

SZABÓ GÉZA

**A DUNÁNTÚLI URNAMEZŐS KULTÚRA
FÉMMŰVESSÉGE
AZ ARCHAOMETALLURGIAI VIZSGÁLATOK
TÜKRÉBEN**



PÉCS, 2013



SZABÓ GÉZA

A DUNÁNTÚLI URNAMEZŐS KULTÚRA FÉMMŰVESSÉGE AZ
ARCHAEOMETALLURGIAI VIZSGÁLATOK TÜKRÉBEN

THE METALLURGY OF THE TRANSDANUBIAN URNFIELD CULTURE IN LIGHT OF
ARCHAEOMETALLURGICAL INVESTIGATIONS

ISBN 978-963-642-506-7

A disszertáció lezárásának éve: 1997 (Szekszárd)
A címlapon: északi eredetű övkorong Dunaföldvárról

Redactio
PTE-BTK-TTI, Ókortörténeti Tanszék
7624 Pécs, Rókus u. 2.
okor@pte.hu

<http://okor.tti.btk.pte.hu>

Pécs, 2013

LECTORI SALUTEM!

A PTE-BTK TTI Ókortörténeti Tanszéke most induló új sorozatának első kötete, Szabó Géza kandidátusi disszertációja a késő bronzkori fémananyag vizsgálatával foglalkozik. A hazai és a Kárpát-medencei archaeometallurgiai kutatások történetében sokáig csak egyéni kezdeményezések vagy kisebb csoportok kutatási eredményei jelentették a főbb csomópontokat. A vizsgálati adatok gyakran csak mintegy táblázatként egészítették ki, illusztrálták a régészeti leletek feldolgozását.

Az 1990-es években – közel egy időben – több nagyobb lélegzetű disszertáció is született, amelyek – egymástól függetlenül – más-más irányból, módszerrel és kutatói kérdéssel közelítettek a témához. Ezek sorában Szabó Géza a késő bronzkor fémművességének technikai, technológiai kérdéseivel foglalkozott részletesen.

A hazai kutatók közül elsőként neki volt alkalma részt venni kifejezetten archaeometallurgiai szakképzésben az angliai Bradfordban. Ezeknek, a hazai leletek mintáin végzett, minden korábbinál nagyobb számú és szélesebb körű vizsgálatának eredményei, valamint kutatási megfigyelései hosszú időn keresztül – ma már nehezen érthető okok miatt – csak kevesek számára voltak teljes körűen hozzáférhetők. Csupán a kiadatlan kéziratában elérhető adatai nem válhattak közkinccsé; ezért a legkülönbébb konferenciákon, szakdolgozatokban, publikációkban nem a kutatás már megismert, elért eredményei tükröződtek, hanem pontatlan, már túlhaladott megállapítások születtek.

Örvendetes, hogy az elmúlt másfél évtizedben Magyarországon is megsaporodtak, végre elfogadottá váltak az archaeometallurgiai témájú kutatások és ezek publikációi. Mára ez a tudományág helyet kapott az egyetemi oktatásban, mind a régészeti, mind a műszaki képzésben. Ez a tény is indokolja, hogy mintegy másfél évtized múltán még mindig időszerű a kutatók és a hallgatók figyelmébe ajánlani Szabó Géza: *A dunántúli urnamezős kultúra fémművessége az archaeometallurgiai vizsgálatok tükrében* c., 1997-ben elkészült dolgozatát. A változatlan formában megjelenő magyar szöveget egy angol nyelvű összefoglaló és a szerző legújabb kutatási eredményeit is tartalmazó irodalomjegyzék egészíti ki.

Amikor útjára bocsátjuk a kötetet, szívből reméljük, hogy sokan találnak benne válaszokat a fémművességgel kapcsolatos kérdéseikre és további kutatásaikhoz kiindulási alapot.

Pécs, 2013. március 17.

Fekete Mária

TARTALOM

1. BEVEZETÉS	5
2. KUTATÁSTÖRTÉNET	
2.1. Archaeometallurgiai kutatások történetének áttekintése	7
2.2. A hazai késő bronzkori fémművesség kutatása	12
3. A DUNÁNTÚLI URNAMEZŐS KULTÚRA LELETEINEK ARCHAEOMETALLURGIAI VIZSGÁLATA ÉS EREDMÉNYEI	
3.1. Egy általános következtetés levonására alkalmas bronzlelet részletes vizsgálata (Regöly - Veravár)	27
3.2. A leletegyüttes tárgyain szemmel is látható jelenségek értékelése	49
3.3. A műszeres archaeometallurgiai vizsgálatok eredményeinek értékelése	61
4. A DUNÁNTÚLI URNAMEZŐS KULTÚRA FÉMMŰVESSÉGE A RÉGÉSZETI KUTATÁSOK ÉS AZ ÚJABB ARCHAEOMETALLURGIAI VIZSGÁLATOK TÜKRÉBEN	67
4.1. Ércbányászat, ércfeldolgozás	68
4.2. Nyersanyagellátás, kereskedelem	76
4.3. Az urnamezős kultúra fémművességének település- és termékszerkezeti összefüggései a régészeti adatok, az interdiszciplináris kutatási eredmények és a régészeti kísérletek tükrében	83
5. ÖSSZEGZÉS	95
SUMMARY: The metallurgy of the Transdanubian Urnfield culture in light of archaeometallurgical investigations	98
6. MELLÉKLETEK	
A bronz és alkotóelemei régészeti kutatások szempontjából legfontosabb tulajdonságainak áttekintése, a késő bronzkori rézötvözetekben használt legfontosabb fémek érceinek ásvány-előfordulásai a Kárpát-medencében és Európában	
6.1. Jegyzetek	110
6.2. Irodalom	120
6.3. Képjegyzék	133
6.4. Képek, táblázatok, ábrák	134

1. BEVEZETÉS

Az urnamezős kultúra kutatása során számos, a fémművesség eszközkészletét és termékeit, a bronztárgyak előállításának általános kérdéseit tárgyaló, alapvetően történeti, tipológiai szempontú munka született. Kevesebb lehetőség és figyelem jutott azonban a folyamatosan gyarapodó bronztárgyak interdiszciplináris háttérű vizsgálatára és értékelésére. Jelen munkánk során a témakörhöz - miként az alcím is jelzi - e kevésbé kutatott, sajátos nézőpontból kívánunk közelíteni.

A kutatás során a terjedelem, az anyagiak és az egyéb feltételek szabta korlátok között igyekeztünk ésszerű kompromisszumot találni. Így, amikor választani kellett, hogy a vizsgálatok során néhány speciális jellemző megismerése érdekében a tárgyak széles körére kiterjedő vizsgálatokat végezzünk, vagy egyetlen, illetve kisszámú bronztárgy alapján törekedjünk minél több adat megszerzésére, a vizsgálati módszerek és a rendelkezésre álló eszközök biztosította lehetőségek alapján ez utóbbit tartottuk eredményre vezetőbbnek. Erre ösztönzött bennünket az a tény is, hogy a hazai és az európai bronzleletek monografikus feldolgozásai, rendszerezései, a korábbi vizsgálatok eredményei már a kutatók rendelkezésére állnak.

Az urnamezős kultúra néhány kiválasztott, a késő bronzkori fémművesség készítési hely vagy technológiai szempontjából egyedinek tekinthető lelete (például az északi eredetű övkorong), vagy a sajátos bronztárgyak (sisakok, edények, karikák) mellett - említett szempontjainknak megfelelően, a terjedelmi korlátokat is figyelembe véve - Regöly-Veravár, a késő bronzkori fémművességet általánosan is jellemző leletanyagát vizsgáltuk meg archeometallurgiai szempontból.

A nemzetközi, s az ehhez kapcsolódó hazai archaeometallurgiai kutatások rövid áttekintését követően a felsorolt régészeti leletek a magyar régészeti kutatásokban is új szempontú elemzése adja értekezésünk gerincét. A készítés és felhasználás módját tekintve is igen sokféle tárgyat tartalmazó Regöly-Veravári kincslelet a szokásosnál részletesebb, a legmodernebb eszközökkel végzett komplex elemzése kontroll lehetőséget ad az eddig felhalmozódott vizsgálati eredmények értékeléséhez, s egyben módot teremt a késő bronzkori fémművesség technikai, technológiai ismereteinek felvázolására is. Az eddig ismert vizsgálati eredmények mellett új, a közép-európai régészeti gyakorlatban kevésbé, vagy egyáltalán nem használt vizsgálati eljárások pedig további segítséget jelentenek a korábbi adatok felhasználásához is. Az anyagvizsgálatok során például nemcsak az összetétel százalékos arányát értékeltük, hanem együtt vettük számba például a rácsszerkezetet és az eszköztípust, annak felhasználási módját is. A megfigyelések alapján feltételezhető megoldásokat öntőműhelyben modelleztük, illetve kísérleti régészeti táborokban az eredetivel közel azonos körülmények között ki is próbáltuk. A tárgyak használhatóságának vizsgálatára a gyakorlati próbák mellett - a hazai bronzkori kutatás gyakorlatában először - keménységvizsgálatokat végeztünk.

A magyarországi késő bronzkori fémművesség egyik alapproblémája, hogy milyen alapanyagból dolgozott, s hogy honnan és hogyan szerezte be azt. Az sem teljesen tisztázott, hogy a bronzeszközöket hol és kik készítették, illetve, hogy azok miként kerültek el a felhasználókhoz. Az a tény, hogy az elmúlt évtizedekben a magyarországi bronzelemzések eredményei sorra az európai átlagot messze meghaladó óntartalmat mutattak, megnehezítette a hazai mérési adatoknak az archaeometallurgiai kutatások nemzetközi vérkeringésébe történő bekapcsolását.

Az értekezésben ismertetett archaeometallurgiai vizsgálati eredmények szerves részének tekinthetők a mellékletben közölt felvételek, összefoglaló táblázatok, grafikonok. Ugyanitt tartottuk szükségesnek számba venni a késő bronzkori fémművesség lehetőségeit nagymértékben behatároló természeti környezetben az ércek előfordulását, valamint a feldolgozott fém, a bronz metallurgiai tulajdonságait.

A vizsgálatok jellegéből is adódik, hogy munkámat csak a közreműködők széles körének segítségével tudtam megvalósítani. A nyári feltárások, leletmentések régészeti kísérletek során önkormányzatok és civil szervezetek, diákok és szakemberek egyaránt sokat segítettek, amit ezúton is köszönök.

Külön köszönet illeti azokat a magánygyűjtőket, akik a vizsgálatok céljára a leleteket rendelkezésemre bocsátották, témavezetőmet, Kőszegi Frigyeszt és régész kollégáimat tanácsaikért. Értekezésem végleges formájának kialakításakor Kovács Tibor, Kemenczei Tibor, T. Biró Katalin, Trogmayer Ottó, Oszvald Ferenc segítőkész kritikai megjegyzéseire és szakmai tanácsaira támaszkodhattam.

2. KUTATÁSTÖRTÉNET

2.1. ARCHAEOMETALLURGIAI KUTATÁSOK TÖRTÉNETÉNEK ÁTTEKINTÉSE

Több mint másfél évszázada hármas felosztású rendszerében Thomsen önálló korszakként különítette el az általa vizsgált dániai bronztárgyak készítési idejét.¹ Az önálló bronzkor létét még negyven évvel később is hevesen támadták.² A vita során egyaránt hangzottak el érvek amellet, hogy a bronztárgyakat csak vaseszközökkel lehet megmunkálni, illetve amellet, hogy a bronztárgyak bronzeszközökkel is díszíthetők.³ A hármas korszakfelosztás és az önálló bronzkor létezése mellett szavazók az általuk bronzkorinak tartott tárgyak alaposabb vizsgálatával és gyakorlati kísérletekkel bizonyították, hogy a legfinomabb, sokak által vésetnek vélt díszítésű ékszereket is elő lehet állítani öntéssel.⁴ A szaporodó leletanyagban egyre több bronzból készített fémmegmunkáló eszköz került elő. Ezek szintén cáfolták azt a nézetet, hogy bronztárgyak csak a vaskorban készülhettek, mert a bronzot csak a nála keményebb vasszerszámokkal lehet megmunkálni.

A vita egyik eredményeként Nyugat-Európában máig tartó hagyománya alakult ki az egyes esz-köztípusok előállítási módját, egy-egy időszak technikai, technológiai ismereteit kutató kísérleti régészetnek.⁵ Magyarországon a hármas korszakfelosztásról folytatott vita során elhangzó érvek-ellenérvek hatására, ha némi fáziskéséssel is, de megkezdődött a bronztárgyak alaposabb vizsgálata.⁶ Az anyagösszetétel elemzése ma már általánosan elterjedt, azonban alig van adat az egyes bronzkori tárgyakon megfigyelhető, a fémmegmunkálás módjára, eszközeire utaló jelenségek részletes vizsgálatára. Hampel a bronzeszközök készítésének módjára keresve a választ gyűjtötte össze a fő nyersanyagformákat, öntőmintákat.⁷ Azonban csak az öntött tárgytipusok készítését vette sorra, a megmunkáláshoz használt eszközök nyomára, az azokból levonható következtetésekre már nem tért ki.

A régészeti kutatások a múlt században talán a mai helyzetnél is szorosabban kapcsolódtak a természettudományos vizsgálatokhoz. Egy-egy új eljárás bevezetése, új összefüggés felismerésének az ipar területén történő gyakorlati alkalmazása sokszor a régészeti tárgyak vizsgálatával párhuzamosan zajlott, vagy nem ritkán éppen a földből előkerült tárgyak vizsgálata vezetett új eredményekre. Widmannstätten például 1820-ban egy meteorit csiszolatán figyelte meg a jellegzetes, azóta róla elnevezett kristályos szerkezetet. Ő volt egyébként az első, aki fémekről csiszolatokat készített.⁸ A mikroszkópot fémek vizsgálatára Robert Hook használta

¹ Thomsen 1837

² Hostmann 1875, Hostmann 1876, Hostmann 1877, Hostmann 1877a, Hostmann 1890, Lindenschmit 1876, Müller 1876, Müller 1877. Az őskor hármas felosztását a magyar kutatók saját eredményeik alapján elsők között támogatták. Érdy 1847, Érdy 1861, Kubinyi 1861, Rómer 1866.

³ Hostmann 1875, Hostmann 1876, Hostmann 1877, Hostmann 1877a, Hostmann 1890, Lindenschmit 1876

⁴ Müller 1876

⁵ Müller 1876

⁶ Loczka 1985, Loczka 1885a, Loczka 1889, Hampel 1886-96, Tompa 1923-26

⁷ Hampel 1886-96. III. 180-202

⁸ Dennis 1963. 321-331

először 1663-ban.⁹ A fémek szövetszerkezetének jobb vizsgálati lehetőségét csak két évszázad múltán oldotta meg Henry Clifton Sorby, aki 1863-ban szintén egy meteorit krisztallit-szerkezetének vizsgálata során dolgozta ki a fémciszolatok készítésének ma is alkalmazott eljárását.¹⁰ A savakkal maratott csiszolatokról - ismét csak elsőként - mikrofelveteleket is készített.¹¹ A fémek kémiai analízisére már a 18. században végeztek vizsgálatokat (Rinman 1774), de széleskörű gyakorlati alkalmazására csak a 19. század utolsó harmadában került sor. A réz-ön ötvözet teljes olvadási görbáját 1897-ben C. T. Heycock és F. H. Newille határozta meg,¹² az első világháború előtt, 1912-ben pedig már a röntgensugár segítségével végeztek elemzéseket.¹³ Így gyakorlatilag kialakult a fémművesség kutatásának ma is használt szinte teljes eszköztára - mikroszkópi csiszolatok készítése, preparálása és fotózása, mikrokeménységmérés, a kémiai elemzések mellett a spektroszkópiai vizsgálatok -, amelyek folyamatosan finomodnak az újabb és újabb eszközök bevezetésével, de gyökeres változást nem jelentettek a vizsgálatok menetében.

A fejlett iparral rendelkező területek, főként az angolszász országok kutatása rohamléptekben fejlődött, de a magyar kutatásra erősebb hatással lévő német nyelvterületeken is számottevő eredményeket értek el. A régészeti tárgyak vizsgálatánál elsősorban az ötvözetek összetételének vizsgálatára helyezték a hangsúlyt - a kutatási gyakorlatnak és hagyományoknak ezek az eltérései a különböző országokban egyébként a mai napig megfigyelhetők. A korai kutatási eredményeket a magyar kutatók is jól hasznosították - mint azt Hampel, Miske és Tompa művei bizonyítják. Különösen Otto Kröhke a közép-európai réz-antimon ötvözetekre vonatkozó nagyszámú analízise volt fontos a magyar kutatás számára.¹⁴ A későbbiekben inkább a tipológiai vizsgálatok kerültek előtérbe,¹⁵ a kutatásokat pedig az Európán kívüli területekre is kiterjesztették.¹⁶ Az analízisek ideiglenes háttérbeszorulása ellenére jelentős szakirodalma alakult ki az ásatások során előkerülő őskori bányáknak.¹⁷ Az ötvenes évektől jelentős változás következett be: sorra jelentek meg a kifejezetten a bronzkori fémművesség kutatásával foglalkozó cikkek, tanulmányok. Angliában 1951-ben jelent meg H.H. Coghlan munkája az őskori réz és bronz feldolgozásáról,¹⁸ egy évvel később Németországban napvilágot látott Helmut Otto és Wilhelm Witter a közép-európai őskori fémművességről írott kézikönyve.¹⁹ Az ezt követő időszakban Angliában vált különösen hangsúlyossá a régészeti fémtárgyak metallurgiai vizsgálata. Coghlan,²⁰ Aitchison,²¹ majd különösen Tylecote²² a régészeti leletek vizsgálata

⁹ Smith 1960. 91

¹⁰ Smith 1960, Smith 1963

¹¹ Smith 1960. Fig. 85-88

¹² Smith 1963. 238

¹³ Smith 1963. 244

¹⁴ Kröhke 1897, Kröhke 1900. 33-38

¹⁵ Ezúttal csak néhány, a témánk szempontjából is a legfontosabb művet szeretnénk megemlíteni: Sprockhoff 1926, Sprockhoff 1928, Sprockhoff 1930, Sprockhoff 1931, Sprockhoff 1949-50, Sprockhoff 1956, Broholm 1943-49

¹⁶ Bossert 1923, Bossert 1928-35, Bossert 1930, Bossert 1937, Bossert 1942, Bossert 1951, Garland-Bannister 1927

¹⁷ További bőséges szakirodalommal: Eibner 1982

¹⁸ Coghlan 1951

¹⁹ Otto-Witter 1952

²⁰ Coghlan 1951, Coghlan-Butler-Parker 1963

mellett sorra jelentette meg a fémművességgel foglalkozó auktorokat, az ábrázolások gyűjteményeit.²³ A hatvanas években az anyagvizsgálatok óriási szériáit végezték el és jelentették meg.²⁴ Megkezdődött az egész Európát átfogó, egy-egy terület és lelet típus teljességre törekvő bemutatását célzó PBF kötetek²⁵ kiadása, azonban ezekben csak ritkán található a fémművességet technikai, technológiai oldalról vizsgáló tanulmány.²⁶ Az említett sorozat mellett azonban továbbra is folyamatosan jelentek meg a különböző gyűjteményes kötetek, monográfiák.²⁷ Közben számos, a késő bronzkori fémleletek vizsgálati eredményeit is felhasználó, történeti, időrendi kérdéseket tárgyaló munka jelent meg²⁸ a szűkebben vett európai régió kívüli területekről is.²⁹ A gyorsan gyarapodó irodalmi adatok és párhuzamok számánál talán csak a kérdések szaporodtak jobban. A témakör kutatásán belül is egyre több irányzat különült el, mindegyik hatványozottan gyarapodó közleményekkel, melyek naprakész követése a számítógépes háttér ellenére is csaknem lehetetlen feladatot jelent a kutató számára. Németországban H. Drescher a ráöntéses technikáról,³⁰ H. Born³¹, H.G. Buchholz³², A.J. Jockenhövel³³, A. Pietzsch,³⁴ H. Wüstemann³⁵ egy-egy tárgy típus készítéséről, használatáról, Alix és Bernhard Hänsel pedig több kincsletről tudósított.³⁶ Különösen a Crévicnél előkerült, öntési selejteket tartalmazó lelet szolgáltatott értékes információkat a lotharingiai urnamezős korú bronzművességről.³⁷

Az eddig említett munkáktól eltérő utakon járt S. Hansen, aki könyvében a Rajna-Majna vidék kincsleleteinek elemzésekor elsősorban statisztikai módszerekkel a leletgyűttesekben található tárgy típusok együttes előfordulásainak variációit vizsgálta.³⁸ Svájcban R. Wyssnek a bronzöntésről,³⁹ a fémművességről⁴⁰ megjelent munkái mellett különösen fontosak Margarita Primas cikkei, aki egyebek között a vízalatti feltárások gyakran szervesanyag-maradványokat is tartalmazó bronzleleteit dolgozta fel, és összegyűjtötte a késő bronzkori ónból készített függőket (M.

