéreket alkot (5. ábra, A kép). Mivel képződéséhez viszonylag oxidatív környezet szükséges, ezért wüstites salakokban rendszerint nem találkozunk vele, és leginkább az üveges, kis fajsúlyú salakokban jellemző alkotó. Mindezek mellett a magnetit jelenléte inkább a kovácssalakokra jellemző. A fayalit

ráső fényben jellegzetesen vázkristályos-táblás megjelenésű a különböző salakokban, de előfordulhat finomrostos-kévéis halmazokban is. Ez utóbbi megjelenés, főként ha a szöveti jellemzők éles váltakozásával társul, inkább a kovácssalakokra jellemző. A fayalit-wüstit halmazok közötti teret a különböző vassalakokban rendszerint leucitos-kalszilites-üveges anyag tölti ki. E fázisok nagyon kicsi reflexióképességűek, gyakran sajátos grafikus-mirmekites jellegű szövetet alkotnak finom szemcseméretű wüstittel. A nagyobb mennyiségű (esetenként uralkodó) üveges alapanyag elsősorban a kovácssalakokra jellemző, de a folyóssalakokban sem szokatlan.

A fenti áttekintésből látható, hogy a makroszkópos megfigyeléseinket mikroszkópos vizsgálatokkal kiegészítve további lényeges támpontokat kaphatunk a vassalak jellegének meghatározásához. A polírozott felületű metszetek egyben kiválóan alkalmasak elektronmikroszkópos megfigyelésekre, melyek során ez egyes fázisok kémiai összetételének meghatározása is lehetséges. Az elektronmikroszkopos visszaszórt elektronképén pedig a fénymikroszkópnál jobb felbontásban vizsgálhatjuk a szöveti-szerkezeti elemeket (5. ábra, A, B, C és D képek).

A hazai gyakorlatban korábban a salakok teljes kémiai elemzése honosodott meg és a mikroszkópos (metallográfiai) vizsgálatok főként a fémekre terjedtek ki. Az elektronmikroszkopos vizsgálatok előnye abban nyilvánul meg, hogy az egyes alkotók összetételét külön-külön meghatározhatjuk, és az összetételi jellegeket kapcsolhatjuk a szöveti-szerkezeti bélyegekhez. E vizsgálatok során az elsődleges cél azonban már nem a salak (kovácssalak-kohósalak) jellegének a meghatározása, hanem az eredeti ércnek a kohósalakba, sőt a kovácssalakba „átöröklődött” kémiai jellegeinek a meghatározása. E vizsgálatok révén tehát szerencsés esetben az érclelőhelyet azonosíthatjuk, melynek ismerete a salak előfordulási helyének és jellegének figyelembe vételével további fontos régészeti szempontú következtetések levonására lehet alkalmas. Ez egyes esetekben igen komplex feladat, és az érclelőhelyek sajátosságainak részletes ismerteté feltételezi. A hazai gyakorlatból merítve itt csupán néhány jellegzetességet emelünk ki, részletes esettanulmányokat pl. Molnár (2007), illetve Czajlik és Molnár (2007) munkáiban találhat az érdeklődő olvasó.

A vassalakok fémszemcséinek kémiai összetételében a vas mellett főként a Ni, Ti, Mn, Cu, As, Sb, Ag, és P mennyisége érdemel hangsúlyos figyelmet az elektronmikroszkopos elemzések során. A magas (2–4 súly %) foszfor-tartalom (esetenként a Mn jelentősebb koncentrációival) rendszerint a gypvasérc eredetet tükrözi, míg a jelentősebb Ti-tartalom az érc magmás eredetéhez kapcsolható. Ha azonban a Ni, Cu, As, Sb jelentős koncentrációit tapasztaljuk (egyes szemcsékben akár tíz súlyszázalékos nagyságrendben!) akkor inkább szulfidos érctelep „vaskalap” zónájából származhatott az eredeti vasérc.