²¹ Aitchison 1960

²² Tylecote 1962, Tylecote 1985, Tylecote 1986, Tylecote 1987, Tylecote 1991

²³ Biringuccio é.n., Kretschmer 1958, Oddy 1985, Plinius 1985, Theophilus 1986

²⁴ Hartmann 1968, Hartmann 1968a, Hartmann 1970, Junghaus-Sangmeister-Schröder 1960-1975

²⁵ A hatalmas vállalkozás száznál is több kötete közül ezúttal csak az eddig megjelent két magyar kötetet említenénk: Kemenczei 1988, Patay 1990

²⁶ A kevés kivétel közé tartozik például Margarita Primas kitűnő munkája (Primas 1987)

²⁷ Barth 1987, Bottini 1988, Hencken 1971, Lorenz 1981

²⁸ Ezúttal a bőséges szakirodalomból csak néhány, a területünket is érintő, legfontosabb munkát említünk meg. Bouzek 1985, Childe 1956, Dickinson 1994, Gabrovec 1966, Müller-Karpe 1959, Sandars 1978, Hänsel 1997. Kovács 1997

²⁹ Higham 1996

³⁰ Drescher 1958

³¹ Born-Hansen 1992, Born 1992

³² Buchholz 1987

³³ Jockenhövel 1982

³⁴ Pietzsch 1964

³⁵ Wüstemann 1991

³⁶ Hänsel 1967, Hänsel 1990

³⁷ Hänsel 1990

³⁸ Hansen 1991

³⁹ Wyss 1967

⁴⁰ Wyss 1967a

Primas a Kárpát-medencei leletekre magyarországi kutatásai révén közvetlenül is rálátással rendelkezik).⁴¹ Fémanalízisei miatt ugyancsak e helyen említhető J. Bill ⁴² és M. Egloff cikke a bronzkori sarlók nyeléről.⁴³ A francia kutatás eredményei az ott tartott számos sikeres konferenciának köszönhetően is gyorsan beépültek a nemzetközi tudományos életbe,⁴⁴ az Archaeodromban rendezett bemutatók révén pedig az érdeklődők számára is hozzáférhetővé váltak. A kísérleti régészetnek egyébként Európaszerte jelentős bázisai alakultak ki.⁴⁵ Az oldenburgi múzeum kiállítása Magyarországon is látható volt.⁴⁶ Különösen az észak-európai területeken rendelkeztek nagy hagyománnyal a hasonló jellegű kutatások, ahol a legkülönbözőbb kísérletek mellett⁴⁷ pl. az övkorongok díszítésének vizsgálatával is foglalkoztak. Számunkra különös fontossággal bír, hogy a magyar kutatással azonos következtetésekre jutottak, - ezzel is növelve az egymástól függetlenül levont következtetések értékét.⁴⁸

A környező országok kutatásában is számos, témakörünket szintén érintő mű jelent meg. Ausztriában ezek közé tartozik pl. J. W. Neugebauer,⁴⁹ északi szomszédainknál pedig V. Furnánek-L. Veliacik-J. Vladár összefoglaló munkája, továbbá S. Stegmann-Rajtár,⁵⁰ B. Bath-Bílková⁵¹ cikke. A tőlünk keletre eső területek kutatásának eredményeit és irodalmát legutóbb angolul megjelent munkájában E. N. Chernykh foglalta össze,⁵² a magyar őstörténet kutatása szempontjából is fontos andronovói fémművességet pedig E. E. Kuzmina dolgozta fel.⁵³ A romániai szakirodalmából elsősorban T. Bader⁵⁴, C. Iconomu⁵⁵, F. Medelet⁵⁶, M. Rusu⁵⁷ cikkeiben és C. Eibner tanulmányában⁵⁸ találtunk a jelen munkában is jól hasznosítható adatokat. Déli szomszédainknál a B.

⁴¹ Primas 1985, Primas 1986, Primas 1987, Primas-Ruoff 1981. A szerző a PBF XVIII/2 kötetében mint már említettük jó áttekintést ad a késő bronzkori fémművesség technikai részleteiről is. (Primas 1987)

⁴² Bill 1985

⁴³ Egloff 1985

⁴⁴ A felsorolt művek mindegyikében további bőséges irodalom található, ezért ezekre most részletesen nem is térünk ki. Mangin 1994, Mohen 1990

⁴⁵ Adott időszakban ideiglenesen működő, inkább kiállításjellegű bemutatótól - mint amilyen pl. a svájci Pfhalbauwand volt - az állandó jelleggel működő, szinte már a múzeumi kiállítások, kísérletek háttérintézményévé vált telepekig - mint amilyen pl. az angliai Butser Hill - sokféle, sokféle megoldással találkozhatunk.

⁴⁶ A Keszthelyen és Szegeden bemutatott anyagot jól kiegészítették az Experimentelle Archäologie addig megjelent kötetei. Fansa 1990

⁴⁷ Pl. a hamvasztással kapcsolatos eredményeik is jól hasznosíthatók a magyar kutatás számára (Henriksen 1991.)

⁴⁸ Nacsa 1990, Ronne 1991, Szabó 1990, Szabó 1993a, Szabó 1993d, Szabó 1994

⁴⁹ Neugebauer 1994

⁵⁰ Rajtár 1992

⁵¹ Bath-Bílková 1973

⁵² Chernykh 1992

⁵³ Kuzmina 1991

⁵⁴ Bader 1970, Bader 1982

⁵⁵ Iconomu 1995

⁵⁶ Medelet 1995

⁵⁷ Rusu 1981

⁵⁸ Eibner 1982

Jovanovic⁵⁹ alapvető munkája után megjelenő cikkek - a közölt leletanyag ⁶⁰, vagy a kőkalapácsok nálunk is csak elvétve előkerülő, távoli területek felé mutató példányai⁶¹, az alkalmazott vizsgálati módszerek⁶², a feltárt öntőműhelyek miatt - ugyancsak számos fontos adatokkal segítik a kutatást.

A fémművesség nemzetközi kutatásában az utóbbi években még a korábbiaknál is jobban érezhetően az angolszász nyelvterületekre helyeződött a súlypont. Ebben jelentős szerepe van a régészeti tanszékek sajátos felépítésének is. Angliában például az egyetemek régészeti tanszékein több helyen külön is folyik archaeometallurgiai oktatás (pl. London, Schaffield). Közülük is a legjelentősebb a bradfordi képzés, amely kivételezett helyzetét részben annak köszönheti, hogy az egyetemet az 1960-as években az atomenergia kutatására és az atomerőművi szakemberek képzésére alapították. A későbbi változások, az atomenergia felhasználásának visszaszorulása miatt azonban az oktatási profil átalakítására kényszerültek. Az új, modern épületeket, különösen jól felszerelt laborokat, jól képzett - főként műszaki - szakembereket elsősorban speciális igényeket kielégítő interdiszciplináris kutatásokban és képzésben foglalkoztatták, hasznosították. Az egyetemnek szoros munkakapcsolata alakult ki az amerikai Getty Intézettel. A posztgraduális képzésen résztvevő szakemberek révén személyes kapcsolatokat, a több földrészen folytatott ásatások, kutatások révén munkakapcsolatokat alakítottak ki a világ szinte minden táján.⁶³ A jelen és a jövő kutatásának is jórészt ez jelenti a szellemi bázisát, a kutatások anyagi alapját pedig a szokásos forrásokon túl sokszor az érdekelt társaságok biztosítják. Ennek ismeretében nem véletlen, hogy a bányászatnak például különösen bő szakirodalma alakult ki, az összefoglaló munkákon⁶⁴ kívül is szinte minden egyes angliai őskori bányáról jelent meg külön ismertetés.⁶⁵ A nyersanyagtermelő helyek közül az utóbbi évek jelentős felfedezése a világon jelenleg legnagyobbban tartott őskori rézbánya, a Walesben lévő Great Orme.⁶⁶ A látogatók előtt 1991-ben megnyitott őskori bányában a több szinten futó, több km hosszú vágatokban az eddigi feltárások során több tízezer bányászati eszközt találtak. A vésőként használt csontszerszámok mellett nagy számban kerültek elő az érc fejtésére, összetörésére szolgáló kőeszközök is. A kötélen lendített fejtőkalapácsok súlya a 30 kg-ot is eléri.⁶⁷ Az őskori bányák feltárása⁶⁸ ösztönzőleg hatott nemcsak a különböző fejtési technikák,⁶⁹ de az ércfeldolgozás⁷⁰ és a bronzkori

⁵⁹ Jovanovic 1971

⁶⁰ Vidovic 1988-89

⁶¹ Vrdoljak 1992

⁶² Petersic-Cobal 1988-89

⁶³ A tanszék egyik pojectje Paul Maclean révén évek óta foglalkozik a kárpát-medencei antimon bronzok kérdésével. Az elmúlt évben pedig lehetőségünk nyílt részt venni az archaeometallurgiai posztgraduális képzésen, és számos magyarországi bronztárgy vizsgálatának elvégzésére is

⁶⁴ Blick 1991, O'Brien 1996, Crew 1990, Ford-Willies 1994

⁶⁵ Gill 1993, Raistrick 1975, Raistrick 1983, Raistrick 1995

⁶⁶ Great Orme Mine é.n., Great Orme Mine 1995, Great Orme Mine 1996, Williams 1995

⁶⁷ Great Orme Mine 1996

⁶⁸ Természetesen nem csak Angliában, hanem más területeken is új lendületet vett a kutatás. Pl.: Eibner 1982

⁶⁹ Jackson 1980

⁷⁰ Charles 1985

kohászat⁷¹ kutatására is - sokszor az Európán kívüli ásatási eredmények,⁷² vagy éppen a néprajzi párhuzamok felhasználásával.⁷³ A régészeti kísérletek és a laboratóriumi vizsgálatok eredményeként⁷⁴ egyre többen sikerült meg tudni az őskori fémművesség részleteiről.⁷⁵ Németországban jelenleg is óriási leletanyagot bemutató reprezentatív kiállítás és katalógusa ad jó összefoglalást Európa és a Közel-Kelet őskori fémművességéről.⁷⁶

A kutatás jövőbemutató lehetőségeinek kémiai alapjairól M. Pollard,⁷⁷ a hazai régészeti gyakorlatban pedig csak a legutóbbi évektől használt pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokról S. L. Olsen könyve ad áttekintést.⁷⁸

Mint a fentiekből is kitűnik, az eleinte elsősorban tárgyakat gyűjtő, majd egyre inkább társadalomtudományi szemléletű régészeti kutatások a kezdetektől éltek a természettudományi és műszaki kutatások eredményei nyújtotta lehetőségekkel. Napjainkra a rohamosan gyarapodó adatok mennyisége, a vizsgálati lehetőségek sokfélesége minden korábbinál jobban megnövelte a szaktudományok határterületein mozgó, erősen specializálódott interdiszciplináris kutatások arányát és jelentőségét a múzeumi raktárakban őrzött tárgyak és feltárások nyújtotta információk minél nagyobb mérvű megfejtésére.

Az ásatásokhoz, tárgyakhoz szokott régészek számára ma még talán nehezen belátható, hogy az ezredfordulón túlmutató, korunk csúcstechnikáit kihasználó modern számítástechnikai eljárások már csak a tárgyak nyújtotta információk révén, a régészeti leleteket pusztán a virtuális térben tárják és dolgozzák fel - amelyek első jelei szakterületünkön is megjelentek.

2.2. A HAZAI BRONZKORI FÉMMŰVESSÉG KUTATÁSA

A magyar régészet korai híradásainak számító írásaiban Érdy János a kelenföldi "pogány" temetkezések korát a sírokban talált fémmellékletek alapján határozta meg.⁷⁹ A "rézműdarabok" alapján a kőpakolásos, hamvasztásos sírokat például rézkorinak tekintette, s elkülönítette azokat a hasonló, de vastárgyakat is tartalmazó sírokat, melyeket "átmeneti korszakú"-nak tartott.⁸⁰ Érdy Thomsen rendszerén alapuló, modern felfogású korszak-meghatározása nemcsak szakirodalmi tájékozottságát, de a tudományos információk múlt századi gyors terjedését is tük-

⁷¹ Bamberger 1985, Craddock 1980, Craddock-Hughes 1985, Tylecote-Merkel 1985, Gale-Papastamataki-Stos-Gale-Leonis 1985, Herdits 1993, Zwicker-Greiner-Hoffmann-Reithinger 1985

⁷² Freestone-Craddock-Hedge-Hughes-Valiwal 1985, Rothenberg 1990

⁷³ Bernus-Echard 1985

⁷⁴ Allen-Britton-Coghlan 1970, Hamlin 1996

⁷⁵ A szakmai közönségnek szóló munkák mellett sorra jelentek meg ismeretterjesztő írások is, amelyeket azonban sokszor a régészek is haszonnal forgathatnak. (Hamlin 1996, Knauth 1994, Muhly 1973, Roberts 1994, Scott-Cleere 1984.) A fémek "mágikus" színét, hangját érinti Dorothy Hosler könyve (Hosler 1994)

⁷⁶ A Mainzban megrendezett kiállításon számos magyar leletet (gyakran másolat formájában) láthatunk. Egg-Pare 1995

⁷⁷ Pollard-Heron 1996

⁷⁸ Olsen 1988

⁷⁹ Érdy 1847/a, Érdy 1861

⁸⁰ Érdy 1861

rözte.⁸¹ Érdy leírásából kiderült, hogy bár a szerző végig a "réz" megjelölést használta, valójában bronztárgyakról szólt.⁸² Az európai régészeti és metallurgiai szakirodalom alapján a réz két változatát is megemlítette. Egyrészt a barnarezet, amelyre vonatkozóan a francia "Bronce" szót is használta, s amely nézete szerint a réz és - az ón német nevét említve - "czin" ötvözetéből áll, másrészt a réz és horgany keverékeként meghatározott sárgarezet.⁸³ Figyelmét az sem kerülte el, hogy pusztán az ötvözetek összetétele alapján is különbséget tegyen a horganyt is tartalmazó római kori, és az attól mentes korábbi időszakból származó tárgyak között.⁸⁴ A hazánkban, s a többi európai országban talált fémtárgyak és öntőformák, kohómaradványok alapján Érdy arra a felismerésre jutott, hogy a "réz"-eszközöket készítő népek már a rómaiakat megelőző időszakban a "réz"-tárgyak előállításához szükséges alapanyagok bányászatához, készítéséhez szükséges ismeretek birtokában voltak.⁸⁵

Érdy János munkájához jó támpontot jelentett Ipolyi Arnold anyaggyűjtése⁸⁶ és Kubinyi Ferenc gyűjteménye, melyek ismertetésére ezidőben került sor az Archaeologiai Közlemények hasábjain.⁸⁷ Munkájában Ipolyi Érdyhez hasonlóan végig "réz"- tárgyakról szólt - így a Hajdúböszörményben talált, közismert bronzkincslelet esetében is.⁸⁸ Kubinyi Ferenc azonban már írásának címében, miként a gyűjtemény tárgyainak kormeghatározása során is, a ma használt "bronzkori" kifejezést, a bronz ötvözőelemeként pedig - a magyar régészeti szakirodalomban először - az ónt említette.⁸⁹ Míg anyagleírása első részében a kisterenyei Hársashegyi leletek bronzanyagát még "réz"-ként határozta meg,⁹⁰ a Lapujtó-Pókahegyről közölt régészeti emlékek között már következetesen "bronz"-eszközöket sorolt fel,⁹¹ s a cikk értékelő részében is bronzkorszakról és bronztárgyakról írt.⁹² Ezek a látszólag csak filológiai apróságok jól rávilágítanak hazai régészetünk korai kutatástörténeti időszakára, tudománytörténeti fejlődésére. A fentiek alapján például nyilvánvaló, hogy az Archaeologiai Közleményekben Kubinyi által közölt cikk előzménye legkorábbi feltárásáról, a Hársas-hegyről készült kézirat volt,⁹³ amelyet később csak kiegészített a pókahegyi és gombai ásásokon tett megfigyelésekkel. Az első kézirat és a cikk megjelenése közötti időszak alatt azonban az őskor hármas tagolása mellett az egyes korszakok elnevezése, sőt a bronz pontos összetétele is tisztázódott. Az Érdy János ugyanazon kötetben megjelent írásában olvasható eltérések pedig - melyek, bár a szerző szintén használta korának legújabb kutatási eredményeit és szakirodalmát - még a korábbi eredményeket tükrözik. Ez egyben arra is utal, hogy az új elnevezések és fogalmak még nem honosodtak meg a nemzetközi és a hazai

⁸¹ Érdy 1847

⁸² Érdy 1861. 33

⁸³ Érdy 1861 38-39.; Érdy előtt már Kiss F. a karikapénzek kapcsán használja a "barna réz " és "barnaércz" kifejezést is. - Kiss 1859

⁸⁴ Érdy 1861. 38-39

⁸⁵ Érdy 1861. 40-45

⁸⁶ Ipolyi 1861

⁸⁷ Kubinyi 1861

⁸⁸ Ipolyi 1861. 309-310

⁸⁹ Kubinyi 1861. 81-82

⁹⁰ Kubinyi 1861. 85-100

⁹¹ Kubinyi 1861. 102-103

⁹² Kubinyi 1861. 110-11

⁹³ Kubinyi maga is említi, hogy a Sas 1833. évi XIV. számában 6 kép melléklettel ismertette a Hársas hegy leleteit. - Kubinyi 1861. 87

kutatásban. E mozzanat is közelebb segíthet bennünket Kubinyi Ferenc munkásságának, és a hazai kutatásban először általa bronzkornak nevezett időszak kutatástörténeti fejlődésének valósabb értékeléséhez.

Kubinyi abban is úttörő volt, hogy a hazai kutatásban először készítetett a régészeti tárgyak értékelésére fémanalízist.⁹⁴ A hársashegyi bronzok elemzését 1850 nyarán Szabó József végezte el.⁹⁵ Ennek eredményei szerint a három megvizsgált tárgy - "sarlókép görbített vályús lemez, lúdtoll vastagságú rudacs, egy lándzsának hegye" - anyaga alapvetően réz, amelyhez néhány százalék ónt adva kaptak bronzot az egykori mesterek.⁹⁶

Rómer Flóris a Magyarországon talált öntőlepenyek és a dunaföldvári öntőmintában talált lemezöntvények alapján már azt is egyértelműen bizonyítottan látta, hogy a bronzeszközök nem kereskedelem révén kerültek hazánk területére, hanem itt készültek.⁹⁷

Érdy, Ipolyi, Kubinyi cikkei nyomán a Közleményeket követően megjelenő Archaeologiai Értesítő hasábjain sorra láttak napvilágot a földmunkák során előkerült bronzkori kincsletekekről, fegyverekről, ékszerekről szóló tudósítások - főként Rómer Flóris és Majláth Béla, valamint Bölönyi Sándor, Lehoczky Tivadar, báró Nyáry Jenő, Somogyi Rezső tollából. E cikkek szerzői mind a korszak, mind a tárgyak anyagának meghatározásánál már következetesen a "bronz" megjelölést használták.⁹⁸ A hazai szakirodalomban - a lipthói kard kapcsán - ekkor találkozunk az első hamisítási esettel is. Rómer Flóris a markolat alakjára vonatkozóan tett ugyan néhány kritikai észrevételt, a sárgarézt markolatú, ólommal forrasztott kardot Majláth Béla is csak a tárgy anyagának alaposabb megvizsgálása után tudta elkülöníteni a régészeti tárgyaktól.⁹⁹ Majláth érdeklődése a bronzkor technikai tudása iránt akkor is megnyilvánult, amikor egy Lucskán talált, magas grafit tartalmú kerámiatöredéket olvasztó-tégelyként határozott meg, kapcsolatot keresve a tárgy előkerülési helye és a környék ércben gazdag lelőhelyei között.¹⁰⁰

Az 1876-os budapesti régészeti kongresszus újabb lökést adott a magyarországi kutatásoknak, s tovább növelte a hazai régészet nemzetközi tekintélyét.¹⁰¹ A kongresszuson vita alakult ki a bronzművesség eredetét illetően, s ezért Rómer egy levélben kérte Szántai Aladárt, akinek előadása a kongresszuson egy szerencsétlen betegség miatt nem hangozhatott el, hogy cáfolja a magyarokat ért vádak.¹⁰² Szántai Aladár vizsgálatai során arra a következtetésre jutott, hogy az ötvözés ismerete Ázsiából terjedhetett el az őskori népmozgások révén, de a hazánkban talált bronztárgyak már az itteni érc felhasználásával helyi bronzművesek kezén készültek.¹⁰³

⁹⁴ Kubinyi 1861. 111

⁹⁵ Uo.

⁹⁶ Uo.

⁹⁷ Rómer 1866

⁹⁸ Rómer 1868., Rómer 1870., Rómer 1878., Majláth 1870, Majláth 1870/a, 1870/b, Majláth 1871, Majláth 1872, Bölönyi 1873, Lehoczky 1873, Nyáry 1870, Somogyi 1871

⁹⁹ Rómer 1868., Majláth 1870, Majláth 1870/a

¹⁰⁰ Majláth 1871

¹⁰¹ Henszlmann 1876, Schaaffhausen 1876, Wurmbrand 1877

¹⁰² Szántai 1878. 4

¹⁰³ Szántai 1878. 18-19

Cikkében a földből előkerülő régészeti leletek múzeumba kerülését biztosító törvény megalkotására is javaslatot tett.¹⁰⁴

A magyarországi bronzkincsek iránt megnyilvánuló nemzetközi érdeklődés ellenére még a régészeti konferenciát követő évtizedben is előfordult, hogy egy-egy nemzetközi hírű tudós kétségbe vonta a magyar bronzkor önállóságát, s az előkerült leleteket csupán kereskedelmi árunak tekintette.¹⁰⁵ Pedig mint báró Nyáry Jenő is felhívta rá a figyelmet, a pilinyi ásatáson előkerült kohók, öntőtégelyek és öntőminták, valamint bronz félkész- és kész tárgyak szintén az önálló magyarországi bronzgyártást bizonyították.¹⁰⁶ A hazai és az európai régészeti gyakorlatban továbbra is a formai jegyek vizsgálata állt előtérben, de megnőtt a fémtárgyakon végzett természettudományos vizsgálatok száma is. A Nemzeti Múzeum például Loczka József személyében "múzeumi vegyészt" alkalmazott, aki 1885-ben megvizsgálta a frissen előkerült kurdi - a korabeli szóhasználatnál élve - "kazán"-t és az egyik "ciszta"-t.¹⁰⁷ Loczka József Szabó József több mint harminc évvel korábbi vizsgálataitól eltérően¹⁰⁸ nemcsak az ötvözet összetételét, hanem százalékos arányát is pontosan meghatározta.¹⁰⁹ Ezen első, nagy precizitású hazai analízis eredménye szerint a leleteket tartalmazó "kazán" 81,46 % rezet és 4,57 % ónt tartalmazó ötvözete viszonylag magas, 13,95 % ólomtartalmú volt, míg a megvizsgált "ciszta" 88,68% rezet, 11,44% ónt tartalmazó ötvözete a bronz átlagos arányainak felel meg.¹¹⁰ Loczka az egyébként kalapálással előállított bronzlemezéből készített tárgyakat "öntvény"-ként említette, s szerinte a friss törésfelületen megfigyelt érdes, hamuszürke felület erős oxidációról is árulkodott.¹¹¹ Loczka több mint húsz, később közreadott bronztárgy analízisének eredményei¹¹² és Hampel József óriási anyaggyűjtése¹¹³ a magyarországi bronzkori fémművesség kutatásában is új fejezetet nyitott.

Az 1880-as évektől pusztító filoxéra miatt a borvidékeken országszerte újra kellett telepíteni a szőlőket. Az ellenálló amerikai alanyba oltott európai fajok gyökeres oltványainak ültetéséhez minden korábbinál mélyebben kellett átforgatni, "rigolírozni" a talajt. Az intenzívebb szántóföldi gazdálkodás, az óriási területen folyó út- és vasútépítések földmunkái során szintén tömegével kerültek elő régészeti leletek, köztük bronzkori fémtárgyak, melyek gyakran elkallódtak, elvesztek. Sokszor évek teltek el, mire egy-egy lelet híre eljutott valamely régészeti iránt érdeklődő lokálpatriótához, vagy éppen a Nemzeti Múzeumba.¹¹⁴ Hampel József a hírek nyomába eredve összegyűjtötte a bronzkori fémművesség tárgyi emlékeit.¹¹⁵ Ezzel egy időben az Országos Régészeti Társulat megbízásából hozzákezdett egy Rómer "Műrégészeti Kalauzát" pótló, a magyarországi bronzkori leleteket bemutató munka megírásához is.¹¹⁶ A kutatás folyamatosságát jelezte

¹⁰⁴ Szántai 1878. 22

¹⁰⁵ Nyáry 1885, Nyáry 1885a

¹⁰⁶ Nyáry 1870, Nyáry 1885, Nyáry 1885a

¹⁰⁷ Wosinsky 1886, Wosinsky 1896

¹⁰⁸ Kubinyi 1861. 111

¹⁰⁹ Loczka 1885, Loczka 1885a, Loczka 1889

¹¹⁰ Loczka 1885a. 281

¹¹¹ Loczka 1885

¹¹² Loczka 1889

¹¹³ Hampel 1886-96, Hampel 1896

¹¹⁴ Szabó 1995b

¹¹⁵ Hampel 1864, Hampel 1880, Hampel 1880a, Hampel 1896, Hampel 1908

¹¹⁶ Hampel 1886-96. I. 3., Hampel 1887, Hampel 1896

az a tény is, hogy a magyarországi bronzkori fémművesség kutatásának második szakaszát megalapozó műhöz a budapesti régészeti konferencia kiadványához készült képes táblákat is felhasználhatta.¹¹⁷

Hampel előremutató módon egységben vizsgálta a tárgyak formáját, díszítésének, készítésének, használatának módját, s a funkció meghatározásánál még a babiloni súlyrendszer vizsgálatáig is eljutott.¹¹⁸ Az elsősorban funkcionális alapon rendszerező, hatalmas mennyiségű fémleleteket ismertető monográfia értékelő részében külön fejezetben foglalkozott a bronzeszközök készítésével.¹¹⁹ Véleménye szerint a magyarországi bronzkori fémművesség az északi-, déli- és keleti-Kárpátokban a felszínen bányászott ércekből dolgozott,¹²⁰ az ötvözéshez szükséges ónt pedig távolsági kereskedelem útján Európa más régióiból szerezték be.¹²¹ Loczka vegyelemzése alapján arra is felhívta a figyelmet, hogy a kereskedelem révén pálca, karika, stb., vagy leggyakrabban öntőlepenyek formájában az egyes műhelyekbe eljuttatott nyersanyagtömböknek igen magas volt a réztartalma, ónt viszont alig tartalmaztak.¹²² Az ötvözéshez szükséges magas óntartalmú tárgyakat csak a szenterzsébeti leletből említett.¹²³ Mindezek alapján Hampel arra a következtetésre jutott, hogy a bronz leletegyüttesekben talált töredékeknek az újrahasznosításon túl a nyersanyag ötvözésében is szerepe volt.¹²⁴ Az öntési eljárások részletes ismertetése mellett (tégely használata, öntés földbe, homokba, agyag- és homokkő, illetve fémformába, viaszveszejtési eljárás) kitért az öntőformák készítéséhez használt előformák kérdésére (nyomóminták agyagból, fából, stb.), és ismertette a Magyarországon addig előkerült öntőminták mintegy felét - összesen 43 darabot.¹²⁵ A továbbiakban a fémművesek szerszámkészletének (fűrészek, kalapácsok, vésők) áttekintése mellett az alapvető hőkezelési és fémmegmunkálási eljárásokra is kitért.¹²⁶ Hampel jól látta az egyes eljárások szerepét, jelentőségét, de indokolatlanul előtérbe helyezte az öntést, a kalapálással előállított tárgyaknak a ténylegesnél jóval kisebb szerepet tulajdonított. Öntött tárgyaknak tartotta például a fűrészlemezeket is.¹²⁷

A magyarországi bronzkorra vonatkozó kutatásokat összegző munkájában Hampel a budapesti kongresszust követően még két évtizeddel is szükségesnek tartotta a francia kutatók vádjait visszautasítva tisztázni,¹²⁸ hogy a bronzművesség ismerete készen jutott el a Kárpát-medencébe, bár itt is voltak a fémművességnek helyi előzményei, s így egy helyi sajátosságokat felmutató, önálló bronzművesség alakult ki.¹²⁹ Időrendi összefüggést látott az alacsony óntartalmú, korábban tartott bronztárgyak, és a magas technikai színvonalon kivitelezett, főként fegyverekből

¹¹⁷ Hampel 1886-96. III. 4

¹¹⁸ Hampel 1864, Hampel 1880, Hampel 1880a, Hampel 1896, Hampel 1908

¹¹⁹ Hampel 1886-96. III. 180-202

¹²⁰ Hampel 1886-96. III. 180-181

¹²¹ Hampel 1886-96. III. 234

¹²² Hampel 1886-96. III. 181-187

¹²³ Hampel 1886-96. III. 187

¹²⁴ Hampel 1886-96. III. 187

¹²⁵ Hampel 1886-96. III. 188-200

¹²⁶ Hampel 1886-96. III. 200-201

¹²⁷ Hampel 1886-96. III. 189

¹²⁸ Römer 1878., Hampel 1886-96

¹²⁹ Hampel 1886-96. III. 229-232

álló leletek között.¹³⁰ Különösen az ötvözet keménységét növelő, színét az aranyhoz közelítő, antimont is tartalmazó kardokat és lándzsákat tekintette ebben a tekintetben mérvadónak.¹³¹

Hampel a hasonló alakú fémtárgyak tömeges elterjedése alapján azt is felvetette, hogy egyes esetekben már nem kereskedelem révén elterjedt árukról, hanem az egyes népek vándorlását jelző tárgyakról lehet beszélni.¹³² Különbséget tett az általa három részre tagolt hazai bronzkorban a "kezdés", a "virágzás" és a "hanyatlás" időszakainak az eltérő régiók felé mutató kapcsolatai között.¹³³ Véleményére Otto Helm vizsgálatai is hatással voltak, aki a németországi leletek alapján arra a következtetésre jutott, hogy az antimon tartalmú Kárpát-medencei bronzok egészen a Keleti-tengerig eljutottak.¹³⁴

Hampel a hallstatti területekkel való szoros kapcsolatok felismerése és az öntött tárgyak mellett egy másik technológiával előállított, az egyre gyakoribbá váló kalapált lemezből készített leletek - különösen a trébeléssel készített bronzedények - elterjedése alapján különítette el a bronzkor kései, vagy ahogy ő nevezi, a "hanyatlás" időszakát.¹³⁵

Hampel sok tekintetben korát meghaladó monográfiája a nemzetközi kutatás számára is egyértelműen bizonyította, hogy a kárpát-medencei bronzfeldolgozás műhelyei az alpesi területek és Skandinávia mellett az európai fémművesség legfontosabb központjai közé tartoztak. Munkája Magyarországon évtizedekre a további kutatások kiindulópontjává vált, melyet a kutatók és régészet iránt érdeklődő múzeumbarátok egyaránt kézikönyvként használtak.

A századforduló földmunkái során előkerült, magánszemélyek által megvásárolt bronzleleteket gyakran adták, vették, nem ritkán pedig - a kor szokása szerint - egy-egy kedves vendégnek, látogatónak vagy gyűjteményének ajándékoztak néhány tárgyat. Így került például Wosinsky ajándéka az egyik kurdi "ciszta" a Pigorini által alapított római múzeumba.¹³⁶ A millenáris ünnepre készülődve országsszerte megalakuló régészeti társulatoknak, egyleteknek köszönhetően a századfordulóra gyökeresen megváltozott a helyzet: a továbbiakban már a megmentett, együtt tartott leletek nagyobb része közgyűjteményekbe került, s egyre kevesebb jutott külföldre.¹³⁷ A régészeti egyletekbe tömörülő érdeklődők és kutatók hangyszorgalommal nyomoztak az előkerült bronzleletek után, s eredményeikről többnyire a hazai polgárság körében is meglepően széles körben olvasott *Achaeologiai Értesítő*, később a *Múzeumok és Könyvtárak Értesítője*, vagy éppen egy-egy szűkebb környezetük történetét feldolgozó monográfia hasábjain számoltak be. Bünker Rajnárd,¹³⁸ Darnay Kálmán,¹³⁹ Dömötör László,¹⁴⁰ Jónás András,¹⁴¹ Frey Imre,¹⁴²

¹³⁰ Hampel 1886-96. III. 230-232

¹³¹ Hampel 1886-96. III. 232

¹³² Hampel 1886-96. III. 235-236

¹³³ Hampel 1886-96. III. 249

¹³⁴ Hampel 1886-96. III. 236, Helm 1895, Helm 1895a, Helm 1900

¹³⁵ Hampel 1886-96. III. 250-251

¹³⁶ Patay 1990. 76-78.; A többi bronzvödör még Apponyi életében a Nemzeti Múzeumé lett, kettő kivételével, amelyek egyike csak a gróf halála után került a gyűjteménybe, a másik pedig Wosinsky tulajdonaként a szekszárdi múzeumé lett. - Uo.

¹³⁷ Szabó-Kőhegyi 1996. 9-47.

¹³⁸ Bünker 1914

Kárpáti Kelemen,¹⁴³ Kohlbach Bertalan,¹⁴⁴ Miske Kálmán,¹⁴⁵ Sennovitz Gyula,¹⁴⁶ Téglás Gábor,¹⁴⁷ Wosinsky Mór¹⁴⁸ és Zoltai Lajos¹⁴⁹ anyagközléseit elsősorban a kor pozitívista történelem-szemléletére jellemző aprólékos, részletező leírás jellemezte. Pontos megfigyeléseik ma is jól használhatók az egyes tárgyak vagy kincsleletek értékelése során. Wosinsky, Miske és Darnay a tárgyak készítésével, használatával összefüggő kérdéseket is egyre nagyobb érdeklődéssel vizsgálta. Darnay Kálmán még tovább ment: nem elégedett meg a leletek funkciójának pusztá találgatásával, hanem - a hazai régészet történetében elsőként - saját kezűleg is készített bronz-tárgyakat, kipróbálva használatukat.¹⁵⁰

Wosinsky lengyeli feltárásai során¹⁵¹ számos, a bronzkori fémművességre utaló leletet talált, melyek értékelését Tolna megye történetéről írt monográfiájában végezte el.¹⁵² Ebben a bronz feldolgozásának nemcsak tárgyi emlékeit tekintette át, hanem kitért az egyes technológiai folyamatokra, így például a hőkezelésre is. Arról is szólt, hogy az öntőformából kikerült öntvény még további megmunkálásra szorult: kalapáccsal, ráspollal el kellett távolítani az öntési sorját, majd rá kellett vésni a díszítést, vágószerszámok esetében pedig az eszközt élesre kellett kalapálni. Ezt a munkát a bronz azon tulajdonságára alapozva, hogy a felhevített tárgy vízbe dobva a gyors lehűlés következtében meglágyul, s így könnyen kalapálhatóvá, véshetővé válik, az utólagos melegítés utáni lassú lehűlés során pedig visszanyeri eredeti keménységét, hőkezeléssel könnyítették.¹⁵³

Országos régészeti szakfelügyelővé történő kinevezése után¹⁵⁴ Wosinsky egyik első ténykedése a bronzkori fémművesség kutatásának segítése volt báró Miske Kálmán velemi bronzai vegyelemzésének támogatásával.¹⁵⁵

Az iratot kutatástörténeti jelentősége miatt az alábbiakban teljes egészében mellékeljük.

¹³⁹ Darnay 1897, Darnay 1899, Darnay 1908, Darnay 1910. Darnay fontos megfigyelése, hogy a leletek között öklömnyi-diónyi galenit, és chalcopirit kövek voltak, melyeket a helyi érckohászat bizonyítékainak tart. Azonban a leletek kora bizonytalan, az főként ólmot és kis mennyiségben ezüstöt tartalmazó galenit inkább a vaskorra mutat, így ezt az adatot a késő bronzkori kohászat tárgyalásánál nem veszem figyelembe.

¹⁴⁰ Dömötör 1902

¹⁴¹ Jósa 1902, Jósa 1910

¹⁴² Frey 1905, Frey 1905a.

¹⁴³ Kárpáti 1896

¹⁴⁴ Kohlbach 1900

¹⁴⁵ Miske 1897, Miske 1899, Miske 1901, Miske 1904, Miske 1904a, Miske 1907, Miske 1908, Miske 1910, Miske 1912, Miske 1913, Miske 1928, Miske 1929

¹⁴⁶ Sennovitz 1902

¹⁴⁷ Téglás 1888

¹⁴⁸ Wosinsky 1886, Wosinsky 1888, Wosinsky 1888a.

¹⁴⁹ Zoltai 1909

¹⁵⁰ Darnay 1899. 58-59.

¹⁵¹ Wosinsky 1889, Wosinsky 1896, Wosinsky 1904

¹⁵² Wosinsky 1896, Szabó 1995

¹⁵³ Wosinsky 1896. 216-217.

¹⁵⁴ Szabó-Kőhegyi 1996

¹⁵⁵ Miske 1901. - OL VKM K736 547/1901.

OL VKM K736 547/1901.

Múzeumok és Könyvtárak orsz. Főfelügyelősége
547. érkezett 1901. XI. 15.

Tárgy:

Wosinsky Mór orsz. felügyelő Miske Kálmánnak a velem-szentvidi antimonbronzok vegyelemzésére vonatkozó kérésében a főfelügyelőség közbenjárását kéri.

Kfv. XI/21.

Miniszternek:

Báró Miske Kálmán kőszegi lakos tudomásom szerint f. évi augusztus havában azzal a kérelemmel fordult Nagyméltóságodhoz, méltóztassék kieszközölni néhány a velemszentvidi oly fontos telep antimon-bronz leleteinek a magyaróvári m. kir. mezőgazdasági vegykísérleti állomásnál történendő vegyelemzésénél a darabonként megállapított díjnak az államot illető fele elengedtetésék. Miután a bronzkor keletkezése eddig vitás kérdésének megoldásához ez elemzések nagyon fontos adatot szolgáltatnak, tekintettel másodsor arra, hogy a megvizsgálandó leletek amennyiben báró Miske államsegéllyel eszközölt kutatásából erednek, a szombathelyi múzeum gyarapítára kívántatnak, amennyiben pedig báró Miske tulajdonát képeznék, a nevezett tulajdonos által ígéret szerint ugyane múzeumnak lesznek átengedendők, bátor vagyok báró Miske Kálmán kérését kedvező elintézés céljából Nagyméltóságod kegyességébe ajánlani. (Ez alkalommal czélszerűnek vélném kimondani, hogy az állami tulajdont képező vagy állami felügyelet alatt álló minisztériumok tárgyainak vegyelemzésénél az elemzési díjnak az államot illető fele...)

Fogadja Nagyságod

Bp., 1901. XI. 20. (olvashatatlan szó)

Betét1.

Méltóságos Főfelügyelő Ur!

Báró Miske mellékelt levelében már ismételten arra kért, hogy támogassam őt a Kultuszminiszter Ur Ő Nagyméltóságához még augusztus havában beterjesztett azon kérésében, mely szerint a velemszentvidi oly fontos telep antimon bronzainak a magyaróvári m. Kir. mezőgazdasági vegykísérleti állomásnál történendő vegyelemzésénél a darabonként megállapított 8 korona díjból az államot illető 4 korona elengedtetésék.

Miután a bronzkor keletkezése eddig vitás kérdésének megoldásához az analizisek nagyon fontos adatot szolgáltatnak, s másrészt Br. Miske igéri hogy a vegyelemzett anyagot a szombathelyi muzeumnak adja s ezzel e muzeum egy nagybecsü anyaggal gazdagodik s esesik az az ellenvetés, hogy magán gyűjtemények helyett nyilvános muzeumok darabjai részesittessenek előnyben - Kérem Méltóságos Főfelügyelő Urat: Kegyeskedjék az imént felsoroltak alapján Br. Miske kérelmét a Kultuszminiszter Ur Ő Nagyméltóságánál hathatós pártfogásában részesíteni.

Méltóságos Főfelügyelő Urnak

Szegzárdon 1901 november ho 13án

Kész szolgálja
Wosinsky Mór
orsz. felügyelő

M. Kir. Mezőgazdasági vegykísérleti állomás

Magyar-Óvár, 1901 Nov 5én

Méltóságos Uram!

Becsés levelére mindenek előtt megnyugtatóul közlöm, hogy a szóban forgó bronzok itt vannak de azok vizsgálatát még meg sem kezdtük. Magyarázatul szolgáljanak a következők.

Az állomás a kémiai elemzéseket bizonyos honorárium mellett végzi, mely nagyjátlagban minden egyes meghatározásért 4 korona - ezen díjakkal nekünk el kell számolnunk mert azok fele része az adóhivatalba beszállítandó, a másik felén én osztozom a munkát végző assistensekkel.

A bronzok tüzetes kémiai vizsgálata nem tartozik ugyan a gazd. kémiai kísérleti állomás hatáskörébe, de elvállalhatom. A vizsgálat díja több száz koronára rughat, s költségkímélés szempontjából Méltóságod ígérte, hogy az államot illető rész elengedésére lépéseket fog tenni.

Erre vonatkozólag azonban ez ideig nem kaptunk értesítést.

Megyjegyzem, hogy munkával túl vagyok halmozva, egyik segédemet Debreczenbe helyezték át, így ezen vizsgálatokat csak a hivatalos órákon kívül végezhetnék az assistensek, s erre csak az esetben vállakoznak kedvvel, ha biztosak az iránt hogy külön fáradságuk némi haszonnal is jár.

Méltóztassék tehát ezen finanszialis részét az ügynek tisztába hozni mikor is ígérhetem, hogy tavaszra az analíziseket befejezhetem.

Kitűnő tisztelettel: Dr. Kosutány Tamás

Nagyságos Uram!

Kedves kötelességnek tartom Nagyságos Uramnak még a hivatalos uton beérkező jelentés előtt az ez idei Velem Szt Vidi ásatás eredményét így, magán levélben nagyban körülvonalmazva közölhetni. Úgy nem kevésbé a még mindig el nem intézett bronz analízis kérdését alázattal sürgetni.

A nagyságos Uram által is ismeretes és jóváhagyott, ez idei kutatási földterületünk nem csupán tudományos szempontból, hanem mint lelőhely is szép és váratlan gazdag eredményt hozott.

A munka alatt levő statisztikus adatokból van szerencsém egyenlőre közölhetni, miszerint 17 napos munkánk 233 darab bronz eredményezett. Ezekben sorozata jó, sőt gyönyörű darabokbak. Így egy ugynevezett kupaczos lelet, melynek tartalma 2 szép tokos véső, két egymással láncsorok által összekötött gyönyörű magyar típusu Fibula, egy kis bronz csésze, bronz fűrész, kis keskeny véső, gyűrűtöredék, két pléh kup, 1 nagy és 13 kisebb öntörög volt. Jó egyes leletek voltak továbbá 1 gyönyörű borotva, 1 tokos véső, 2 kés, 1 csiptető, 1 kivágott pléh, 4 fűzőtű, 2 sarlótöredék, 1 hosszabb keskeny véső, 5 ponczoló, 6 darab ár, 3 La Tène fibula, díszűk, stb. Jó lelet számba mén továbbá 2 db öntőminta, szenesedett gabona, őrlőkövek, teljes két La Tène kori malom, néhány edény és két "Last not least" egy népvándorláskori kis nyitott aranygyűrű 5,5 Gr súlyban.

Érdekes volt a sok Hallstattkori tűzpad, mely mind kőperemű volt, s több helyen 2-3 rétegben egymás felett. A tavali évben tapasztalt eleven földben kivájt lyukak ismétlődtek, s ezekben ismét volt olyan, melynek tartalmát egyes emberi csontok képezték. De egy eset sem fordult elé, melynél sepultura jöhetne kombinatioba.

A tervezetbe felvett sírok kutatása ez alkalommal elmaradt, és pedig két igen fontos okból! Iször mert hiányzott Fischer Zsigmond Füteleki birtokos engedélye arra, hogy a legnagyobb valószínűséggel telep mögötti hegyoldalon fekvő sírok után kutathassunk. De Iször nem kevésbé azért is, mert a már megkezdett földrészlet forgatását abban kellett volna hagyni, mit ha teszünk, úgy kérdéses lett volna vajon annak birtokosa adott-e volna máskor engedélyt földterületei kikutatására. Annyival is inkább, mert óhajom volna azon földterületet jövő évben kikutatni, mely ha tán méltóztatik emlékezni azon terület között fölött közvetlenül fekszik, hol Szt vidi kirándulásunk alkalmával a vén Miska bácsi dolgozott. Ezen említett földterület birtokosa az idej gazdánk lévén oportunosnak láttam annak jó gratiait magunknak biztosítani.

Az előleges jelentés a legrövidebb idő alatt be lesz terjesztve a méltóságos fő felügyelőségnek, s reménylem, hogy a részlegessel karácsonyig elkészülök.

A méltóságos fő felügyelőséget hivatalos úton kívánom felkérni, hogy kegyes volna nevezett Fischer földbirtokostól az engedélyt kutatásra földterületein kieszközölni. Lévéen onand felülről érkező kérelem hathatósabb, jobban imponáló, miként a miénk.

Tán a fő felügyelőség útján sikerül díjtalan átengedést, ha kötelezettséget vállalunk újabb erdőítéshez, kieszközölni. Csak becsléssel összekötött kártérítési feltételekbe ne menjünk bele, inkább ha kell négyzetméteres megváltási díjakba, mert ezek is még olcsóbbak az előbbinél.