A fayalit összetételében a nagyobb Mg-tartalom és főként a Ca jelentős mennyisége (krischsteinit) gypvasérc és karbonátos kőzetkörnyezetből származó vasérc eredetre utalhat. Azonban szükséges hangsúlyozni azt, hogy Ca-tartalmú anyag (karbonát) a salakképződést elősegítő adalékanyagokkal együtt is kerülhet a salak anyagába, sőt ez technológiai jelleget is tükrözhet, mivel a Ca-tartalom növelése megakadályozza a vas fayalitba történő belépését, miáltal a kohászat jobb hatásfokúvá válik.

A wüstit kristályszerkezeti adottságaiból eredően általában nyomelemekben szegény, azonban a megemelkedett Mn-tartalom esetenként a gypvasérc eredetet tükrözheti. A K-gazdag és üveges fázisok elemzése rendszerint nem szolgáltat további támpontul az érceredet meghatározásához, kivéve az üveg foszfor- és bárium-tartalmát. Kiugróan magas (több súly %) foszfor-tartalom erősítheti a gypvasérc-eredetre utaló következtetéseinket. A megemelkedett bárium-tartalom pedig a hazai gyakorlatban a rudabányai vasérctelep oxidációs zónájából, illetve a rómaiak által a Dél-Alpokban és Dalmáciában művelt, a rudabányaihoz hasonló típusú ércelepekből származó vasércre utalhat, főként ha a salak vasszemcséiben a színesfémek megemelkedett koncentrációit tapasztaljuk.

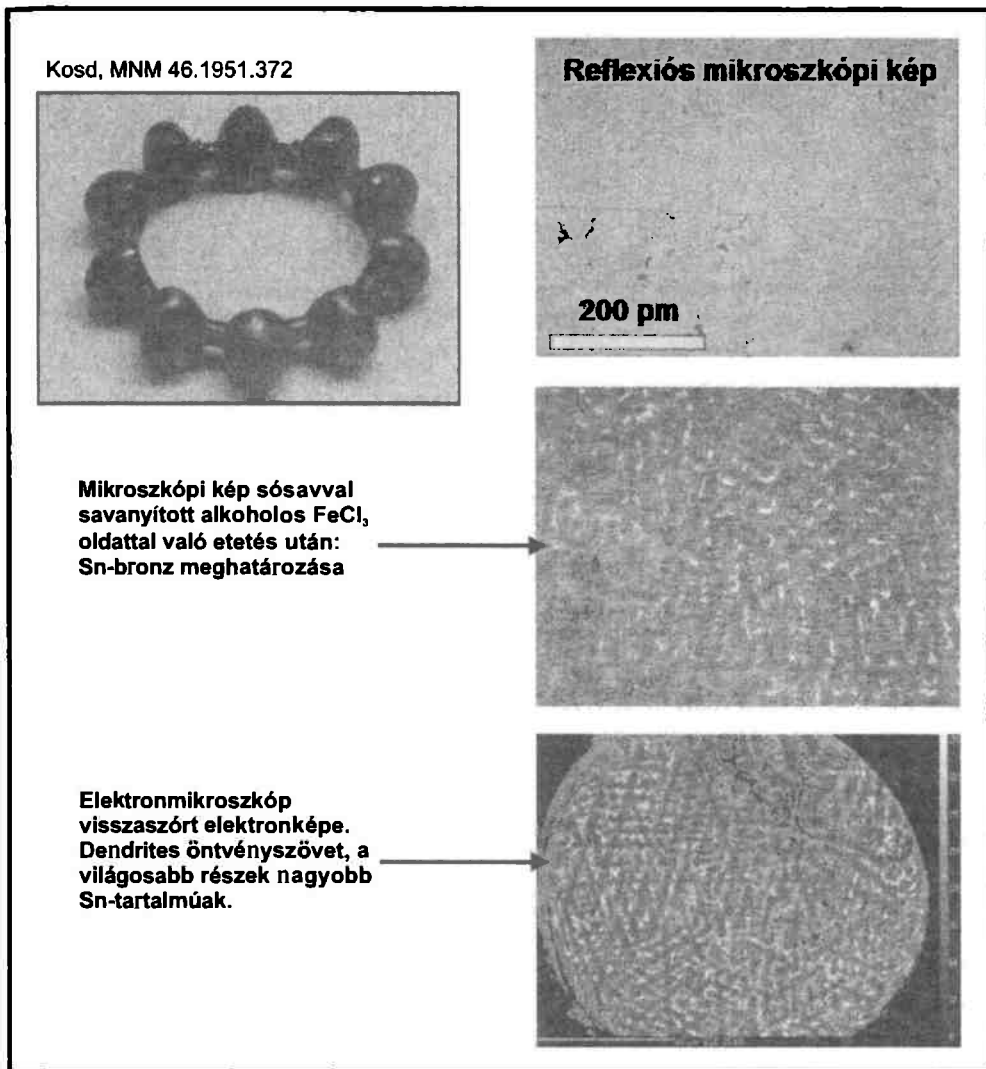
A fenti vázlatos áttekintésből is kitűnik, hogy a salakok részletes vizsgálata sok hasznos információval szolgálhat egy-egy régészeti lelőhely értékeléséhez. A hazai viszonyok között is viszonylag könnyen kivitelezhető vizsgálatokat esetenként kiegészíthetjük a salak anyagának egyéb elemzési módszereivel is, így pl. röntgenpordiffrakciós fázisanalízissel, mely elsősorban az erősen üveges anyagú salakok mikrokristályos alkotóinak meghatározását segíti elő, illetve az elektronmikroszondás elemzés kimutatási határainál érzékenyebb, de szintén a salak egyes fázisainak önálló elemzését lehetővé tevő lézerablációs ICP MS vizsgálatokkal. Közismert, hogy a vassalakok termolumineszcens vizsgálata, illetve a bennük előforduló faszén karbonizotópos vizsgálata a salak képződési idejének meghatározására lehet alkalmas.