Persze a legideálisabb az volna, az esetre ha ott igazán sírok volnának, az egész terület megvétele örök áron, vesztetni rajta az állam nem vesztene, a tudomány pedig csak nyerne, mert biztosítva volna, hogy ott kontár kezek nem fognak pénz vagy más beszerzések céljából működni. De ezen kérés még idő előtti - csak már megvolnának a sírok.

Az antimonbronz kérdést illetően van szerencsém kedves Nagyságos Uramnak Dr Kosutány Tamás levelét ide mellékelten beküldeni. Mint abból kitűn, a dolog megrekedt, mert eddigelé ezen ügyben a magas kormány meg nem hozott semmi határozatot.

A levél ama része, melyben több száz koronáról történik említés arra vonatkozik, hogy részemről mintegy 80 analizis lett kilátásba helyezve - jelenleg 10-12 öntörög van csak fent várakozó állapotban.

Mint Dr. Kosutány Tamás is megjegyzi, ez nem gazdasági dolog, de tekintettel annak nagy tudományos horderejére, úgy az engedély, úgy hiszem megadható volna, Ha ezen engedély megadatik, úgy elesik ama része a levélnek, melyben különfáradság- és különdíjazásról van szó. De tekintettel, hogy mi a bronz kérdésnél csakis pontos kvantitatív analiziseket használhatunk, úgy talán valami csekély díjjavítást is megszavazhatunk a vegyésznek. De első és fő kellék volna az engedély megszerzése, és az állam 2 koronát kitevő díjának elengedése. Így hiszem, ez oly csekély áldozat, melybe könnyen bele mehet, ha tekintetbe vétetik azon nagy haszon, mely ebből nem csupán a tudomány, hanem egyúttal az industriara is lehet. Ezen utóbbi dologra csak most nem régiben lettem szakkörök által figyelmessé téve, t.i. a morvaországi Witkowitzi nagy kohó mű egyik fő mérnöke, kivel ismeretséget kötni Sistianaban volt alkalmam, kért arra, hogy nem csupán a bronzat analizáltassam, hanem a vasat is, mert mindkettőjének összetétele nagy fontossággal bír az ő iparágukra.

A magyar kormány ily értelmű engedélyével tehát nem csupán minékünk, régészeknek tenne nagy szolgálatot, hanem az industria érdekében is hervadhatatlan babérokat szerezhetne, és mi fő, potom áron.

Miután feltett szándékom a már vegyelemzet anyagot majd annak idején az egyesületünknek átadni, s annak helyiségében kiállítani. Ugy azon alázatos kérdést volnék bátor Nagyságos Uramhoz egész bizalommal intézni, vajon nem-e volna lehető, hogy e célra valami csekély anyagi támogatást a méltóságos fő felügyelőség útján elnyerni.

De ez csupán igen mellékes kérdés, a fő minden esetre az engedély megadása volna, s hogy ebbeli kérelmem a tudomány iránti tekintetben kedvező elintéztést nyerjen, erre, s ennek pártolására vagyok bátor Nagyságos uramat felkérni.

Maradván előre is hálás köszönetem kifejezve

legalázatosabb szolgálja

Miske Kálmán

Kőszeg, 1901. november hó 7én

Miske magyar¹⁵⁶ és német¹⁵⁷ nyelvű publikációban elsősorban a velemi leletek alapján, de gyakorlatilag az egész addig előkerült bronzanyag ismeretében rendszerezte a bronzkori fémművesség kutatásában az 1900-as évek elejéig elért eredményeket. Az egyes tárgytípusok csoporto-

¹⁵⁶ Miske 1897, Miske 1899, Miske 1907, Miske 1910, Miske 1912, Miske 1913, Miske 1928

¹⁵⁷ Miske 1904, Miske 1904a, Miske 1908, Miske 1929

sításán¹⁵⁸ túl a kohászattal és a fémöntéssel, fémmegmunkálással kapcsolatos legapróbb gyakorlati kérdésekre is kitért.¹⁵⁹ Az egyes munkafolyamatok értékelését nagymértékben megkönnyítette számára, hogy számos esetben maga is végzett régészeti kísérleteket.¹⁶⁰ Megfigyelései között szerepelt, hogy a bronz csak hidegen munkálható meg, melegítve törékennyé válik, izzó állapotban pedig a legkisebb ütésre is darabokra hull szét.¹⁶¹ Nagyfokú anyagismeretének alapját Otto Kröhke,¹⁶² és főként Otto Helm anyagvizsgálatai szolgáltatták.¹⁶³ A kémiai elemzések eredményei alapján a Velemben talált kéneskő, az érckohászat félkész terméke alapján bizonyítottan látta a helybeli kohászatot, az antimon bronzok helyben történő előállítását.¹⁶⁴ Ugyancsak az analízisek egyik eredményeként vázolta fel a bronz előállításához szükséges nyersanyagok és késztermékek cseréje során egész Európát behálózó távolsági kereskedelmet.¹⁶⁵

Velemszentvid bronzkori fémművességét a Miskével közösen végzett ásatások kapcsán Tompa Ferenc is áttekintette. Véleménye szerint az itt készült bronzokba csak az újraolvasztott töredékekkel kerülhetett ötvözőként ón.¹⁶⁶ Tompának a magyarországi őskorkutatás elért eredményeit áttekintő munkájában a legfontosabb időrendi és területi kérdéseket is sikerült tisztázni - melyeket később a kutatás ugyan több részletben pontosított -, s számbavétele alapján a továbbiakban már egyértelműen elkülöníthetővé váltak a Kárpát-medencei bronzkori fémművesség egyes időszakai, területei.¹⁶⁷

A második velemi kincsleletet nem az idős Miske, hanem a következő fél évszázad bronzkor kutatásának meghatározó egyénisége, Mozsolics Amália ismertette,¹⁶⁸ miként korábban a közeli Celldömölkéről előkerült bronzokat is.¹⁶⁹ Miske halálakor, 1943-ban a Dunántúli Szemlében Tompa emlékezett a hazai bronzkori fémművesség kutatásának nagy egyéniségére,¹⁷⁰ s szinte jelképesen is átvéve a "stafétabotot", Miske megjelent cikkeit Mozsolics Amália gyűjtötte össze.¹⁷¹ Ebben az évben közölte Lázár Jenő a sághegyi leleteket,¹⁷² a rézérc termézetes előfordulása hiányában a lelőhelyen talált számos fújtatócső, öntőkanál, öntőlepeny, öntőminta, bronzeszköz, stb. és kéneskő ellenére sem tartva bizonyítottan a helybeli kohászatot.¹⁷³ Azt viszont a tiszta rézből álló öntőlepenyek, az itteni bronzok antimon helyett ónnal történő ötvö-

¹⁵⁸ Miske 1907, Miske 1908, Miske 1910, Miske 1912, Miske 1913

¹⁵⁹ Miske 1904. 124-138., Miske 1907. 24-30.

¹⁶⁰ Miske 1907. 22.

¹⁶¹ Miske 1907. 22.

¹⁶² Kröhke 1897, Kröhke 1900, Miske 1907. 32-33.

¹⁶³ Helm 1895, Helm 1900, Miske 1907. 25, 32-40.

¹⁶⁴ Miske 1904. 127., Miske 1907. 25., Miske 1929. 81.

¹⁶⁵ Miske 1904. 125-138., Miske 1907. I. 30-42.

¹⁶⁶ Tompa 1923-26. 43.

¹⁶⁷ Tompa 1934-35. 27-127.

¹⁶⁸ Mozsolics 1941

¹⁶⁹ Mozsolics 1939

¹⁷⁰ Tompa 1943

¹⁷¹ Mozsolics 1943

¹⁷² Lázár 1943

¹⁷³ Lázár 1941. 145., Lázár 1943. 285.

zése és a kéneskő alapján a nyersanyagforrás körüli bizonytalanságok ellenére is megalapozottnak látta, hogy a bronz ötvözését helyben végezték el.¹⁷⁴

A két világháború között a hazai régészeti kutatás elvesztette korábbi lendületét, a nyugat-dunántúli terület kivételével alig találkozunk újabb bronzleletekről tudósító cikkel.¹⁷⁵ A második világháborút követően a késő bronzkori fémművesség kutatásában - néhány szerzőt kivéve¹⁷⁶ - Mozsolics Amália személye jelentette a folyamatosságot. Még a háború utolsó évében meginduló Magyar Múzeumokban a kalapácsokról írt,¹⁷⁷ majd - szinte napjainkig tartóan - sorra ismertette a raktárakban fekvő, vagy előkerülő késő bronzkori tárgyakat, kincsleleteket.¹⁷⁸

Magyarországon először 1953-ban spektrumanalízis segítségével Szegedy Emillel késő bronzkori kocsi-alkatrészek elemzését végezte el.¹⁷⁹ Az egyes tárgyak készítési helyének pontosabb meghatározása miatt egyre inkább előtérbe került a nyomelemek vizsgálatának szükségessége is¹⁸⁰, s a szerző számos bronztárgy elemzése mellett a bronz készítéséhez szükséges érc kohászati feldolgozásának egyes lépéseire is kitért. A nagyállói és a telekoldali leletek értékelésekor Mozsolics Amália már Hegedűs Zoltán metallográfiai vizsgálatainak eredményeire is támaszkodhatott. Az összetétel elemzése során és a csiszolatok - ma is használatos - vaskloriddal történő maratásakor a szerzők különösen nagy figyelmet szenteltek a késő bronzkori tárgyak egy részénél megfigyelhető magas vastartalomnak.¹⁸¹ Bár a jelenségre egyértelmű magyarázatot nem találtak, a legvalószínűbbnek az tűnt, hogy az ércfeldolgozás során a nem megfelelő vastalanítás idézte ezt elő.¹⁸² A kérdéssel később Hellebrandt Magdolna és Paksy László is foglalkozott, de a jelenségre ők sem találtak egyértelmű magyarázatot. Feltételezésük szerint a késő bronzkorban - kora vaskorban az egyes műhelyekben már tudatosan foglalkoztak a vas előállításával.¹⁸³ A hatvanas évektől - ha csak rövid időre is - bekapcsolódva a tárgyak nagyszabású analízisvizsgálatainak nemzetközi programjába,¹⁸⁴ Mozsolics Amália munkásságához kapcsolódóan az első eredményeket az ópályi, a nyírbéltelki, a hajdusámsoni és a kosziderpadlási lelethorizont tárgyairól Franz és Eckehart Schubert adta közre.¹⁸⁵ A késő bronzkori fémművességet tárgyaló

¹⁷⁴ Lázár 1943, Lázár 285.

¹⁷⁵ A néhány üdítő kivétel közé tartozik például Kuzsinszky Bálint könyve (Kuzsinszky 1920) és Mithay Sándor a Győr környékén előkerült bronzleleteket is ismertető munkája (Mithay 1941). Debrecenből Zoltai Lajos tudósít a látóképi bronzkincsről (Zoltai 1927), Márton Lajos a bronzkardok markolatát és hüvelyét díszítő csontlemezeket elemzi (Márton 1930), Csallány a szentes-nagyhegyi leleteket (Csallány 1939), a háború alatt visszacsatolt Erdélyből Szabó György a hídalmási és korondi leleteket ismerteti (Szabó 1942, Szabó 1943).

¹⁷⁶ Szántó 1947. Csak 1955-ben jelent meg Bonnban Foltiny István jóval korábban megírt könyve (Foltiny 1955).

¹⁷⁷ Mozsolics 1945

¹⁷⁸ Mozsolics 1949, Mozsolics 1956, Mozsolics 1963, Mozsolics 1971, Mozsolics 1972, Mozsolics 1973, Mozsolics 1973a, Mozsolics 1975, Mozsolics 1985, Mozsolics 1987

¹⁷⁹ Szegedy 1954

¹⁸⁰ Szegedy 1957

¹⁸¹ Mozsolics-Hegedűs 1963

¹⁸² Mozsolics-Hegedűs 1963

¹⁸³ Hellebrandt 1986, Hellebrandt 1989, Paksy 1989

¹⁸⁴ Junghaus-Sangmeister-Shröder 1968

¹⁸⁵ Schubert 1963, Schuber 1967

munkájában az ércfeldolgozás egyes körzeteinek felvázolása mellett Mozsolics Amália¹⁸⁶ részletesen kitér a bronzfeldolgozás nyersanyagformáinak, az egyes műveletek során használt eszközöknek és a mesteremberek társadalmi helyzetének tárgyalására is.¹⁸⁷

A Dunántúlon - nemcsak a bronzkori fémművességet érintően¹⁸⁸ - az 1980-as évek második felétől egyre gyakoribbá vált a régészeti tárgyak természettudományos vizsgálata.¹⁸⁹ A sokszor csupán személyes ismeretségen, barátságon alapuló kapcsolatok mellett a kutatások szervezeti hátterét a VEAB Iparrégészeti Szakosztálya, és az általa rendezett konferenciák, híradások jelentették.¹⁹⁰ Ezt egészítette ki az 1982-től az Iparrégészeti Tájékoztató, amely hamarosan a hazai kutatás szemléletváltását is jelző kis névváltoztatással Iparrégészeti és Archaeometriai Tájékoztató címmel jelent meg.¹⁹¹ Ilon Gábor Pápa környéki feltárásai leletanyagának természettudományos vizsgálata során a legmodernebb eszközöket használó, szinte az egész országot és számos szakterületet átfogó csapat alakult ki.

A neutronaktivizációs analízissel és Mössbauer-spektroszkópia alkalmazásával vizsgált kerámia-tárgyak mellett¹⁹² a fémleletek röntgenemissziós¹⁹³, s újabban lézer-mikrospektrokémiai vizsgálatára is sor kerül.¹⁹⁴ A vizsgálatok eredményeinek számítógépes elemzésénél általában a más területeken is elterjedt pont-analízist használják.¹⁹⁵ A góri ásatáson előkerült ingot öntőmintájának¹⁹⁶ spektográfiai vizsgálatánál már elektroscanning mikroszkópot használnak,¹⁹⁷ miként az

¹⁸⁶ Mozsolics 1984

¹⁸⁷ Mozsolics 1984. 44-46.

¹⁸⁸ Itt a régészek közül elsősorban Gömöri János nevét szeretnénk megemlíteni (Gömöri 1976, továbbá Heckenast 1962, Hegedűs-Nováki 1961, Vastagh-Kiszely 1962). A Dunántúlon egyébként az elmúlt évtizedekben is több, különböző korból származó műhely anyaga került elő. Ezek közül talán az egyik legjelentősebb az Ecsedy István által feltárt zóki lelőhely, ahol számos kora bronzkori öntőminta mellett a kerek, lapos tál-szerű öntőtégelyben megfigyelései szerint meszet és rézoxid-maradványokat talált, mely jó támpontot jelent az újraolvasztás folyamatának rekonstruálásához. (Ecsedy 1982) Kovács Tibor Lovasberényben tárt fel egy középső bronzkori öntőműhelyt, (rajzát lásd: Kovács 1977a 34.) F. Petres Éva pedig a minden valószínűség szerint késő bronzkori ötvös felszereléséhez tartozó nadapi leleteknek egy részét ismertette. (Petres 1982)

¹⁸⁹ Itt úttörő jellegük miatt csak két munkát szeretnénk kiemelni: Varga 1992., Varga-Molnár-Nagyné Czakó-Ilon 1989

¹⁹⁰ Az itt folyó műhelymunka jelentőségét mutatja az is, hogy 1997. április 29-30-án itt rendezik az 1998-ban Magyarországon rendezendő Archaeometry '98 konferencia előzetes nemzeti tanácskozását.

¹⁹¹ A XIV. évfolyamát is megérett lapot elsősorban T. Biró Katalin (főszerkesztő) valamint Gömöri János és Járó Márta szervezőmunkájának köszönhetően éves rendszerességgel vehetik az érdeklődők kezükbe.

¹⁹² Varga-Molnár-Nagyné Czakó-Ilon 1989

¹⁹³ Költő-Kis Varga 1992.; Fekete Mária pedig a celldömölk-izsákfai raktárlelet röntgendiffrakciós vizsgálatát végeztette el (Fekete 1986).

¹⁹⁴ Bakos-Borszéki 1989

¹⁹⁵ Honti 1992, Költő-Kis Varga 1992, Varga-Molnár-Nagyné Czakó-Ilon 1989

¹⁹⁶ Ilon 1992b.

¹⁹⁷ Biró 1995

újabb vélemi ásatásokon talált öntőlepenyek elemzésénél is.¹⁹⁸ Tolna megyében az utóbbi években egyre inkább a leletek és az ásatási megfigyelések alapján végzett régészeti kísérletek, valamint a legmodernebb természettudományos eszközök és eljárások segítségével főként a késő bronzkori fémművesség kevésbé vizsgált, anyagszerkezeti változásokat okozó technikai ismereteit, technológiai eljárásait kutatja a közreműködők egy szélesebb köre.¹⁹⁹ Először végeztek méréseket például a hazai késő bronzkori fémművesség kutatása során az anyagösszetétel- és anyagszerkezet-vizsgálatok mellett a fém tulajdonságairól lényeges információt szolgáltató keménység megállapítására.²⁰⁰

A hagyományos régészeti módszerekre támaszkodó, de az új vizsgálati lehetőségeket is használó kísérleti régészeti módszerek, természettudományos vizsgálatok az utóbbi másfél évtizedben egyre szervezettebben épültek be a hazai kutatásokba.²⁰¹ Így a több szálon futó kísérleti régészeti munkák²⁰² egyik eredményeként 1996-ban Régészeti Park nyílt Százhalombattán, s a helyszínen nemzetközi konferenciát tartottak.²⁰³ Az "Archaeometry 1998" magyarországi megrendezése nemcsak az eddigi munkák elismerése, de egyben a további kutatások ösztönzője is.

3. A DUNÁNTÚLI URNAMEZŐS KULTÚRA LELETEINEK ARCHAOMETALLURGIAI VIZSGÁLATA ÉS EREDMÉNYEI

A magyarországi kutatások során többször visszatérő probléma, hogy a tipológiai szempontú vizsgálatok mellett kevesebb figyelem jut az egyes tárgyakon fellelhető, készítésük és használ-

¹⁹⁸ Czajlik-Molnár-Solyos 1995

¹⁹⁹ Szabó 1993, Szabó 1993a, Szabó 1993b, Szabó 1993c, Szabó 1993d, Szabó 1993e, Szabó 1994, Szabó 1995, Szabó 1995c, Szabó-Oszvald 1996, Nacsá 1990. Szabó Géza a Magyar Állami Eötvös Ösztöndíj támogatásával 1996-ban részt vehetett a bradfordi egyetem archaeometallurgiai tanszékének posztgraduális képzésén és mint a tanszék tiszteletbeli tudományos munkatársa lehetőséget kapott az intézményben található, a jelenleg alkalmazott legmodernebb eszközök ingyenes használatára a magyarországi régészeti leletanyagok vizsgálatához.

²⁰⁰ Ezúton is szeretnék köszönetet mondani Oszvald Ferencnek, aki lehetőséget adott a keménységmérések elvégzésére a PAV laborjában, valamint M. Pollardnak és G. McDonnellnek, akik engedélyezték a vizsgálatok folytatását a bradfordi egyetem archaeometallurgiai laborjában. (Szabó 1996a)

²⁰¹ Azonban a régészeti munkákon kívül a párhuzamok keresésekor jól hasznosítható néprajzi-, (Ecsedi 1931, Bodgál 1959, Bodgál 1965, Jobba 1987.) a késő bronzkori fémművesség technológiai folyamatait is tárgyaló metallurgiai munkák (Schedel 1964, Pásztor 1990, Pásztor-Szepessy-Kékesi 1990., Szegedy 1954, Szegedy 1957, Szegedy 1963, Zsák 1958, 1960, Vastagh-Kiszely 1962.), és auktorokat magyar nyelven közreadó feldolgozások is megjelentek (Orvos 1989, Komoróczy 1983, Komoróczy é.n., Theophilus 1986.).

²⁰² Antoni Judit már több mint két évtizede folytat újkőkori régészeti leletek és kőkori körülmények között élő természeti népek tanulmányozása segítségével kísérleti régészeti kutatásokat, melynek eredményeit kandidátusi disszertációjában dolgozta fel. T. Biró Katalin az újkőkori kőeszközök bányászata és nyersanyagforgalma (Biró 1991), legutóbb pedig a góri öntőformák kapcsán szintén érintette ezt a témakört. (Biró 1996)

²⁰³ A konferencián külön szekció foglalkozott a kísérleti régészeti kutatások hazai és nemzetközi eredményeivel.

latuk, használhatóságuk módjára utaló nyomoknak - holott ezek döntőek lehetnek egy-egy tárgymeghatározás alkalmával.²⁰⁴ Van például olyan - a Kárpát-medencében párhuzam nélküli - öntött edény, amelyet a kutatók egy része préseltek, más része trébeltnek tart.²⁰⁵ A készítési módnak ez esetben is kulcsszerepe volt a készítés helyének pontosabb meghatározása során. Ugyanis az északi bronzkor területén a bronztárgyakat - köztük az edényeket - nem kalapálták, hanem öntötték.²⁰⁶

A mind több, de még mindig csekély számú leletet érintő interdiszciplináris vizsgálatok eredményeinek értékelését nehezíti, hogy az általánosan megszokott - a technikai, technológiai jellegű megfigyeléseket gyakran teljesen mellőző - tárgyleírások nem adnak elégséges információt. Így az irodalmi adatok látszólagos bősége ellenére előfordul, hogy egy-egy konkrét kérdés megválaszolása során olykor kevés számba vehető adatra bukkanunk. A műszeres vizsgálatok esetében - az anyagiakon túl - sokszor problémát jelent, hogy azokat nem a régészet speciális kérdéseinek megválaszolására, hanem valamely más szakterület igényének megfelelően fejlesztették ki. Különösen a fémtárgyaknál kézenfekvő, hogy egészen mások a problémák, lehetőségek és módszerek az ipari termelésben felmerülő gyakorlati kérdések, és a több ezer évig földben rejlő régészeti tárgyak esetében.