## 4. FÉMEK

A dolgozat eddigi gondolatmenetét követve e fejezetben elsősorban a réz-, bronz- és vaseszközök, illetve félkésztermékekre vonatkozó, a hazai kutatásainkon alapuló legfontosabb ismereteket tekintjük át. Az aranyékszerck és egyéb fémek archeometriai vizsgálata ritkán jelentkezik „napi” feladatként, és sajátos jellegénél fogva inkább kurióznak, mint általános gyakorlatnak tekinthető. Ennek nyilvánvaló oka az, hogy a roncsolásmentes vizsgálatok lehetőségei erősen lehatároltak, bár a fentiekben már említett lézerablációs ICP MS kémiai elemzéseknek minden bizonnyal jelentős előretörését fogjuk látni e téren az elkövetkező években.

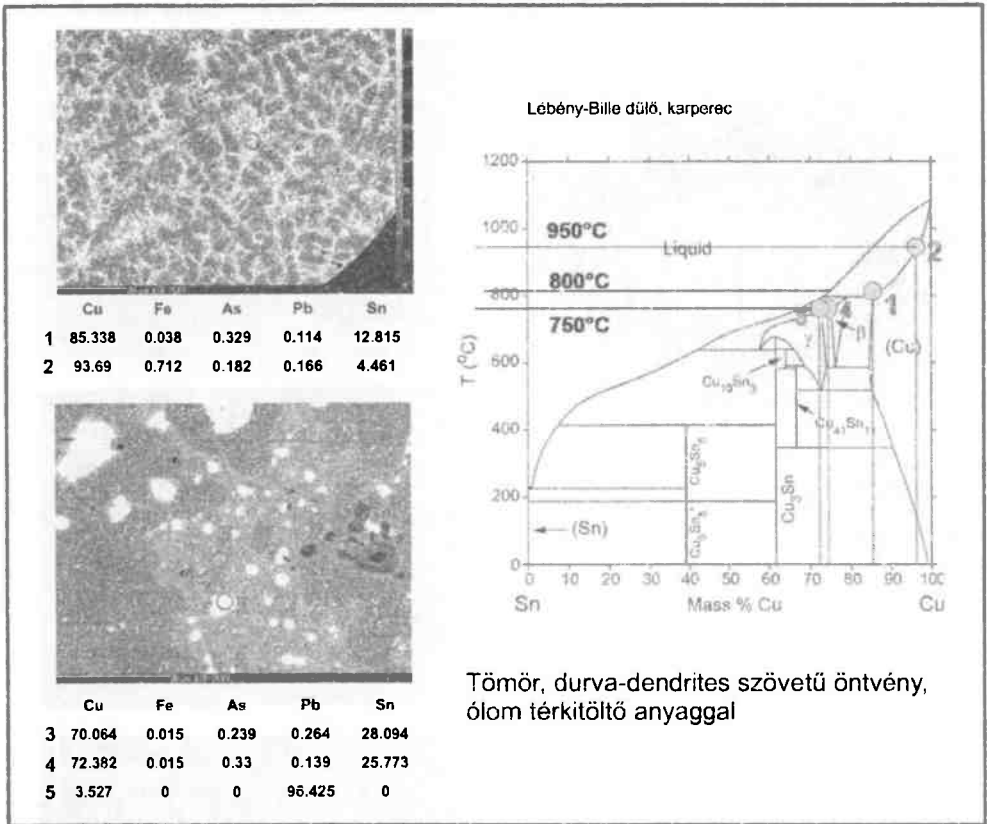
A régészeti eredetű réz-, bronz- és vastárgyak vizsgálatának elsődleges célkitűzései a nyersanyag eredet és a megmunkálás technológiájának meghatározása. E vizsgálatokat nagyban nehezítik a mintavételezés korlátai, mivel a legtöbb esetben szükséges bizonyos anyagmennyiség a mikroszkópos és elektronmikroszondás, vagy az egyéb kémiai vizsgálatok elvégzéséhez. Míg a réz- és bronztárgyak esetében a restaurálhatóság szempontjai erősen behatárolják a vizsgálható minta mennyiségét, addig a vas esetében sokszor a fém jelentős (esetenként csaknem teljes) korróziója jelent korlátozó tényezőt. A réz-, és bronztárgyak fény- és elektronmikroszkópos vizsgálatához szükséges mintavételezés módszerét az ELTE TTK Ásványtani Tanszékén fejlesztettük ki Rózsavölgyi János technikus közreműködésével. A mintavételezéshez nagykeménységű acélból 1 mm átmérőjű, belül üreges fűrőfejet készítettünk, mely hagyományos fűrőgéphe illesztve egy mintegy 0.6–0.8 mm átmérőjű hengeres próba kifúrását teszi lehetővé a vizsgálandó tárgyból. A kísérletek azt mutatták, hogy





6. ábra. Kosdi kelta bronzkarperec szerkezeti-szöveti sajátosságai fénymikroszkópos és elektronmikroszkópos felvételeken

az eljárás során az anyag eredeti belső struktúrája sértetlen marad, így a fém megmunkálási, vagy öntési szövete jól tanulmányozható. Erre mutat példát a 6. ábrán összefoglalt, kosdi kelta bronz karperec vizsgálati eredménye. A fent leírt eljárással vett minta polírozott felületének egyszerű ráeső fénymenetű polarizációs mikroszkópos jellegei inhomogén szövetre utalnak. A bronz polírozott felületének sósavval savanyított vaskloridos étetése után a bronzöntvényekre jellemző dendrites struktúra jól kitűnt. A reflexiós fényben az étetett felületen tapasztalható

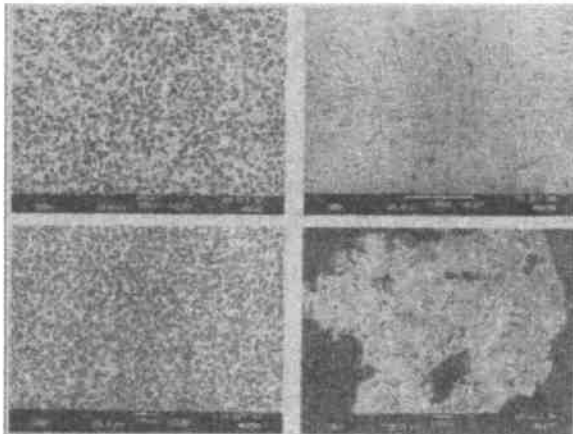
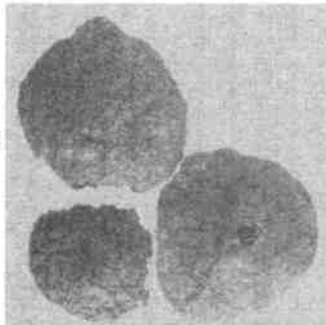


7. ábra. Lebény-Bille dűlőből származó kelta bronzkarperec öntvény szerkezete és az öntvény összetételének sajátosságai az ónbronzz-fázisdiagramjára vetítve

különböző színárnyalatok az öntvény egyes részei között a megszilárdulás során létrejövő réztartalombeli különbséget tükrözik. Mindez szintén jól megfigyelhető az ugyanezen felületről elektronmikroszkóppal készített visszaszórt elektronképen is. A bronz szövete egyértelműen rögzíti, hogy a vizsgált ékszert öntéssel készítették, hiszen kalapálás-nyújtás esetén a jellegzetes öntvény-szövet deformációját tapasztalnánk.

A salakok kapcsán már láttuk, hogy az elektronmikroszkopos vizsgálatok nem csak a szövet nagyfelbontású megfigyelését, hanem az egyes fázisok pontszerű (akár csupán kb. egy négyzetmikrométer területen történő) kémiai elemezését is lehetővé teszik. Ilyen kémiai elemzések mutat példát a 7. ábra, mely szintén egy kelta ónbronzz karperec vizsgálati eredményeit szemlélteti. Az öntvény egyes komponenseinek összetétele jól követhető az ónbronzznak a mellékelt fázisdiagramon követhető, 950–750°C között végbemenő kotektikus-eutektikus kristályosodását, ami kellően megválasztott öntési technológiára utal. A mikrokémiai elemzések azt is kiderítették, hogy az ónbronzz térkitöltő anyagként

Velem, Szent Vid hegy:  
rézlepények



Inv.N.	Cu	Ag	Ni	Co	As	Sb	Bi	Pb	Fe	S
1.	45.1896.1	92.68	1.57	-	3.99	-	-	-	-	-
2.	"	60.93	12.04	-	10.04	16.99	-	-	-	-
3.	"	-	-	-	8.49	35.58	-	55.93	-	-
4.	45.1896.2	93.98	-	-	3.40	1.04	-	-	1.57	-
5.	"	7.32	-	-	17.19	-	-	17.37	50.95	-
6.	"	2.13	-	-	-	-	-	-	97.87	-
7.	"	96.02	-	-	2.43	1.11	-	-	0.44	-
8.	"	96.15	-	-	-	0.49	-	-	1.61	-
9.	45.1896.3	91.84	8.16	-	-	-	-	-	-	-
10.	"	65.44	-	-	-	-	-	-	-	34.56
11.	"	31.57	36.9	2.83	13.83	14.87	-	-	-	-
12.	"	61.01	5.41	3.63	-	-	-	29.95	-	-
13.	V93.F1	94.03	0.40	-	2.85	2.73	-	-	-	-
14.	"	74.09	2.05	-	5.17	18.68	-	-	-	-
15.	"	76.42	0.93	-	5.43	17.21	-	-	-	-
16.	"	75.47	1.79	-	6.03	16.71	-	-	-	-
17.	"	93.72	-	-	2.72	3.55	-	-	-	-
18.	"	93.17	0.46	-	3.21	3.47	-	-	-	-
19.	"	74.84	-	-	10.37	14.79	-	-	-	-
20.	"	78.54	2.21	-	5.99	16.26	-	-	-	-
21.	"	11.67	36.01	-	-	-	52.33	-	-	-
22.	V93.F2	24.83	-	-	10.62	14.55	-	-	-	-
23.	"	93.66	0.37	-	3.73	2.24	-	-	-	-
24.	"	2.15	-	-	-	2.67	-	95.17	-	-
25.	V93.F3	100.00	-	-	-	-	-	-	-	-
26.	"	64.41	-	-	-	-	-	-	-	35.89
27.	"	3.23	96.45	-	-	-	-	0.33	-	-
28.	V93.F10V1	100.00	-	-	-	-	-	-	-	-
29.	"	4.81	-	-	3.00	16.69	-	73.50	-	-
30.	V93.F10F2	98.30	-	-	-	1.70	-	-	-	-
31.	"	11.72	-	-	10.12	78.16	-	-	-	-
32.	"	76.07	-	-	2.82	21.31	-	-	-	-
33.	V93.F15	99.18	-	-	-	0.82	-	-	-	-
34.	"	80.49	-	-	-	19.51	-	-	-	-