Hazánkban az elmúlt közel másfél évszázad során számos, különböző eszközökkel és módszerekkel végzett anyagvizsgálat történt. Ezek a vizsgálatok többnyire egyetlen szempontból feltett kérdésre keresték a választ. Így fordulhatott elő, hogy a mérési és módszertani adatok gyakran hiányosak, egyoldalúak voltak, s ez végső soron a már meglévő adatok értékelését nehezítette. Ezért tartottuk fontosnak egy olyan teljes körű vizsgálat következetes végig vitelét, amely a tárgyakon megfigyelhető felszíni jelenségekből kiindulva, az anyagszerkezet és anyagösszetétel-vizsgálatok eredményein keresztül a keménységmérések, ásatási megfigyelések, valamint a régészeti kísérletek adatait is felhasználva vizsgálja a dunántúli urnamezős kultúra bronzművességének alapvető strukturális kérdésein túl az egyes tárgytypusok előállításának, használhatóságának problémakörét. Ily módon a többoldalú számbavétel következtében arra is alkalmas, hogy ezen adatokhoz viszonyítva újraértelmezzük, szükség esetén korrigáljuk az elmúlt évtizedek vizsgálati eredményeit.

A magyar késő bronzkori kutatás során először nyílt lehetőség arra, hogy egységes elvek és módszerek révén a legmodernebb eszközökkel végezzük el néhány leletegyüttes teljes körű archaeometallurgiai vizsgálatát.²⁰⁷ Az adatok hitelességét és értékét különösen emeli az a tény, hogy a korábbi vizsgálatok általában csak az anyagösszetételre szorítkoztak. Szövetvizsgálat²⁰⁸ csak elvétve fordult elő, a tárgy használhatóságát leginkább jelző keménységmérésre pedig a hazai szakirodalomban eddig nem tudunk példát. A régészeti leletek és az ásatási megfigyelések

²⁰⁴ Szabó 1993a, Szabó 1990

²⁰⁵ Patay 1985, 210-14; Patay 1990; Béri Balogh Ádám Múzeum leltárkönyve, 83.1.38. ltsz-ú bejegyzés.

²⁰⁶ Brondsted 1962, 99-100.

²⁰⁷ Az archaeometallurgiában használatos legmodernebb eszközöket és módszereket legutóbb Scott (Scott 1991) és Olsen (Olsen 1988) tárgyalta részletesen.

²⁰⁸ Eddig mindössze csak 8 bronzminta publikált anyagszerkezet-vizsgálatáról tudunk a hazai késő bronzkor kutatásában. (Mozsolics-Hegedűs 1963a 260-261.)

alapján szabadban és laborkörülmények között végzett hiteles régészeti kísérletekre is alig volt eddig lehetőség.

A leletek kiválasztásánál a földrajzi határokat megszabta a feldolgozandó téma, a mennyiséget pedig az idő és a pénz.²⁰⁹ A választás fő szempontja az volt, hogy a legfontosabb technológiai, technikai ismereteket reprezentáló - vagy éppen ellenkezőleg, valamilyen szempontból különös, illetve egyedi -, történeti, kronológiai következtetések levonására önmagában is alkalmas tárgyat vegyünk alaposabban szemügyre. Munkánk során Regöly-Veravár, a késő bronzkor fémművességét is reprezentáló leletanyaga mellett Kisdorog-Hegyiszántók karikáit, továbbá a sajátos bronztárgyak közül a dunaföldvári sisakot, a tamási lelet 8. számú edényét, valamint az északi eredetű övkorongot vizsgáltuk. E leletek legfontosabb adatai a szakirodalomban hozzáférhetőek, ezért - a szükség szerinti meghivatkozás mellett - helyszűke miatt itt és most eltekintünk a részletes ismertetéstől.²¹⁰ Elemzően szólunk viszont a vizsgálatok bázisát jelentő, a hasonló korú leletek körében leggyakrabban előforduló öntött, kalapált, lemezből vagy drótból készült tárgyakon kívül nyers bronzrögöket is tartalmazó, a fémművesség számos kérdésének tanulmányozására alkalmas Regöly-Veravári kincsleletről. Tárgyai közül különös részletességgel ismertetjük azok archaeometallurgiai szempontú leírását és vizsgálati eredményeit, melyek esetében a korábbi közléssel szemben lényegesen új adatokat nyertünk.²¹¹ A Bölske-Sziget lelőhelyen feltárt öntőműhelyek anyagát, továbbá a bronzolvasztó kohókkal és az öntésekkel, a fémmegmunkálással kapcsolatos adatokat is e fejezetben kívánjuk közreadni.

3.1. EGY ÁLTALÁNOS KÖVETKEZTETÉSEK LEVONÁSÁRA ALKALMAS BRONZLELET RÉSZLETES ARCHAOMETALLURGIAI VIZSGÁLATA (REGÖLY-VERAVÁR)

Regöly belterületén, a Veravárnak nevezett részen az 1960-as években házalap ásásakor a vörösre égett lösztalajban bronztárgyak kerültek elő. Az egy kupacban talált tárgyakat összeszedték, és gondosan eltették. Cziráki Viktor regölyi magángyűjtőnek sikerült utóbb megszereznie az összetartozó tárgyakat.²¹² A tudományos feldolgozásra és közlésre átengedett leletek részletes történeti-tipológiai értékelését Kőszegi Frigyes végezte el.²¹³

A leletanyag leírása²¹⁴

9. tárgy: Törpenge /1. tábla 7. kép/

Kettébe hajtott, törpenge része. Nyél felőli része letört.

A törpenge kiterített hossza 17,5 cm, a penge legnagyobb szélessége 2,4 cm.

²⁰⁹ Az archaeometallurgia vizsgálatokra az Állami Eötvös Ösztöndíj három hónapos támogatásával a bradfordi egyetem és a PAV laborjaiban került sor.

²¹⁰ Szabó 1993, 1993a, 1994, 1996

²¹¹ A tárgyak részletes leírása megtalálható: Szabó 1993.

²¹² A leletgyűttes tudományos feldolgozásra és közlésre való átengedéséért ezúton is szeretnék köszönetet mondani a tulajdonosnak. A leletek első közlésére és történeti, tipológiai értékelésére a szekszárdi múzeum évkönyvében került sor. (Szabó 1993.; Kőszegi 1993)

²¹³ Kőszegi 1993

²¹⁴ Az leletek vizsgálata és értékelése során az egyértelműség kedvéért megtartottuk az első közlésben (Szabó 1993.) használt sorszámokat, melyekre jelen munkánkban (...) zárójelbe téve hivatkozunk.

Mintavétel helye:
nyélnyújtvány csonkja
él

azonosítója:
BRBRONZ1a
BRBRONZ1b

Csiszolat:²¹⁵

BRBRONZ1a: A letört nyélnyújtvány csonkjából készített csiszolat képe alacsony ötvözőanyag-tartalomra utal, a minta vastagabb részein pedig a csak elmosódottan látszó dendritágak között némi alfa+delta-eutektoid is megfigyelhető./22. tábla 1. kép/ A metszet más területein nagyobb nagyításban jól látszik, hogy az ötvény néhol poliéderelesen kristályosodott alfa-fázisú, eltérő méretű krisztallitokat tartalmaz. A kép közepén látható hosszan elnyúló, mintegy 500 mikron hosszúságú krisztallit lassú, viszonylag egyenletes hülésre vagy hosszú hőntartásra utal./22. tábla 2. kép/ A metszet alapján a tárgy óntartalma messze alatta marad a 14 % oldási küszöbnek. Az öntéskor előmelegített, lassan hűlő mintát használtak.

BRBRONZ1b: A tör pengéjéből vett minta vastagabb, borda felőli részén jól kivehetők az apró dendrit-ágak, az összkép azonban hasonló, mint a nyélnyújtvány csonkjából vett minta esetében. Az alfa-fázisú, vékony, egy irányba elnyúló dendritek mérete az alacsony óntartalomra is utal./23. tábla 1. kép/

A mintán az él közvetlen közelében jól látható az él irányában hidegmegmunkálással elnyújtott, erősen tömörített szövetszerkezet. Az él felszínén helyenként világosabb színű, öndúsabb részek figyelhetők meg./23. tábla 2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:²¹⁶

/65. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	+	+	+	o,+	+	o,+

A keménységmérés

helye:	értéke: ²¹⁷
nyélnyújtvány csonkja	86,0 HV
penge merevítőbordája	78,4 HV
él széle	177,0 HV

²¹⁵ Az archaeometallurgiai vizsgálatok céljára vett minták csiszolatát FeCl₃ vizes oldatával marattuk, polár fény mellett vizsgáltuk. A számítógéppel összekötött mikroszkóp segítségével a mintákról adatbázis kialakítása céljából minden esetben digitalizált felvételt is készítettünk.

²¹⁶ A bradfordi egyetem archaeometallurgiai laborjában EDAX típusú műszerrel Idő: 100 s; energia: 20 keV paraméterekkel végzett röntgen fluoreszcensz mikrospektrum analízis-vizsgálatokat a továbbiakban a nemzetközi szakirodalomban használt "XRF" rövidítéssel használom. Az egyes elemek mennyiségének jelölésekor a számítógépes feldolgozás megkönnyítése érdekében Bakos-Borszéki jelöléseit használjuk.(Bakos-Borszéki 1989. 35.)

+++ fő alkotórész

++ tízsázalékos nagyságrendben

+ százalékos nagyságrendben

o,x tizedszázalékos nagyságrendben

o,ox századázalékos nagyságrendben

o nincs kimutatható mennyiségben

²¹⁷ A keménységet minden esetben F = 49,02 N □ kp erővel, Vickers-módszerrel mértük (Hv) legalább három helyen, s ennek átlagolt értékét tartjuk mérvadónak.

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony öntartalmú, lassan hűlő formába öntött, az élrészen utólag hidegen megmunkált bronz.

10. tárgy: Kés /1. tábla 11. kép/

A görbe markolat vége, s az ugyancsak görbe késpenge hegye letört. A markolaton lévő három szegecslyuk közül kettőben még ma is megvan a szegecsként használt, végeinek szélén éles, a középpont irányában repedezett sorjájú drótdarab. A szegecs oldalon jól láthatók a lencse alakú bemélyedések. Az egyenes élű, domború hátú késpenge nyakánál egy kerek, öntött bronzkarika található.

A töredék hossza 17,2 cm, a késpenge legnagyobb szélessége 2,5 cm, a késpenge töredékes hossza 10,2 cm, a markolattöredék hossza 6 cm /a nyakrésszel együtt 7 cm/, a szegecs hossza 1,6 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	nyélnyújtvány	BRBRONZ2a
	szegecs	BRBRONZ2b
	él	BRBRONZ2c

Csiszolat:

BRBRONZ2a: A csiszolaton látható néhány kis szürke folt kismennyiségű ólomra utal. A mintán apró lyukak jelzik a gázok okozta porozitást. A minta összképe alacsony ötvözőanyag-tartalmú, gyakorlatilag egyfázisú fémre utal. A felszín közelében világossárga, ónbő rész figyelhető meg./24. tábla 1. kép/

BRBRONZ2b: A felvételen a vöröses-barna rézoxid elhelyezkedése alapján a széleken jól látszik az anyag tömörödése. A széleken és a belső részben egy irányba mutató mikrorepedések láthatók./25. tábla 1-2. kép, 27. tábla 1. kép/

BRBRONZ2c: Az él csiszolata a markolathoz hasonlóan olyan alacsony ötvözőanyag-tartalomra utal, amely még gyakorlatilag egyfázisú szilárd oldatnak tekinthető. A kés háta közelében erős, krisztallitközi korrózió figyelhető meg./24. tábla 2. kép/ Közvetlenül a kés élénél világosabb, ónbő rész látható. Az él belső részein néhány hullámos szélű ikerkrisztallit is megfigyelhető./26. tábla 1. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:

BRBRONZ2a,c./65. tábla 2. kép, 66. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

BRBRONZ2b./66. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	+	+	+	o,+	+	o,+

Keménységmérés helye:/86. tábla 1-6. kép/ értéke:

nyélnyújtvány	85,6 HV
szegecs	155,0 HV
késpenge háta	90,3 HV
él a hát felőli részen	170,0 HV
kés éle közepén	206,0 HV

kés éle az él szélén 234,0 HV

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - egészen alacsony öntartalmú, öntött, hőkezelt, az élrészen utólag megmunkált bronz. A nyélborítás rögzítésére használt szegecs a késnél valamivel magasabb arányban tartalmaz ötvözőanyagokat.

17. tárgy: Késpenge töredéke /1. tábla 20. kép/

Egyenes élű, ívelt hátú, markolatnyújtványos kés pengetőredéke. A hegye hiányzik, a markolatnyújtványból csak az első szegecslyuk fele látszik. A mikroszkóp alatt az él közelében a felszínen apró, sűrű bemélyedések láthatók./27. tábla 2. kép/

A töredék hossza 11 cm, legnagyobb szélessége 1,5 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	nyélnyújtvány csonkja	BRBRONZ3a
	él	BRBRONZ3b

Csiszolat:

BRBRONZ3a: A letört nyélnyújtvány csonkjából vett mintán az egyfázisú alfa-szövetben eltérő méretű, de zömében kicsi, 100-300 mikron méretű ikerkrisztallitok láthatók. A felszín közelében önban bővebb részek is megfigyelhetők./28. tábla 1. kép/

BRBRONZ3b: A mintán az él közvetlen közelében jól látható az él irányába elnyújtott szövetszerkezet. Az él szélénél világosabb színű, óndúsabb rész figyelhető meg./26. tábla 2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/67. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	+	o,+	+	+

Keménységmérés	helye:	értéke:
	kés nyele	108,0 HV
	él a hát felőli részen	177,0 HV
	kés éle közepén	260,0 HV
	kés éle az él szélén	303,0 HV

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony öntartalmú, hőkezelt bronz. A krisztallitok mérete és a homogén szövetszerkezet egy további megmunkálásra kiválóan alkalmas, alacsony ötvözőanyag tartalmú, közel ideális ötvözetre utal. A legnagyobb keménységet közvetlenül az él szélén - a metszeten világossárga, a fényvisszaverődés miatt néha fehér részen - lehetett mérni.

21. tárgy: Tokos balta /14. tábla 3. kép/

Egyenes kávájú, ívelt, aszimmetrikus élű tokos balta. Díszítését az él egyenes síkjának és az enyhén ovális köpű találkozásának hangsúlyozásával érték el. A peremből induló közel félkör alakú kis fülének tetején és a perem ellentétes oldalán megfigyelhető az öntési csap maradványa. Az öntvény anyaga rossz, zárványokkal teli, a fülnél hosszirányú öntéshiba van. A köpű végénél az egyik oldalon keresztirányú repedés található. A perem belső élének egyik oldalán apró, lencse alakú bemélyedésektől egyenetlenül a balta testéhez simuló sorja látható.

Hossza 10,9 cm, a köpű hossza 6,3 cm, a köpű átmérője a peremnél 2,8-3,5 cm, élszélessége 5,4 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	a köpű pereme	BRBRONZ4a
	a balta éle	BRBRONZ4b

Csiszolat:

BRBRONZ4a: A köpű széléből vett minta csiszolatán az apró, poliédereken kristályosodott krisztallitok az ötvény gyors hűlésére utalnak. A különböző módon korrodált részeken mindenütt egyfázisú, alacsony ötvözőanyag tartalmú szövet figyelhető meg. A felszín közelében az inter- és transzkrisztallit korrózió erőteljesebb nyoma látható./28. tábla 2. kép, 30. tábla 1. kép/

BRBRONZ4b: Az él szélének képe az előző mintához hasonlóan alacsony ötvözőanyag-tartalomra utal. A metszeten a balta teste felőli oldalon enyhébb, a balta élénél azonban erősebben tömörödött, az él irányában elnyúlt szövetszerkezet figyelhető meg./30. tábla 2. kép/ Ez a jelenség valamelyest a felszínen is látható./29. tábla 2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/67. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	o,+	o,+

Keménységmérés	helye:	értéke:
	köpű széle	68,1 HV
	a balta éle	168,1 HV

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - rendkívül alacsony óntartalmú, az élrészen hidegen megmunkált bronz.

39. tárgy: Horog /1. tábla 16. kép/

Nagyméretű, szakállas horog. A zsinór felőli végét ellapították és oldalirányban visszahajlították. A négyszögletes keresztmetszetű szár oldalain több helyütt apró, lencse alakú bemélyedések láthatók. A szár felülete hosszirányú hajszálrepedésektől porózus, helyenként kis lemezdarabkakkal borított.

Hosszúsága 7 cm, a szakáll hossza 1,5 cm, a hegy távolsága a szár síkjától 3,4 cm.

Csak a felszínéről készült felvétel, melyen jól látható az elnyúlt szövetszerkezet./29. tábla 1. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/69. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,o+	o,o+	o,+	o,o+	+	o,o+

Értékelés: A felszínen végzett XRF-mikrospektrum analízis a megszokottnál alacsonyabb szennyezőanyag-értékeket és sokkal határozottabb ónintenzitást mutat.

46. tárgy: Nyélnyújtványos sarló töredéke /3. tábla 1. kép/

Az ívelt penge megmaradt része és a nyélnyújtvány találkozásánál a külső oldalon egy kis trapéz keresztmetszetű, kiugró rész van, melynek letört végét eldolgozták. Ennek felső részét - és közelében a sarló hátát is egy darabon - ellapították. A lapos részeken apró, lencse alakú

bemélyedések, szélein pedig az anyag síkján túlnyúló, repedezett sorja látható. A félkör alakban végződő nyélnyújtvány két szélén az öntési sorja éles. Az előlapon három éles, határozott peremű, "V"-keresztmetszetű bemélyedésekkel ellátott borda van. A középső borda fordított "Y" alakban kettéágazik.

A tárgy felszínén mikroszkóp alatt a hátoldalon dendritágak mintázata, az élnél pedig apró, sűrű bemélyedések láthatók.

A sarlótöredék hossza 11,6 cm, a penge szélessége 2,3 cm. A nyélnyújtvány hosszúsága 6,0 cm, szélessége 2,7 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	penge keresztmetszete	BRBRONZ8

Csiszolat:

BRBRONZ8: Az eltört sarlópenge végénél vett mintán jól látható, hogy a hát felőli vastagabb részen az apró alfa-dendritágak között peritektikusán képződött béta fázis mellett némi alfa+delta heterogén szerkezetű eutektoid van./32. tábla 1. kép, 33. tábla 1. kép/ Az alfa+delta eutektoid kis mennyisége az alacsony óntartalomra utal.

Az él közelében hidegen megmunkált, egy irányba elnyújtott krisztallitok láthatók./34. tábla 1-2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/68. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	+

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony óntartalmú, az élrészen hidegen megmunkált bronz.

47. tárgy: Nyélnyújtványos sarló töredéke /3. tábla 7. kép/

Az ívelt penge megmaradt része és a nyélnyújtvány találkozásánál a külső oldalon egy kis kiugró rész van. Ennek felső részét - és közelében a sarló hátát is egy darabon - ellapították. A lapos részek apró, lencse alakú bemélyedések, szélein pedig az anyag síkján túlnyúló, repedezett sorja látható. A félkör alakban végződő nyélnyújtvány két szélén az öntési sorja éles. Az előlapon két, apró, elmosódott szélű, "V" keresztmetszetű mélyedésekkel ellátott borda van. Az él közelében a felszín mikroszkópi képen apró, sűrű bemélyedések láthatók.

A sarlótöredék hossza 14,6 cm, a penge szélessége 2,5 cm. A nyélnyújtvány hosszúsága 6,1 cm, szélessége 2,8 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	penge keresztmetszete	BRBRONZ9a
	a penge kalapált háta	BRBRONZ9b

Csiszolat:

BRBRONZ9a: Az eltört pengéből vágott keresztmetszeten az apró dendritágak közötti alfa+delta-eutektoid kis mennyisége alacsony óntartalomra utal. Az öntvény pórusos, helyenként kis szürke foltok utalnak az ólom jelenlétére./35. tábla 1. kép/ A metszet más területein a dendritágak körvonala elmosódottan látszik./36. tábla 1. kép/

Az él közelében a poliédereken kristályosodott, az él irányába elnyúló krisztallitok a tárgy hideg megmunkálására utalnak./37. tábla 1. kép/

BRBRONZ9b: A penge és a nyélnyújtvány találkozásánál a külső oldalon lévő, ellapított részből vett mintán jól látható a hideg megmunkálás következtében erősen tömörödött, elnyúlt szövetszerkezet./37. tábla 2. kép/ A rácsszerkezet torzulásai a felszín közelében fokozottak, a tárgy belsejében az elmosódottan látszó dendritágakon változás nem észlelhető./35. tábla 1. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/69. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	+

SEM-analízis %-os eredménye:

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni
0,35%	93,65%	0,28%	00	0,63%	2,56%	1,3%	1,23%

Keménységmérés	helye:	értéke:
	hát közepe	92,3 Hv
	hát kalapált széle	112,6 Hv
	kalapált él	126,3 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony óntartalmú, az élrészen hidegen megmunkált bronz.

54. tárgy: Sarlópenge töredéke /3. tábla 4. kép/

Hegyes végű, ívelt pengéjű sarló töredéke.

A töredék hossza 13,4 cm, szélessége 2,4 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	penge keresztmetszete	BRBRONZ11

Csiszolat:

BRBRONZ11: Az eltört pengéből vágott keresztmetszeten az apró dendritágak közötti alfa+delta-eutektoid kis mennyisége alacsony óntartalomra utal. Az él közelében a poliéderesen kristályosodott, az él irányába elnyúló krisztallitok a tárgy hideg megmunkálására utalnak.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/68. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony óntartalmú, az élrészen hidegen megmunkált bronz.

63. tárgy: Fűrészlap töredéke /2. tábla 23. kép/

Lekerekített végű, közepén kiszélesedő fűrészlap töredéke. A fogazás alig figyelhető meg. A lemez több helyütt meggyűrődött. A felszín egész területén mikroszkóp alatt apró, sűrű bemélyedések láthatók./38. tábla 1. kép, 39. tábla 2. kép/

Hosszúsága 10,8 cm, szélessége a végén 1,5 cm, a töréselfületnél 2,1 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	fűrészlap hiányos vége	BRBRONZ14

Csiszolat:

BRBRONZ14: A 100x-os nagyításnál a lap középső részének szélénél készített felvétel meglehetősen vegyes képet mutat, nehezen értékelhető./39. tábla 1. kép/ Az élrész 400x-os nagyításnál már jól láthatók az egymástól távolabb eső, egyenes vonalú, ikerkrisztallitok./38. tábla 2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/70. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Keménységmérés	helye:	értéke:
	fűrészlap metszete	74,6 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony óntartalmú, megmunkált és hőkezelt bronz. Az ikerkrisztallitok egymástól távoli, szétszórt elhelyezkedése egyben azt is jelzi, hogy a hőkezelés során nem volt teljes a rekrisztallizáció, nem hoztak létre egy homogén alfa-szövetet. A hőkezelés viszonylag alacsony hőmérséklete és rövid időtartama, valamint a hűtés nagy sebessége révén lágy, mindössze 74,6 Hv keménységi értékű, további feldolgozásra alkalmas félkészterméket hoztak létre. Valószínűleg ezzel magyarázható az is, hogy a tárgyon a fogazás nyoma csak helyenként figyelhető meg.

77. tárgy: Tű töredéke /5. tábla 33. kép/

Kerek bronzszáלבól készített, négyszögletes, hosszán nyújtott hegyű tű töredéke. Felületén apró, hosszirányú hajszábrepedések láthatók. A tárgy felszínéről készített mikroszkópi felvételeken még inkább jól láthatók a hosszirányú nyújtás barázdái és a jellegzetes formájú ónbő kiválás, mely hálószerűen szinte az egész felületet elborítja./40. tábla 1-2. kép/

A töredék hossza 10,4 cm, átmérője 0,5 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	tű hegye	BRBRONZ16a
	tű teste	BRBRONZ16b

Csiszolat:

BRBRONZ16a: A tű elvékonyodó, hegy felőli részéből vett mintán hosszirányba erősen elnyúlt, tömörített krisztallitok láthatók.

BRBRONZ16b: A metszeten jól látható az erősen tömörített szövetszerkezet, 400x-os nagyításnál pedig az egészen apró, 40-60 mikron méretű ikerkrisztallitok között helyenként szürke ólomgömbök és óndús kiválások figyelhetők meg./41. tábla 1-2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/70. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

SEM-analízis %-os eredménye (BRBRONZ16b minta csiszolata):

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni
0,14%	94,54%	0,38%	0,63%	0,60%	3,1%	0,34%	0,28%

SEM-analízis %-os eredménye (BRBRONZ16b minta felszíne):

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni
0,52%	70,36%	00	0,69%	9,03%	19,35%	00	0,5%

Keménységmérés helye	értéke:
tű töredékes vége	76,7 Hv
tű hegye	177,3 Hv

Értékelés: A tű anyagául szolgáló bronzszálat többszöri hőkezelés során nyújtották el a kívánt méretre, s a hőkezeléssel és gyors hűtéssel feszültségmentesített, viszonylag lágy anyagot már csak a hegyes végén kalapálták - meglehetősen keményre. A többszöri hőkezelés során a felszínen ónbő kiválás alakult ki, melynek óntartalma az eredetinek több mint hatszorosa, ólomtartalma pedig tizenötszöröse lett.

79. tárgy: Hegy töredéke /5. tábla 30. kép/

Négyszögletesre lapított, hegyes végű tárgy töredéke. Felszíne apró, hosszirányú hajszálrepedésektől porózus. Két oldalán - egymással szemben - mély repedés látható, mely a hegy előtt 0,8 cm-vel találkozik. A találkozási pontnál lévő viszonylag széles, mély részben jól látható, hogy eredetileg két kerek átmetszetű szálat dolgoztak egymásra, melyek nincsenek pontos fedésben. A mikroszkóp alatt a felszínen jól kivehetők a fokozott korrózió sötétebb foltjai./42. tábla 1. kép/

A töredék hossza 4,3 cm, vastagsága a törésfelületnél 0,4 cm.

Mintavétel helye:	azonosítója:
vastagabb vége	BRBRONZ17a
hegy felőli vége	BRBRONZ17b

Csiszolat:

BRBRONZ17a: Az eszköz vastagabb végéből vett mintán az apró krisztallitok az erős tömörítésre utalnak./42. tábla 2. kép/

BRBRONZ17b: A metszeten különösen jól látható a hosszirányba nyújtott, erősen tömörített szövetszerkezet. Az erősen oxidálódott és a világosabb rész éles vonal mentén való elkülönülése jól mutatja az egymásra dolgozott két fém határát. A 400x-os nagyításnál az egészen apró, 10-20 mikron nagyságú ikerkrisztallitok között az egy irányban hosszan elnyúló ónbő kiválások a többszöri hőkezelés mellett a nyújtás irányát is egyértelműen jelzik./43. tábla 1-2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/71. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Keménységmérés helye:	értéke:
vastagabb vége	204 Hv
hegy felőli vége	271 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony óntartalma, valószínűleg öntés után 600-800 C°-on homogenizált és ezt követően hidegen alakított bronz. Keménysége messze meghaladja az átlag bronzokét - így akár azok megmunkálására is alkalmas.

80. tárgy: Tű /5. tábla 34. kép/

Kerek bronzszálból készített, egyik végén hegyes, a másikon ellapított, majd kör alakban visszahajlított fejű tű. Felszíne a hegynél és a fej környékén apró, hosszirányú hajszálrepedésektől porózus.

A tárgy felszínéről készített mikroszkópi felvételeken még jobban láthatók a hosszirányú nyújtás barázdái./44. tábla 1. kép/

Hosszúsága 14,5 cm, átmérője 0,45 cm, a fej szélessége 0,75 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	tű feje	BRBRONZ18a
	tű teste	BRBRONZ18b

Csiszolat:

BRBRONZ18a: Az eszköz ellapított, visszahajtott fejéből vett mintán jól látható a hosszirányba nyújtott, apró ikerkrisztallitokból álló szövetszerkezet.

BRBRONZ18b: A metszeten egészen kisméretű ikerkrisztallitok láthatók./44. tábla 2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/71. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Keménységmérés	helye	értéke:
	tű feje	155,3 Hv
	tű teste	95,1 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga alacsony óntartalmú, hőkezelt és megmunkált bronz. Keménysége a fejnél nagyobb, mint a testrészen, amely arra utal, hogy a többszöri megmunkálás-hőkezelés során kialakított bronzszál formáját megadó végső alakítást követően már nem hőkezelték a tárgyat.

82. tárgy: Fibula töredéke /5. tábla 35. kép/

Négyszögletes átmetszetű bronzszálból 8 menetben hajtott, kerek korongban végződő fibula töredéke a kengyelrésszel. Az élével tekert szál belső végét ellapították, s csak félkör alakban hajtották vissza. A tárgy felszíne a hosszirányú hajszálrepedésektől porózus. A tárgy felszínéről készített mikroszkópi felvételeken még jobban láthatók a hosszirányú nyújtás barázdái./45. tábla 1. kép/

A korong szélessége 4,4 cm, a bronzszál átmérője 0,2 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	fibula kengyelrésze	BRBRONZ19

Csiszolat:

BRBRONZ19: A kengyel töredékes végéből vett mintán az erős porozitás nyomai figyelhetők meg./45. tábla 2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/72. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Keménységmérés	helye:	értéke:
	fibula kengyele	105 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőanyagok tartható fémek jelenléte mellett - alacsony óntartalmú, megmunkált bronz. Az erős porozitás háttérében egy túl magas hőfokon történt homogenizálás, vagy az átlagosnál erősebb korróziós közeg húzódnak meg.

87. tárgy: Lemezhátú fibula töredéke /5. tábla 27. kép/

A kengyel kerek keresztmetszetű, 6 menetben hajtott korong. A bronzsál korong közepén lévő végét ellapították, és csak félkör alakban hajtották vissza. A fűzfalevél alakú hátat a lemez szélével 2-3 mm-re párhuzamosan futó vonaltól kifelé sűrű, apró ferde vonalak, befelé hullámvonalban futó, kerek, pontszerű bemélyedések díszítik. A legalább másfélszer hajtott rugóról a tű letört. A tárgy egész felületét - különösen a kerek keresztmetszetű részekenél - hosszirányú hajszáltrepedések teszik porózussá. Mikroszkóp alatt jól láthatók a fibula lemezén látszólag rendszertelenül elhelyezkedő, apró, sűrű bemélyedések, /46. tábla 1. kép/ megfigyelhető az egyirányú nyújtásra utaló hosszanti bordák közötti különbség./46. tábla 2. kép/ Mindkét esetben szembetűnő a kristallitok határán megjelenő felületi ónbó kiválás is.

A fibula hosszúsága 11,9 cm, a kengyel szélessége 2,9 cm, vastagsága 0,3 cm, a hátlemez hosszúsága 7,7 cm, vastagsága 0,1-0,15 cm, szélessége 0,3-1,75 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	fibula kengyele	BRBRONZ21a
	fibula lemeze	BRBRONZ21b

Csiszolat:

BRBRONZ21a: A mintán erősen alakított alfa szilárd oldat képe látható.

BRBRONZ21b: A metszeten az alfa szilárd oldat túi alapján jól követhető a nyújtás iránya is. A sajátos szövetszerkezet az erős oxidáció miatt már maratás előtt is jól megfigyelhető volt/47. tábla 1-2. kép/, maratás után pedig még szembetűnőbb./48. tábla 1-2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/73.1./

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

SEM-analízis %-os eredménye (GSS29):²¹⁸

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni
0,44%	92,03%	0,52%	00	00	6,55%	0,15%	0,31%

SEM-analízis %-os eredménye (GSS36):²¹⁹

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni
6%	68,61%	00	00	25,25%	3,8%	0,09%	0,19%

Keménységmérés	helye:	értéke:
	fibula lemeze	96,6 Hv
	fibula kengyele	73,0 Hv

²¹⁸ Idő: 100 s; energia: 20 keV, terület: 1 K FR; focus: 15

²¹⁹ Idő: 100 s; energia: 20 keV, terület: 5 K S; focus: 15

Értékelés: A metszet képe erősen alakított tús szövetszerkezetre utal. A tárgy keménységét a hőkezelés utáni megmunkálással a nagyobb rugalmasság elérésére a kengyelrészen még növelték.

A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony óntartalmú, homogénizált, melegen megmunkált bronz. A nagyobb felületen mért, mintegy 6,55%-os óntartalom megfelel a metszeten látottaknak és a XRF-mikrospektrum analízis adatainak. A mintegy 5000x-es nagyítás mellett is csak egyetlen pontban mért adatoknál feltűnően magas az ólom 25,25 %-os és a vas 6 %-os értéke. Ilyen magas ólomtartalmat sem a csiszolatokon látottak, sem a mikrospektrum analízis görbéje nem igazol - hiszen a görbének nincs csúcsa az ólom tartományában. A mérési gyakorlatban előfordul, hogy az ólom látszólagosan magas aránya valójában a magas szulfid-tartalmat takarja - minden jel szerint esetünkben is erről lehet szó. A 6 %-os vastartalom túl van az oldhatósági küszöbön, így ez mindenképpen vas salakzárványt jelez. A magas szulfid és vastartalom az eredetileg kohósított, szulfidos érc felhasználására mutat.

88. tárgy: Fibula töredéke (5. tábla 29.)

Kerek keresztmetszetű bronzszálból 8 menetben hajtott, kerek korongban végződő fibula töredéke a kengyelrésszel. A szál belső végét ellapították, s csak félkör alakban hajtották vissza. A tárgy felszíne a hosszirányú hajszálrepedésektől porózus. Mikroszkóp alatt hosszirányú bordák jelzik a nyújtás irányát./49. tárgy 1. kép/
A korong szélessége 3,4 cm, a bronzszál átmérője 0,2 cm.

Mintavétel helye: azonosítója:
fibula kengyelrése BRBRONZ22

Csiszolat:
BRBRONZ22

Az erősen oxidálódott bronzszálban az ónbő kiválások egyértelműen mutatják a nyújtás irányát./49. tábla 2. kép/ Nagyobb nagyításnál az egészen apró ikerrisztallitok is jól láthatók.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/71. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Keménységmérés helye: értéke:
Fibula kengyelrése 163 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony óntartalmú, megmunkált és hőkezelt, majd a kengyelrészen ismét megmunkált bronz.

89. tárgy: Fibula töredéke /5. tábla 28. kép/

Összeolvadt, eredetileg négyszögletes keresztmetszetű bronzszálból legalább 7 menetben hajtott, kerek korongban végződő fibula töredéke a kengyelrésszel. A drótszál korong közepén lévő végét ellapították, s csak félkör alakban hajtották vissza. A korong szélessége 4 cm, a bronzszál átmérője 0,2 cm körül volt.

Mintavétel helye: azonosítója:
összeolvadt fibula koronja BBRONZ23

Csiszolat:

BRBRONZ23: A metszeten egészen apró, erősen oxidálódott krisztallitok láthatók./50. tábla 2. kép/ Nagybobb nagyításnál előtűnik az ikerkrisztallitok enyhén hullámos határa, melyek iránya nagyjából egyfelé mutat. A krisztallitok között hosszsan elnyúlt, ónbő olvadékfoltok figyelhetők meg.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/75. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Keménységmérés helye: értéke:
 összeolvadt fibula korongja 31,9 Hv

Értékelés: A fibulához használt alacsony óntartalmú bronzsálat a megmunkálás után hőkezelték - erre utal az ikerkrisztallitok jelenléte. A tárgy anyaga - mint az szabad szemmel is jól látható - magas hőfokon részben megolvadt, azonban az ikerkrisztallitok határa enyhén hullámos maradt. Ez arra utal, hogy nem mindenütt ment végbe teljesen a rekrisztallizáció./50. tábla 1. kép/ A fibulát feltehetően csak rövid ideig érte magas hőmérséklet, melyet gyors hűtés követett. Azonban már ez a "hőkezelés" elegendő volt ahhoz, hogy az alfa-kristályok közötti alfa+delta eutektoid maradéka is felolvadjon és megfolyjon, illetve hogy az anyag teljesen kilágyuljon, amit jól bizonyít a mindössze 31,9 Hv keménységi érték.²²⁰

90. tárgy: Karika töredéke /6. tábla 23. kép/

Rombusz keresztmetszetű, öntött karika, melynek mintegy negyed része hiányzik. Külső élét 1,1 cm hosszsan ellapították. Külső és a belső éle egyaránt éles, kopásnyomokat nem mutat. A törésselületek közelében a tárgy meghajlott, s a törési szél az egyik oldalon vastagabb, élesebb, az anyag eredeti síkjából kiemelkedik, a másik oldalon pedig vékonyabb, tompább.

Mikroszkóp alatt jól látható, hogy felszínét a krisztallizáhatókon kivált ónból háló fedi./51. tábla 1. kép/ A karika eredeti átmérője 9,2 cm, anyagvastagsága 0,6 cm, szélessége 1 cm.

Mintavétel helye: azonosítója:
 karika töredékes vége BRBRONZ24

Csiszolat:

BRBRONZ24: Az apró, poliéderesen kristályosodott krisztallitok az öntvény gyors hűlésére utalnak./51. tábla 2. kép/ A különböző módon korrodált szövetben helyenként fel nem oldódott ólom figyelhető meg. A felszín közelében az inter- és intrakrisztallit korrózió erőteljesebb nyoma látható./52. tábla 1-2. kép/ Helyenként néhány ikerkrisztallit is látható.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/75. tábla 1-2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

²²⁰ Az adatok ellenőrzése során Oszvald Ferenc mikrokeménység-mérései arra hívták fel a figyelmet, hogy az eltérő terheléssel mért adatok között különbségek lehetnek. Az adott esetben pl. ő 100 g terheléssel 96 Hv értéket mért a mikrokeménység-mérővel. Az adatok közötti eltérés háttérben feltehetően a hólyagosra olvadt anyagszerkezet áll. Oszvald Ferenc ellenőrző méréseit ezúton is köszönöm.

SEM-analízis %-os eredménye (GSS21):²²¹

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni
0,18%	91,08%	0,25%	0,64%	0,16%	7,22%	0,09%	0,38%

Keménységmérés	helye:	értéke:
	karika metszete	106,9

Értékelés: A tárgy anyaga a megszokottnál valamivel magasabb, 7,22 %-os arányban tartalmaz ugyan ónt - de még mindig az alacsony óntartalmú bronzok közé sorolható. Készítéskor az öntőformát nem melegítették elő, vagy gyorsan hűlő formát használtak. A néhány, elszórtan mutatkozó ikerkrisztallit arra utal, hogy a tárgyban egy erőbehatás rácsfeszültséget hozott létre, amely után hőt kapott. A homogenizálás azonban csak rövid ideig tartó, és alacsony hőmérsékletű lehetett, mert nem zajlott le a teljes átrendeződés.

92. tárgy: Karperec töredéke /6. tábla 13. kép/

Nyitott, elvékonyodó végű, külső oldalán apró, enyhén harántirányú bordákkal díszített karperec fél töredéke.

Eredeti átmérője 6,8 cm, vastagsága a végén 0,4 cm, a közepén 0,6 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	karika töredékes vége	BRBRONZ28

Csiszolat:

BRBRONZ28: A metszeten apró, ikerkrisztallitokból álló szövetszerkezet látható./54. tábla 2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	o,+	o,+

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony óntartalmú, hőkezelt bronz.

103. tárgy: Bronzsál töredéke /6. tábla 14. kép/

Háromszög keresztmetszetű, "U"-alakban meghajlított bronzsál töredéke. A tárgy két végén a törési szél az egyik oldalon vastagabb, élesebb, az anyag eredeti síkjából kiemelkedik, a másik oldalon pedig vékonyabb, tompább. Felülete sima, egyik oldala két, alig látható ferde síkból áll. Mikroszkóp alatt jól kivehető, hogy felületét sűrű ónkiválás borítja.

Kiterített hossza 17,5 cm, szélessége 0,7 cm, vastagsága 0,4 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	bronzsál hiányos vége	BRBRONZ27

Csiszolat:

BRBRONZ27: A metszeten enyhén hullámos vonalakkal határolódó ikerkrisztallitok láthatók. A homogén alfa-szövetben csak helyenként lehet megfigyelni kisebb mennyiségű kiválásokat./53. tábla 2. kép/

²²¹ Idő: 100 s; energia: 20 keV, terület: 5 K FR; focus: 15

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/75. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Keménységmérés helye: értéke:
 bronzsál metszete 203 Hv

Értékelés: A bronzsálból az alacsony óntartalom ellenére hőkezeléssel, majd egy záró tömörítéssel ideális szerkezetű, gyakorlatilag homogén alfa-kristályokból álló szövetű, kiváló keménységű - de mégsem rideg - anyagot hoztak létre.

111. tárgy: Karika töredéke /6. tábla 2. kép/

Kerek, rombusz keresztmetszetű díszítetlen bronzkarika töredéke. Alsó- felső- és külső éle tompa, lekerekített, belső oldalán helyenként öntési sorja látható. Anyagából egy 1,4 cm hosszú szakasz kitört. Felülete sima, fényes. Felületén mikroszkóp alatt sem látszik ónbő kiválás./55.1.6/

Átmérője 5,5 cm, szélessége 0,4 cm, vastagsága 0,3 cm.

Mintavétel helye: azonosítója:
 karika hiányos része BRBRONZ33

Csiszolat:

BRBRONZ33: A karika metszetén jellegzetes dendrites szövetszerkezetben az apró alfa-dendritágak között kis mennyiségű alfa+delta eutektoid látható./55. tábla 2. kép/

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/73. tábla 2. kép, 76. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Keménységmérés helye: értéke:
 karika metszete 102,5 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga a megszokottnál valamivel magasabb arányban tartalmaz ugyan ónt - de még mindig az alacsony óntartalmú bronzok közé tartozik. Az apró dendritágak arra mutatnak, hogy viszonylag gyors volt az öntvény hűlése.

112. tárgy: Karika /6. tábla 1. kép/

Kerek átmetszetű, mindkét végén elvékonyodó szálból két menetben tekert karika. Külső oldalát kereszt- és harántirányú, valamint "X" alakú bordák díszítik. A bordák közötti "V" keresztmetszetű mélyedések hossza, iránya, mélysége egyenetlen. Felszíne hosszirányú hajszáltrepedésektől egyenetlen. Átmérője 4,2 cm, vastagsága 0,2-0,4 cm.

Mintavétel helye: azonosítója:
 karika vége BRBRONZ34

Csiszolat:

BRBRONZ34: Az erős oxidáció miatt a kristallitok határa alig látható. Az ikerkristallitok között inter- és intragranuláris korróziós repedések vannak.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/76. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,o+	o,o+	o,+	o,+	+	o,+

SEM-analízis %-os eredménye (GSS24):²²²

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni
0,07%	91%	0,07%	00	0,78%	7.53%	0,54%	0,37%

Keménységmérés helye: értéke:/76.1/
 karika vége 92,9 Hv

Értékelés: A karika anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony óntartalmú, megmunkált, hőkezelt bronz.

124. tárgy: Dróttekercs töredéke /5. tábla 2. kép/

Tordírozott, másfél menetben tekert karika. Mindkét végén töréselfület látható.

A tekercs átmérője 2 cm, a bronzszál vastagsága 0,2 cm.

Mintavétel helye: azonosítója:
 bronzszál vége BRBRONZ38

Csiszolat:

BRBRONZ38: A mintán párhuzamos vonalak mentén sűrűn elhelyezkedő, apró lyukak mutatják az erős oxidációt.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/77. tábla 1. kép, 78. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Keménységmérés helye: értéke:
 drótszál vége 83,5 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga alacsony óntartalmú, viszonylag lágy bronz. Az erős oxidáció és porosság miatt a szövetkép alapján nem látható a hőkezelés és a megmunkálás nyoma, pedig minden egyéb jel erre mutat.

130. tárgy: Drótspirál töredéke /5. tábla 18. kép/

Háromszög keresztmetszetű, csúcsával kifelé néző szálból menetelesen tekercselt, széthúzott spirál. Mindkét végén töréselfület látható. Felületén mikroszkóp alatt jól láthatók a nyújtás irányát jelző kis hosszirányú bordák és a felületi ónbő kiválás kis gyöngyei./56. tábla 1. kép/

Hosszúsága 4,8 cm, külső átmérője 0,6 cm, belső átmérője 0,4 cm, a szál szélessége 0,25 cm.