Elektronmikroszkópban készült visszaszórt elektronképek

Az elektronmikroszondás elemzések eredményei a  
lepények egyes fázisain

8. ábra. A velemi Szent Vid-hegy kelta rézlepényeinek inhomogén belső szerkezete és az egyes alkotók kémiai összetétele elektronmikroszondás vizsgálatok alapján (Czajlik et al. 1995 nyomán)

ólmot is tartalmaz (ez szilárdul meg abban a térben, melyet a bronz ónban gazdag végső kristályosodási termékei már nem tudnak kitölteni), ami a kelta bronzművesek magas fokú technológiai ismereteit tükrözi.

A nyersanyag eredet tisztázására folytatott vizsgálatokra példaképpen a veleimi, szintén kelta korú, antimonbronzal kapcsolatban folytatott vizsgálataink eredményeit említjük (bővebben Czajlik et al. 1995 cikkében). E lelőhelyen félkész termékeket, azaz rézlepényeket („ignot”) vizsgáltunk fénymikroszkópos és elektronmikroszondás eljárással. Az öntvények belső struktúrája erősen változékony, pecsétés, szemcsés és dendrites jellegeket mutat és a különböző komponensek kémiai összetétele egy olyan szulfidos érctelepre utal, melyben a réz mellett az Ag, Ni, As, Sb, Co és Bi is jelentős koncentrációkkal bír (8. ábra). Ebben az elemháztartásban a Ni, Co, Ag és Bi együttese a perdöntő, mivel egyértelműen egy ún. ötelemes Cu-Bi-Co-Ni-Ag hidrotermális érctelepet jelöl. Az ilyen elemháztartású érctelepek az alpi Grauwacke Zónában, illetve Úrvölgy (Spania Dolina) és Dobsina környékén ismertek. A régészeti háttér alapján inkább az alpi zóna (Mitterberg) lehetett a veleimi rézlepények előállítási helye.

A vastárgyak elemzésével kapcsolatos tapasztalataink azt mutatják, hogy a fémvas struktúrája és kémiai összetétele csak szerencsés esetben tanulmányozható, mivel a vastárgyak rendszerint erősen korrodált állapotban kerülnek elő. Vasbucák esetén a helyzet kedvezőbb, mivel a nagy tömegű anyag belső részei rendszerint még nem oxidálódtak, másrészt a bucák salakzárványossága is fontos információkat hordozhat a „Salakok” című fejezetben leírtak alapján. A vastárgyak, bucák polírozott felületeinek citromsavas nitallal történő étetés utáni ráeső fénymenetű polarizációs mikroszkópos vizsgálata a vas széntelítettségének jellegeit tárhatja fel, illetve hozzásegít annak eldöntéséhez, hogy a szerencsésen előkerült fém darab vajon ténylegesen régészeti értékű, vagy modern kohászati eljárásokhoz köthető. A hazai tapasztalat azt mutatja, hogy a vas esetében sokkal inkább célszerű az amúgy is nagyobb mennyiségben előkerülő salakok fémszemcsék vizsgálatára összpontosítani, mivel e szemcséket a beágyazó szilikátos-üveges salakanyag megóvja a korróziótól, másrészt az ilyen típusú anyag szinte „korlátlan” mennyiségben, a mintavételezést követő utólagos restaurálást nem igénylő módon áll rendelkezésünkre.