Mintavétel helye: azonosítója:
 drótszál vége BRBRONZ41

Csiszolat:

²²² Idő: 100 s; energia: 20 keV, terület: 1 K FR; focus: 15

BRBRONZ41: A metszeten 400x-os nagyításkor jól láthatók az egyenes vonalak mentén kialakult ikerkristallitok és a szélek közelében kivált, sárgásszínű ónbő réteg./56. tábla 2. kép, 57. tábla 1-2. kép/ A kristallitok mérete változó, zömében 40-100 mikron közötti.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/79. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,o+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

SEM-analízis %-os eredménye (drótszál közepe, GSS16):²²³

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni
0,19%	92,15%	0,05%	0,53%	0,17%	6,22%	0,32%	0,37%

SEM-analízis %-os eredménye (egyetlen ikerkristallit, GSS13):²²⁴

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni
0,19%	92,47%	00	1,73%	00	5,22%	00	0,39%

SEM-analízis %-os eredménye (drótszál felülete, GSS14):²²⁵

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni
1,18%	66,18%	0,34%	00	15,78%	15,73%	00	0,79%

Keménységmérés helye: értéke:
 drótszál vége 99 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - alacsony óntartalmú, megmunkált és hőkezelt bronz. A kristallitok mérete - és a keménység értéke is - arra mutat, hogy a bronzszál megmunkálása során az anyag tömörítése nem volt túl nagy, s így egy viszonylag lágy, további hidegmegmunkálásra alkalmas alapanyagot kaptak. A különböző helyeken végzett összetétel-elemzések adatai alapján jól látható, milyen jelentős különbségek vannak az átlagos összetétel és az egyes kristallitokban oldott fémek mennyisége, illetve a felületen lévő ónbő kiválás arányai között. Az adatok alapján az is jól látszik, hogy az egyes fémek a folyamatokban eltérő módon vesznek részt.

149. tárgy: Díszített lemezdarab /4. tábla 17. kép/

Egyik oldalán díszített, a szárok külső éle felé elvékonyodó "V"-alakú lemezdarab. A szárok egyenes belső oldalánál egy, a repedezett külsőnél három vonal fut a szélekkel párhuzamosan. Különösen a vonalkötegnél feltűnő, hogy a vonal mélysége, iránya és párhuzamossága nem egyenletes, 1,1-1,6 cm-es szakaszonként változó. A széleken futó vonalak közötti mezőt egyenetlenül elhelyezett félkör-alakú díszítések töltik ki. A "V"-alakú szárok felülete főleg a külső élek mentén hosszirányú hajszálrepedésektől porózus.

Hosszúsága 9,5 cm, legnagyobb szélessége 3,4 cm, vastagsága 0,1 cm.

Mintavétel helye: azonosítója:
 lemez széle BRBRONZ47

²²³ Idő: 100 s; energia: 20 keV, terület: 1 K FR; focus: 15

²²⁴ Idő: 100 s; energia: 20 keV, terület: 5 K RR; focus: 15

²²⁵ Idő: 100 s; energia: 20 keV, terület: 1 K S; focus: 15

Csiszolat:

BRBRONZ47: A mintán sűrűn elhelyezkedő, apró lyukak mutatják az erős oxidációt.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/78. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Értékelés: A tárgy anyaga alacsony óntartalmú bronz. Az erős oxidáció és pórusosság miatt a szövetkép alapján - bár minden egyéb jel arra mutat - hőkezelés és megmunkálás nyoma nem látható.

154. tárgy: Lemezcsík /4. tábla 27. kép; 11.2./

Lekerekített végű, mindkét oldalán lyukas lemezcsík. A lyukaknál az anyag körben fokozatosan elvékonyodik, sorja sehol nem látható. Az egyik lyuknál a külső szélíg keskeny, szabálytalan vonalú, beolvadt szélű hiátus van. Előlapja enyhén domború, a hátlapja egyenes. Felülete sima, fényes.

Hosszúsága 6,2 cm, szélessége 1,2 cm, vastagsága 0,1 cm, a lyukak átmérője 0,4 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	lemez széle	BRBRONZ48

Csiszolat:

BRBRONZ48: A metszeten a poliéderesen kristályosodott szemcsék között helyenként kis szürkés-kék foltok - ónrögök - láthatók. A metszet értékelését nehezíti, hogy a tárgy anyaga rendkívül erősen oxidálódott.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/80. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Keménységmérés	helye:	értéke:
	lemez széle	95,9 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga alacsony óntartalmú bronz. Az erős oxidáció és pórusosság miatt a szövetkép nehezen értékelhető, de a poliéderesen kristályosodott szemcsék a tárgy öntésére utalnak.

168. tárgy: Lemeztöredék /7. tábla 2. kép/

Szabálytalan alakú, három oldalán beolvadt szélű lemeztöredék. Negyedik oldalán a törési szél az egyik oldalon vastagabb, élesebb, az anyag eredeti síkjából kiemelkedik, a másik oldalon pedig vékonyabb, tompább. Az egyik széléhez közel beolvadt szélű, megközelítően ovális lyuk van. Felülete sima, fényes.

Hosszúsága 3,5 cm, szélessége 1,8 cm, vastagsága 0,2 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	lemez széle	BRBRONZ49

Csiszolat:

BRBRONZ49: A metszeten jól kivehető a dendrites szerkezet. Az alfa-fázisú dendritágak között jelentősebb mennyiségű alfa+delta eutektoid szigetecskék találhatók. A metszet szélén jól látható egy

eltérő színű, ónbő réteg is./58. tábla 2. kép/ A felszínen is kirajzolódó dendrites szerkezetnél pedig a krisztallitok határánál szintén kisebb mennyiségű ónbő kiválás figyelhető meg /58. tábla 1. kép/.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
o,+	+++	o,+	o,+	o,+	o,+	+	o,+

Keménységmérés	helye:	értéke:
	lemez széle	32,5 Hv

Értékelés: A lemez öntéssel készült, megmunkálatlan, alacsony öntartalmú bronz.

174. tárgy: Öntecs /7. tábla 20. kép/

Megközelítően négyzet alakú, elő- és hátlapján viszonylag sima, lapos, hólyagos szerkezetű öntecs. Oldalai porózusak, két éle azonban szabályosnak tűnik, s itt egy kis sima sík oldalfelület is található.

Szélessége 7 cm, vastagsága 2,8 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	öntecs széle	BRBRONZ50

Csiszolat:

BRBRONZ50: A metszeten csak nehezen vehető ki a viszonylag apró szemcsék határa. Csak a helyenként egy-két kisebb elszíneződés, és a vas elszórtan jelentkező sötétszürke foltjai utalnak a szennyezőanyagok jelenlétére.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/79. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
+	+++	o,o+	oo,+	o,o+	o,o+	o,+	o,o+

Keménységmérés	helye:	értéke:
	metszet közepe	97,96 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - némi szennyezőanyag-tartalom mellett - szinte tiszta réznek tekinthető. Százalékos nagyságrendben egyedül a vas van jelen, aránya 4 % körüli. Ez a vastartalom a rézötvözetek esetében már feltűnően magas, a réz tulajdonságait lényegesen rontó mennyiség. A szemcsék kis mérete viszonylag gyors hűlésre enged következtetni.

177. tárgy: Öntecs /7. tábla 13. kép/

Megközelítően téglalap alakú, elő- és hátlapján viszonylag sima, enyhén ívelt, hólyagos szerkezetű öntecs. Oldalai porózusak, két hosszanti éle azonban szabályosnak tűnik.

Hosszúsága 6,5 cm, szélessége 3,5 cm, vastagsága 0,9 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	öntecs széle	BRBRONZ51

Csiszolat:

BRBRONZ51: A metszeten nem látható a szemcsék határa, csak helyenként egy-két kisebb elszíneződés és a vas elszórtan jelentkező sötétszürke foltjai utalnak a szennyezőanyagok jelenlétére.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/81. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
+	+++	o,o+	oo,+	o,o+	o,o+	o,+	o,o+

Keménységmérés helye: értéke:
metszet közepe 86,7 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - némi szennyezőanyag tartalom mellett - szinte tiszta réznek tekinthető. Százalékos nagyságrendben egyedül a vas van jelen, amit jól jelez a mikrospektrum-analízis görbéjén mutatkozó határozott - 4 % körüli - csúcs. Ez a vastartalom a rézötvözetek esetében már feltűnően magas, a réz tulajdonságai lényegesen rontó mennyiség.

178. tárgy: Öntecs /7. tábla 21. kép/

Szabálytalan alakú, elő- és hátlapján viszonylag sima, lapos, hólyagos szerkezetű öntecs. Oldalai porózusak. Hosszúsága 9,5 cm, szélessége 4 cm, vastagsága 1,8 cm.

Mintavétel helye: azonosítója:
öntecs széle BRBRONZ52

Csiszolat:

BRBRONZ52: A metszeten jól kivehető a poliédereken kristályosodott, viszonylag kicsi szemcsék határa. A krisztallitok között mindenféle apró, vastartalomra utaló sötétszürke foltok vannak.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/80. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
+	+++	o,o+	oo,+	o,o+	o,o+	o,+	o,o+

Keménységmérés helye: értéke:
metszet közepe 77,76 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - némi szennyezőanyag-tartalom mellett - szinte tiszta réznek tekinthető. Százalékos nagyságrendben egyedül a vas van jelen, amit jól jelez a mikrospektrum-analízis görbéjén mutatkozó határozott - 4 % körüli - csúcs. Ez a vastartalom a rézötvözetek esetében már feltűnően magas, a réz tulajdonságai lényegesen rontó mennyiség.

181. tárgy: Öntecs /7. tábla 10. kép/

Szabálytalan alakú, egyik oldalán és végén viszonylag sima, hólyagos szerkezetű öntecs. Másutt oldalai porózusak, a fa rostjaihoz hasonlóan repedezettek.

Hosszúsága 2,8 cm, szélessége 2 cm, vastagsága 1,3 cm.

Mintavétel helye: azonosítója:
öntecs széle BRBRONZ53

Csiszolat:

BRBRONZ53: A metszeten csak nehezen vehető ki a viszonylag apró szemcsék határa. Csupán a helyenként egy-két kisebb elszíneződés és a vas elszórtan jelentkező sötétszürke foltjai utalnak a szennyezőanyagok jelenlétére.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/81. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
+	+++	o,+	o,o+	o,o+	o,o+	o,+	o,o+

Keménységmérés	helye:	értéke:
	metszet közepe	63,8 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - némi szennyezőanyag-tartalom mellett - szinte tiszta réznek tekinthető. Százalékos nagyságrendben egyedül a vas van jelen.

182. tárgy: Öntecs /7. tábla 15. kép/

Egyik oldalán enyhén ívelt, megközelítően háromszög alakú, hátlapján viszonylag sima, lapos, hólyagos szerkezetű öntecs. Oldalai porózusak, az ívelt részen helyenként sima.

Hosszúsága 6,1 cm, szélessége 3,4 cm, vastagsága 0,4-1,3 cm.

184. tárgy: Öntecs /7. tábla 17. kép/

Szabálytalan alakú, hátlapján viszonylag sima, lapos, hólyagos szerkezetű öntecs. Oldalai porózusak.

Hosszúsága 4,2 cm, szélessége 2,8 cm, vastagsága 1,2 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	öntecs széle	BRBRONZ54

Csiszolat:

BRBRONZ54: A metszeten alig látható a poliédereken kristályosodott szemcsék határa. A kristallitok között mindenféle apró, vastartalomra utaló sötétszürke foltok vannak.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/82. tábla 2. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
+	+++	o,+	o,+	o,+	o,o+	o,+	o,+

Értékelés: A tárgy anyaga - némi szennyezőanyag tartalom mellett - szinte tiszta réznek tekinthető. Százalékos nagyságrendben egyedül a vas van jelen, amit jól jelez a mikrospektrum-analízis görbéjén mutatkozó határozott - 5 % körüli - csúcs. Ez a vastartalom a rézötvözetek esetében már feltűnően magas, a réz tulajdonságai lényegesen rontó mennyiség.

185. tárgy: Öntecs /7. tábla 16.kép/

Megközelítően négyzet alakú, elő- és hátlapján viszonylag sima, lapos, hólyagos szerkezetű öntecs. Oldalai porózusak, szabálytalanok. Szélessége 2,8 cm, vastagsága 1,4 cm.

Mintavétel	helye:	azonosítója:
	öntecs széle	BRBRONZ55

Csiszolat:

BRBRONZ55: A metszeten alig látható a szemcsék határa, egyedül a mindenfelé elszórtan megtalálható apró, vastartalomra utaló sötétszürke foltok tűnnek szembe.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/82. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
+	+++	o,+	o,+	o,+	o,o+	o,+	o,+

Keménységmérés helye: értéke:
 metszet közepe 95.15 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - némi szennyezőanyag tartalom mellett - szinte tiszta réznek tekinthető. Egyedül a vas van jelen nagyobb mennyiségben.

187. tárgy: Öntecs /7.tábla 8. kép/

Szabálytalan alakú, hátlapján viszonylag sima, lapos, hólyagos szerkezetű öntecs. Oldalai porózusak.

Hosszúsága 4,6 cm, szélessége 3,2 cm, vastagsága 3 cm.

Mintavétel helye: azonosítója:
 öntecs széle BRBRONZ55

Csiszolat:

BRBRONZ56: A metszeten alig látható a szemcsék határa, egyedül a mindenfelé elszórtan megtalálható apró, vastartalomra utaló sötétszürke foltok tűnnek szembe.

A XRF-mikrospektrum analízis eredményei:/83. tábla 1. kép/

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Ag	Sn	Sb
+	+++	o,+	o,+	o,+	o,o+	o,+	o,+

SEM-analízis %-os eredménye (drótszál felülete, GSS40):²²⁶

Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni
4,28%	89,46%	0,44%	2,29%	2,63%	0,13%	0,59%	0,18%

Keménységmérés helye: értéke:
 metszet közepe 92,9 Hv

Értékelés: A tárgy anyaga - némi szennyezőanyag-tartalom mellett - szinte tiszta réznek tekinthető. Egyedül a vas van jelen nagyobb mennyiségben, bár a SEM-analízis eredménye arra mutat, hogy néhány fém, például az ólom és az arzén helyenkénti feldúsulásával kell számolnunk.

Mint az a szokásosnál részletesebb anyagleírásból látható, a tárgyak egy részén következetesen ismétlődő jelenségek figyelhetők meg. Ezek jelentős része mindig egy adott tárgyípushoz köthető - feltehetően azért, mert szoros összefüggésben van a tárgy készítésének, használatának, stb. módjával. Más esetekben ugyanaz a jelenség több eszközön, ékszeren is megfigyelhető. Ez

²²⁶ Idő: 100 s; energia: 20 keV, terület: 1 K S; focus: 15

arra utal, hogy az adott időszakban általánosan alkalmazott eszközkészlettel, technikai, technológiai eljárásokkal lehet összefüggésbe hozni.

A továbbiakban először a kincslelet tárgyain szemmel is látható - az eszközkészletre, a megmunkálás menetére és a használatra utaló nyomokat vizsgáljuk meg és csoportosítjuk aszerint, hogy melyek mutatnak az egykori szerszámkészletre, melyek a technológiai eljárásokra, technikai ismeretekre. Ezt követően a műszeres vizsgálatok legfontosabb eredményei alapján levonható következtetéseket tekintjük át.

A vizsgált kincslelet tárgyai technológiai szempontból első pillantásra két nagy csoportra bonthatók: öntött és alakított tárgyakra.

3.2. A LELETEGYÜTTES TÁRGYAIN SZEMMEL IS LÁTHATÓ JELENSÉGEK

I.

Csak az egyértelműen öntött leleteken (sarlók, tokos balták és vésők, nyílhegyek, lándzsa-csúcsok, kések, stb.) megfigyelhető jelenségek:

- A.) öntési aszimmetria
- B.) öntési hiba
- C.) öntési csap
- D.) öntési sorja

II.

Csak a bronzszáלבól készült tárgyak felületén megfigyelhető jelenségek:

- A.) hosszirányú hajszábrepedésektől porózus felület
- B.) a középpont irányában sugarasan repedezett felület, esetenként éles sorjával

III.

Csak sarlóknál figyelhető meg, hogy:

- a penge és a nyélnyújtvány találkozásánál a külső oldalon lévő kiugró rész tetejét és a penge hátát is ellapították egy darabon. /9. tábla 3. kép/

IV.

Tárgytípushoz, egyetlen technológiai módhoz nem köthető jelenségek:

- A.) lencse alakú bemélyedések:
 - sarlók, tokos balták éle közelében,
 - törésfelületek, repedések közelében,
 - bronzszáלבól és lemezből készített tárgyak felületén,
- B.) az anyag túlnyúlása az eredeti síkon:
 - bronzszáלבól készített tárgyak végénél,
 - tokos balta élének oldalánál,
 - repedt, törött tárgyak egy részénél,
- C.) egyenes vonalú, "V"-keresztmetszetű bemélyedések éles, határozott peremmel, ill. esetenként ezeknek csak egyik felét jelző kis ferde sík:
 - repedések, törésfelületek közelében,

- sarló nyelének bordáján,
- fűrészlapok élrészen,
- a felületi díszítések esetében,

D.) felületet díszítő kis kerek, bemélyedő pontsorok a lemeztárgyakon,

E.) szegecslyukak:

- eszközök nyelén,
- lemezen,

V.

Eszköz átalakítása az eredetitől eltérő célra.

A leletegyüttes tárgyain szemmel is látható jelenségek értékelése

I.

A.) Két eltérő típusú lándzsacsúcson a középvonalban futó merevítőbordák nem szimmetrikusak (1. tárgy/1. tábla 1. kép, 8. tábla 1. kép/, 3. tárgy/1. tábla 3. kép/). A toll másik oldalán méretre, alakra ugyanez az aszimmetria látható, csak éppen felcserélt oldalakkal. Ez a jelenség azt mutatja, hogy az öntéshez használt formák előállításakor a tárgy egyik oldalának megfelelő mintát legalább kétszer egy lágy anyagba nyomták - a tárgy középvonalának megfelelő mélységig. Majd ezeket a részeket öntéskor összefordították. A mintázáshoz használt anyag lehetett öntésre alkalmas homok vagy megfelelően soványított agyag is.²²⁷

A minta anyaga lehetett egy korábban elkészített bronztárgy, de akár más anyag is. Érdeemes szemügyre venni ebből a szempontból a sarlók nyélnyújtványát. Ezek a merevítőbordákat legtöbb esetben alapvetően két módon recézték: éles, határozott peremű, "V"-keresztmetszetű bemélyedésekkel (46. tárgy/3. tábla 1. kép/) vagy kisebb-nagyobb ovális bemélyedésekkel (47. tárgy/2. tábla 9. kép/). Ez utóbbi nyom más fémtárgyakon nem fordul elő, a megoldás anyagidegen - fatárgyakon viszont gyakran alkalmazott, ma is ismert díszítési forma. Hasonló nyomot lehet elérni, ha egy fatárgy szélét kis távolságban, egymással szemben ferdén bevágjuk, és a köztes forgácsot kipattintjuk.²²⁸ A fentieket figyelembe véve valószínű, hogy az öntőformák előállításához sok esetben fából faragott nyomómintát használtak.²²⁹

²²⁷ Hampel 1888-1896 III. 190-202.; Patek 1968. 159-161.; Mozsolics 1985. 79.

²²⁸ Egy konferencia során 1990-ben lehetőségem volt a svájci víz alatti feltárások és az azokhoz szorosan kötődő kísérleti régészet eredményeinek megismerésére, ill. kipróbálására is. Részben az ott szerzett tapasztalatokat felhasználva 1991. nyarán Regölyben szerveztünk kísérleti régészeti találkozót és táborot. A kísérletek során többek között a különböző anyagokkal, módszerekkel való öntőminta készítését és az öntést is kipróbáltuk. (Szabó 1993e)

²²⁹ A fából készített mintakészlet könnyű és viszonylag értéktelen - ami a nem állandó helyen dolgozó fémműves esetében különösen fontos szempont volt. A mai fémműves gyakorlatban az öntőformák előkészítéséhez ma is alkalmazzák faminta készítőik segítségét. Hampel említi egy tömör bronz tokosvésőt is, mint nyomómintát (Hampel 1888-1896 III. 199.). A nyomóminták felvetik továbbá azt is, hogy a szakirodalomban nagy számban homokkőnek meghatározott öntőminták valóban minden esetben homokkőből készültek-e, vagy az erősen ledöngölt öntőhomokból készített mintát égették ki, mely kiegészve sok esetben megtévesztésig hasonlít a homokkőhöz. A lengyeli sarló öntőminta töredékén pl. csak a formázáshoz használt anyag felületén is

B.) A tárgyak felületén szembetűnő öntési hibákra legtöbb esetben a tárgyon lévő lyuk, hiányos szél, stb. hívja fel a figyelmet (1. tárgy/1. tábla 1. kép, 8. tábla 2. kép /, 6. tárgy /1. tábla 5. kép /, 154. tárgy /4. tábla 26. kép, 11. tábla 2. kép /, 146. tárgy /4. tábla 11. kép /, 168. tárgy /7. tábla 2. kép /).

A hiba kiváltó okát azonban utólag legtöbb esetben még műszerekkel sem lehet megállapítani. A nem kellően előmelegített forma vagy bronz, a nem megfelelő méretű öntőcsap és salakfogó, ill. a keletkező gázok elvezetésének megoldatlansága mind-mind a fém lassú ömlését okozza - amely végső soron ahhoz vezet, hogy a bronz megdermed, még mielőtt teljesen kitöltötte volna az öntőformát.²³⁰ A sikeresen megöntött tárgy nem megfelelő hütésekor is jelentkezhetnek öntési hibák. A hőmérséklet csökkenésével járó zsugorodás a tárgy deformálódásához, a vékonyabb-vastagabb részek eltérő hűlése során fellépő anyagfeszültség pedig melegtöréshez vezethet.²³¹ Ez utóbbi jelenség mikroszkópos vizsgálatok segítségével jól kimutatható.²³²

C.) A kincslelet 13 tárgyán figyelhető meg az öntőcsap helye (5. tárgy /1. tábla 5. kép, 8. tábla 1. kép /, 6. tárgy /1. tábla 5. kép /, 20. tárgy /13. tábla 2. kép /, 43. tárgy /3. tábla 3. kép, 10. tábla 1-3. kép /, 44. tárgy /A /3. tábla 2. kép /, 47. tárgy /2. tábla 9. kép, 3. tábla 7. kép /, 48. tárgy /2. tábla 8. kép /, 53. tárgy /3. tábla 6. kép /, 169. tárgy /7. tábla 3. kép /), egy esetben pedig maga a tárgyról letört öntőcsap is megmaradt (171. tárgy /7. tábla 4. kép /).²³³

A tokos baltáknál a csap két csonkja mindig a peremen található - típustól függően az egyenes káva közepén (21. tárgy), vagy a felugró káva legmagasabb pontjain (22. tárgy). Az átlagosnál jóval nagyobb méretű balta (19. tárgy) esetében a fül alatt és azzal szemben szimmetrikusan további két csonk figyelhető meg.