## NÉHÁNY ZÁRÓ GONDOLAT

A régészeti feltárások során előkerülő salakok és fémek archeometriai vizsgálatából levonható következtetések ásványtani, ércföldtani, kohászati, fémtani és természetesen régészeti ismereteket igényelnek. A sikeres munka a különböző szakterületekről érkező kutatók együttműködését feltételezi. A salakok és fémek hazai vizsgálatában e dolgozat szerzője által alkalmazott makroszkópos-morfológiai megfigyelések, fénymikroszkópos vizsgálatok és elektronmikroszondás kémiai elemzések számos esetben szolgáltattak támpontot a nyersanyag eredet, továbbá a kohászat és fémfeldolgozás technológiai kérdéseinek tárgyalásához. További előrelépés várható egyéb mikrokémiai elemzéseknek (pl. lézeralációs ICP MS) és izotópegekémiai vizsgálatoknak (pl. fémek izotópjainak vizsgálata a nyersanyag eredet meghatározására) a hazai gyakorlatba történő bevezetésével.

## Köszönetnyilvánítás

A salakok és fémek archeometriai kutatásának fontosságára e sorok szerzőjének figyelmét Dr. Czajlik Zoltán (ELTE BTK) hívta fel. A kutatásokhoz szükséges régészeti anyagokat Dr. Czajlik Zoltánnal, Dr. Kvassay Judittal (Zala Megyei Múzeumok Igazgatósága), Dr. Wolf Máriával (Magyar Nemzeti Múzeum) és Patay Róberttel (Pest Megyei Múzeumok Igazgatósága) folytatott együttműködések szolgáltatták. E régész kollégákkal folytatott megbeszélések nagyban hozzájárultak egyes témakörök mélyebb megismeréséhez, de a cikkben esetleg előforduló, régészeti szempontból vitatható megállapításokért a felelősség nem őket terheli.

## IRODALOM

- Bayley, J., Dungworth D., Paynter, S. (2001): *Archaeometallurgy*. English Heritage Publication. Sterling Press Ltd.
- Czajlik, Z., Molnár, F. (2007): Sidérurgic. In: Szabó, M. (szerk.). *L'habitat de l'époque de La Tène á Sajópetri-Hosszú-dűlő*. Budapest: Robinco Kft., 263–270.
- Czajlik, Z., Molnár, F. Sólymos, K. G. (1995): Angaben zu der spatbronzezeitlichen Metallrohmaterialversorgung am Velem/St.-Veit-Berg, Westungarn. *Archäologie Österreichs*, **6/2**, 30–35.
- Gömöri J. (1982): Vassalak-lelőhelyek jelentősége az ásványi nyersanyagok történetének kutatásában. In: Zsámboki L. (szerk.) *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből I*. Miskolc: Nehézipari Műszaki Egyetem, 93–144.
- Gömöri J. (2000): Az avar kori és Árpád-kori vaskohászat régészeti emlékei Pannóniában. Sopron: Soproni Múzeum.
- Kiss J. (1982): *Érteleptan II*. Budapest: Tankönyvkiadó.
- Molnár F. (2007): Az Árpád-kori Kolon (Balatonmagyaród) település vassalak-depójának anyagvizsgálata: a technológia és a nyersanyageredet kérdése. *Zalai Múzeum* **15**, 281–294.
- Pásztor G., Szepessy A., Kékesi T. (1990): Színesfémek metallurgiája. Budapest: Tankönyvkiadó.
- Salih, A., Salamet, A. (2008): The fall and rise of Nam's qanats. *A World of Science*, vol. **6/1**, 16–19.
- Tylecote, R. F. (1976): *History of Metallurgy*. London: The metals Society.
- Waldbaum, J. C. (1978): *From Bronze to Iron: The Transition from the Bronze Age to the Iron Age in the Eastern Mediterranean*. Göteborg: Paul Aströms Förlag.