A gombos végű sarlóknál a merevítőborda folytatásában, a gomb alatt tűnik fel az egyetlen öntőcsap nyoma /3. tábla 5. kép /.

A markolatnyújtványos sarlók esetében legtöbbször két csonkot látunk: az egyiket a penge ívének legmagasabb pontján /10. tábla 2. kép /, a másikat a penge és a markolat találkozásánál a külső oldalon /3. tábla 1-3. kép, 7. kép, 9-10. kép /.

A nyílhegyeknél és a lándzsacsúcsoknál a köpű peremén alig maradt nyoma az öntőcsapnak, utólag gondosan eltüntették ezeket.

látható jellegzetes, szárítás közben keletkezett repedések árulják el, hogy nem homokkőből, mint azt Hampel állítja (Hampel 1888-1896 III. 197.), hanem samotporból és agyagból készítették. (Patek 1968. Taf. 15.) A problémák megválaszolását a késő bronzkori öntőmintákon T. Biró Katalin jelenleg is folyó vizsgálatai segítik. (Szíves szóbeli közlését ezúton is köszönöm.)

²³⁰ Szatmári Juhos László szobrászművésznek köszönöm, hogy a bronzöntéssel kapcsolatos szakmai ismereteit megosztotta velem és lehetővé tette számomra a műhelyében való gyakorlati munkát.

²³¹ Veró-Káldor 1977. 473-478. Csepregi Oszkár valamint Dobozy Edvin üzemmérnököknek munkámmal kapcsolatos kritikai észrevételeit ezúton is köszönöm.

²³² Veró-Káldor 1977. 474. 7.19. ábra.

²³³ Hampel 1888-1896 III. 199.

A leletegyüttesben előkerült, a vékony szárhoz képest nagyfejű öntőcsap félkör alakú, sima felületű belső oldala valószínűleg a köpű kialakításához használt mag formáját vette fel /7. tábla 4. kép/. Az öntőcsap fejrészének alakja az öntéshez használt öntőnyílás méretét, formáját is mutatja. Az öntőcsap hólyagos, salakzárványokkal teli anyagának tanúsága szerint ezen a legmagasabb ponton gyűlt össze a megolvasztott fémekben lévő, az anyagnál könnyebb fajsúlyú szennyeződés.²³⁴

A tokos baltáknál a csapok elhelyezkedése arra is utal, hogy ezeket a szerszámokat mindig álló helyzetben öntötték meg.²³⁵

A sarlóknál az öntőcsap minden esetben a penge hátán futó vastagabb bordához csatlakozik. Ebből is látszik, hogy ezeknek a bordáknak nemcsak merevítő, díszítő szerepük volt, hanem a tárgy öntése során ezek a mintegy meghosszabbított öntőcsapok segítettek a fém gyors megömlését, egyenletes elterülését a mintában. A gombos végű sarlóknál a végükön található csonk arra is utal, hogy a merevítő bordát tekintve szintén megközelítően függőlegesbe állított helyzetben öntötték az említett tárgytípust.²³⁶ Ugyancsak ezt valószínűsíti a nyelnyújtványos sarlóknál a két öntőcsap elhelyezkedése: az öntés a penge íve közepének legmagasabbra állított helyzetében történt.²³⁷

B.) Az öntési sorja előfordulása a leletegyüttesen belül közel kétszer olyan gyakori, mint az öntőcsapé, mert 23 esetben maradt látható nyoma (5. tárgy/1. tábla 5. kép, 8. tábla 1. kép /, 6. tárgy /1. tábla 5. kép /, 11. tárgy /1. tábla 13. kép, 8. tábla 4. kép /, 19. tárgy /13. tábla 3. kép /, 20. tárgy /13. tábla 2. kép /, 41. tárgy /3. tábla 5. kép, 42. tárgy /3. tábla 8. kép /, 43. tárgy /3. tábla 3. kép, 10. tábla 1-3. kép /, 44. tárgy /A /3. tábla 2. kép /, 47. tárgy /2. tábla 9. kép, 3. tábla 7. kép /, 48. tárgy /2. tábla 8. kép /, 49. tárgy /2. tábla 7. kép, 9. tábla 3. kép /, 53. tárgy /3. tábla 6. kép, 83. tárgy /5. tábla 36. kép /, 84. tárgy /5. tábla 24. kép /, 86. tárgy /5. tábla 25. kép /, 91. tárgy /6. tábla 12. kép /, 105. tárgy /6. tábla 10. kép /, 136. tárgy /4. tábla 1. kép /, 167. tárgy /7. tábla 1. kép /, 169. tárgy /7. tábla 3. kép /, 171. tárgy /7. tábla 4. kép /).

Az öntési sorja a tárgyak egy részénél a lapos, egyenes oldal szélén fut, ami arra utal, hogy öntéskor homorú kiképzésű öntőmintát és egy síkfelületű zárólapot használtak. Így állították elő a sarlókat (41. tárgy /3. tábla 5. kép /, 42. tárgy /3. tábla 8. kép /, 43. tárgy /3. tábla 3. kép /, 44. tárgy /A /3. tábla 2. kép /, 47. tárgy /2. tábla 9. kép, 3. tábla 7. kép /, 48. tárgy /2. tábla 8. kép /, 49. tárgy /2. tábla 7. kép, 9. tábla 3. kép /, 53. tárgy /3. tábla 6. kép / és a díszek (83. tárgy /5.

²³⁴ Uo.

²³⁵ Hampel 1888-1896 III. 190. Hasonlóképpen jártunk el amikor Regölyben tokosbalta formázásával és öntésével kísérleteztünk.

²³⁶ Hampel 1888-1896 I. Taf.4., Taf. 5.4. Az öntőmintákon a sarló gombos végénél lévő öntőnyílás igazolja a bronztárgy alapján levont következtetést. (Az elmondottakból értelemszerűen következik, hogy a Fugyi-Vásárhely lelőhelyen talált minta Hampel közlésében helytelenül baloldalra, az aszódi pedig fejetetejére fordítva látható.

²³⁷ Patek 1968. Taf. 78.15.

tábla 36. kép /), ékszerek (136. tárgy /4. tábla 1. kép /), lemezdarabok (167. tárgy /7. tábla 1. kép /, 169. tárgy /7. tábla 3. kép /) egy részét.²³⁸

Más esetekben a sorja a tárgy oldalának középvonalán fut, mint a késnyélen (11. tárgy/1. tábla 13. kép, 8. tábla 4. kép /) és a karikák egy részének (91. tárgy /6. tábla 12. kép /, 105. tárgy/6. tábla 10. kép /) esetében. Ezeket a tárgytípusokat két homorú kiképzésű, egymással szembe fordított öntőminta segítségével készítették.²³⁹

A köpűvel rendelkező tárgyak - tokos balták, nyílhegyek, stb. - esetében szintén megfigyelhető az oldalak középvonalán végigfutó sorja (5. tárgy /1. tábla 5. kép, 8. tábla 1. kép /, 6. tárgy /1. tábla 5. kép /, 19. tárgy /13. tábla 3. kép /, 20. tárgy /13. tábla 2. kép /, de pl. a tokos baltáknál még a köpű peremén is látható egy körbefutó öntési sorja. Ez azt mutatja, hogy a két öntőminta közé fölülről egy magrészt is tettek, ennek nagyságával szabályozva az öntvény falvastagságát, formájával pedig a nyéllyuk alakját.

Az öntési sorja egyes tárgytípusoknál teljesen hiányzik, mint pl. a lándzsahegyeknél. Nyilvánvaló - és a más leletegyüttesekben talált selejtes darabok alapján bizonyítható is - hogy a tokos baltákhoz és a nyílhegyekhez hasonló módon öntötték.²⁴⁰ A sorját azonban a vizsgált darabokról utólag teljesen eltávolították, feltehetően lecsiszolták.

A tokos baltákon, a késnyélen azonban rajtahagyták a sorját (11. tárgy/1. tábla 13. kép, 8.4./, 19. tárgy /13. tábla 3. kép /, 20. tárgy /13. tábla 2. kép /, csak a tárgy testére lapították.

Míg a sarlóknál a pengéreszen következetesen hiányzik a sorja, a nyélnyújtványon mindig megvan (41. tárgy /3. tábla 5. kép /, 42. tárgy /3. tábla 8. kép /, 43. tárgy /3. tábla 3. kép, 10. tábla 1-3. kép /, 44. tárgy /A /3. tábla 2. kép /, 47. tárgy /2. tábla 9. kép, 3. tábla 7. kép /, 48. tárgy /2. tábla 8. kép /, 49. tárgy /2. tábla 7. kép, 9. tábla 3. kép /, 53. tárgy /3. tábla 6. kép /). Óhatatlanul felmerül a kérdés: mi az oka a sorja részleges eltávolításának? A jelenség értékelése nem választható el a tárgyon megfigyelhető többi nyomtól, ezért e kérdésre később térünk vissza.

II.

A.) A különböző vastagságú bronzszálak felülete feltűnően gyakran, mintegy 24 esetben hossz-irányú hajszálrepedésektől porózus. Ez a jelenség öntéssel előállított tárgy (egy véső nyéltövis - 36. tárgy /1. tábla 23. kép /) oldalán is megfigyelhető, de főleg bronzszálból készített eszközökön (37. tárgy /1. tábla 22. kép, 11. tábla 6. kép /, 38. tárgy /1. tábla 24., kép 11. tábla 4. kép /, 39. tárgy /1. tábla 16. kép /, 40. tárgy /1. tábla 15. kép /; 77. tárgy /5. tábla 33. kép /; 78. tárgy /5. tábla 32. kép /, 79. tárgy /5. tábla 30. kép /) és ékszereken (80. tárgy /5. tábla 34. kép /, 82. tárgy /5. tábla 35. kép /, 87. tárgy /5. tábla 27. kép /, 88. tárgy /5. tábla 29. kép /, 89. tárgy /5. tábla 28. kép /, 102. tárgy /6. tábla 8. kép /, 104. tárgy /6. tábla 7. kép /, 109. tárgy /6. tábla 5. kép /, 112. tárgy /6. tábla 1. kép /, 116. tárgy /5. tábla 6. kép /, 117. tárgy /5. tábla 4. kép /,

²³⁸ Hasonló öntött lemezek ismertek pl. Lengyelről, Dunaföldvárról (Wosinsky 1896 Taf. 71.7., Taf. 66.7.), Birjánról és Kemecse III. lelőhelyekről is (Mozsolics 1985. Taf. 62.6., Taf. 187.1-4.).

²³⁹ Hampel 1888-1896 III. 189.; Kemenczei 1984. Taf. 117a.11-15.; Mozsolics 1985. Taf. 145.2-9., Bonyhád Taf. 39.1-4.,8-10.

²⁴⁰ Hampel 1888-1896 I. II.6., V.3.

118. tárgy /5. tábla 10. kép /, 126. tárgy /5. tábla 16. kép /, 128. tárgy /5. tábla 13. kép /, 129. tárgy/5. tábla 17. kép /) vehető észre. Mindössze egy esetben egy lemez szélén (149. tárgy /9. tábla 17. kép /) is látható.

Mivel két tárgy kivételével a hajszálrepedésektől porózus felszín mindig bronzszálból készített tárgyon fordul elő, feltételeztük, hogy ez a jelenség összefügg a bronzszál megmunkálásával. A kérdés egyértelmű megválaszolásához azonban először a bronzszál kialakításának módját kell tisztázni.

Az eddigiek során szándékosan csak a technológiai szempontból semleges bronzszál fogalmát használtuk, kerülve a huzal kifejezést. A drót szót is csupán a bronzszál vékony, hosszú megjelenési formájára értve. Tudomásunk szerint ugyanis a régészeti leletek között eddig nem kerültek elő drót húzására alkalmas, egyre kisebb lyukátmérőjű eszközök. Önmagában ezek hiánya természetesen semmit sem bizonyít, hiszen mint Theophilus Presbyter leírja, a drótszálak húzásához elegendő volt a keményfába égetett lyuksorozat is, melyen a felhevített fémszálat egymásután többször is áthúzták.²⁴¹ Két esetben azonban olyan tárgyon is megfigyelhető volt a hajszálrepedésektől porózus felület, melyeket nem lehetett egy kis lyukon áthúzni. Ez arra mutat, hogy a vizsgált tárgyak esetében a bronzszál kialakítására más technológiai megoldást és eszközkészletet alkalmaztak. Ennek kiderítését talán lehetővé teszi annak vizsgálata, milyen további jelenségek figyelhetők meg a vizsgált tárgycsoporton, illetve hogy e jelenségek még milyen összefüggésekben fordulnak elő.

A hajszálrepedésektől porózus felületeken több alkalommal apró, lencse alakú bemélyedések (36. tárgy /1. tábla 23. kép /, 37. tárgy /1. tábla 22. kép, 11. tábla 6. kép /, 38. tárgy /1. tábla 24. kép, 11. tábla 4. kép /, 39. tárgy/1. tábla 16. kép /, 40. tárgy /1. tábla 15. kép /) láthatók. Két esetben (38. tárgy /1. tábla 24. kép, 11. tábla 4. kép /, 79. tárgy /5. tábla 30. kép /) pedig a tárgy mindkét oldalán megfigyelhető elszíneződés és repedés arra utal, hogy az anyag teljes vastagságát érintő jelenségről van szó. Ugyancsak két dróttekercsnél a bronzszál ellaposodik, lemezszerű (116. tárgy /5. tábla 6. kép /, 117. tárgy /5. tábla 4. kép /), s ugyanez figyelhető meg a fibulánál is (87. tárgy /5. tábla 27. kép /). Egy laposvéső végén az anyag jellegzetes túlnyúlása látható (37. tárgy /1. tábla 22. kép, 11. tábla 6. kép /), a szakállas horgon pedig kis lemezdarabkák (39. tárgy /1. tábla 16. kép /).

Az eddigi megfigyelések még mindig nem adnak egyértelmű választ a bronzszál készítésének módjára, ezért erre a kérdésre a leletegyüttes készítéséhez használt eszközkészlet ismeretében az összefoglaló részben kívánunk visszatérni.

B.) Többnyire rövid, végükön enyhén megvastagodó bronzszálak végén figyelhető meg, hogy a felület a középpont irányában sugarasan repedezett, a széleken pedig éles sorja van (7. tárgy /1. tábla 8. kép, 9. tábla 4. kép /, 10. tárgy /1. tábla 11. kép /, 81. tárgy /5. tábla 31. kép /, 119. tárgy /5. tábla 37. kép /). Egy tű kúpos fejének felső részén szintén sugárirányú hajszálrepedés látható.

A különböző elemek tartós egymáshoz rögzítésére ma is általánosan alkalmazott megoldás a szegecselés. Ennek az eljárásnak az a lényege, hogy a rögzítendő tárgyakat egymásra helyezik,

²⁴¹ Theophilus 1986. 115.

és az egy vagy több, közös tengelyen elhelyezkedő lyukon annál alig vékonyabb fémszálat húznak át. A fémszál végeit valamilyen módon ellapítják, így annak keresztmetszete megnő, és már nem fér át a lyukon, sőt, mivel a fémszál a tömörödés következtében rövidebb is lesz, az elemeket szorosan rögzíti egymáshoz. Gyakori, hogy a szegecs feje az egyenetlen tömörödés következtében sugarasan berepedezik, vagy szélén éles sorja képződik.

A ma is megfigyelhető hasonló jelenségek és a vizsgált darabok eredeti környezete - két esetben markolatrészen voltak - azt bizonyítja, hogy a végükön sugarasan repedezett fémszalakat szegecsnek használtak. Lényegében ugyanezt az eljárást használták, amikor a bemutatott tű fejét alakították ki. Ebben az esetben csak az egyik végen alakítottak ki szabályos formájú fejrészt, és nem tárgyak rögzítésére, hanem díszítésre használták.

Érdeemes a szegecsket közelebbről is megvizsgálni, hiszen még számos információt adhatnak. A késnyélben lévő darab 1,6 cm-es hossza elárulja a markolat eredeti vastagságát, a szorítógyűrű ovális alakja pedig keresztmetszetét is (10. tárgy /1. tábla 11. kép /). Az egyik kardtöredék markolat felőli végén két szegecs eredeti helyén maradt meg. Jól látható (7. tárgy /9. tábla 4. kép /), hogy a nyilvánvalóan nagy igénybevétel miatt a szegecs tapadását - s ezáltal a kötés erősségét - az egyik oldalon éles peremű, "V"-keresztmetszetű bemélyedésekkel növelték.

III.

Csak sarlók esetében figyelhető meg, hogy a penge és a nyélnyújtvány találkozásánál a külső oldalon lévő kiugró rész tetejét és a penge hátát egy darabon ellapították (43. tárgy /3. tábla 3. kép, 10. tábla 1-3. kép /, 44. tárgy /A /3 tábla.2. kép /, 45. tárgy /3. tábla 9. kép /, 46. tárgy /3. tábla 1. kép /, 48. tárgy /2. tábla 8. kép /, 49. tárgy /2. tábla 7. kép, 9. tábla 3. kép /, 50. tárgy /3. tábla 10. kép /, 51. tárgy /2. tábla 9. kép /, 52. tárgy). Ennek az ellapított támadási felületnek az elhelyezkedése azt mutatja, hogy a sarló nyújtványát valamibe beleverték. Mint már említettem, az öntési sorja a nyélnyújtványokon eldolgozatlan, márpedig a sarló így balesetveszélyes, használatra alkalmatlan. A sorjától éles szélek, az ugyancsak éles, egyenes vagy fordított "V" alakú végződés viszont megkönnyíti a sarló végének a fa rostjaiba való behatolását. Ez a praktikus ok tehát a magyarázat arra, hogy a sarlóknál csak a pengéreszen dolgozták el az öntési sorját, a nyélnyújtványon nem.

Mivel a nyélnyújtvány bordáin lévő bemélyedéseket a fanyél eltakarta, azok díszítőelemként nem funkcionálhattak, tehát ismét valami gyakorlatias okot kell keresni. A szegecs esetében már láttuk, hogy a nyél erősebb rögzítése érdekében a szegecs oldalának felületét durvították. A lényegyet tekintve tulajdonképpen a nyélnyújtványok bordáin lévő bemélyedések is hasonló jelenséget mutatnak, tehát nyilván hasonló célt akartak elérni: azt, hogy a sarló a használat során stabilan álljon, ne mozogjon a fanyélben.

A sarló nyelezésének most leírt módja természetesen csak a vizsgált típusra, sőt csak a konkrét darabokra vonatkozatható. Az teljesen egyértelmű, hogy más típusok esetében más a nyelezés módja is. Azonban még a formailag hasonló daraboknál is egy egészen kis eltérés - a nyélnyújtványon lévő kis lyuk - a nyél felerősítésének másságára utal. Az utóbbi esetben a sarló nyelét kétoldról borító farészt szegecseléssel rögzítették. Ezek az apró jelenségek utalhatnak más-más hagyományra, időszakra, területre, de az is előfordulhat, hogy egyetlen leletegyüttesen belül is keveredés figyelhető meg. A bonyhádi leletben a 40 db nyélnyújtványos sarlótöredék között mindössze egyen van lyuk a nyél rögzítése számára. A két típus egyidejűségét bizonyító bony-

hádi, valamint más, ságvári, badacsonytomaji sarlók területi szempontból azonban csak a szabályt erősítő kivételek. A nyélnyújtványon átlukasztott sarlók előfordulása a Kárpát-medencében csupán Északkelet-Magyarországon általános - számuk azonban itt is alatta marad a lyuk nélküli példányokénak.

Európában az urnamezős kultúra területén kívül a nyélnyújtványukon átlukasztott példányok az általánosak. Az ott előkerült, homokkőből faragott öntőminták felépítése is mutatja, hogy itt nemcsak a nyél eltérő módon történő rögzítéséről, de valójában egy alapjaiban is különböző fémműves-hagyományról van szó.

A vízalatti régészeti feltárások során a számos szervesanyagból készült lelet között egy sarlónyel fa részének egyik oldala is előkerült. Ez a tárgy ugyancsak átlukasztott nyélnyújtványra volt rögzíthető, de a markolatrész kidolgozottsága valószínűleg a másik típus esetében is hasonló lehetett. A megtalált markolatfőredéken külön bemélyedést vájtak az ujjak számára és a kéz élének, így biztosítva a szerszám kényelmes, de mégis erős fogását. Ez a pontosan kézhez simuló forma viszont feltételezi, hogy nyelezéskor figyelembe vették a majdani használó személyét, kifejezetten egy ember számára nyelezték be a sarlót - mindig jobbkezesre.

IV.

A.) A leletegyüttesben a leggyakrabban előforduló jelenségek a legkülönbözőbb tárgyak felületén megfigyelhető lencse alakú bemélyedések, melyeknek mérete, sűrűsége, sőt formája (ovális, kerek) változó (2. tárgy/1. tábla 2. kép, 8. tábla 3. kép /, 7. tárgy /1. tábla 8. kép, 9. tábla 4. kép /, 8. tárgy /1. tábla 9. kép /, 9. tárgy /A/1. tábla 10. kép /, 10. tárgy /1. tábla 11. kép /, 20. tárgy /13. tábla 2. kép /, 25. tárgy /13. tábla 1. kép /, 36. tárgy /1. tábla 23. kép /, 38. tárgy /1. tábla 24. kép, 111. tábla 4. kép /, 39. tárgy /1. tábla 16. kép /, 40. tárgy /1. tábla 15. kép /, 41. tárgy /3. tábla 5. kép /, 42. tárgy /3. tábla 8. kép /, 43. tárgy /3. tábla 3. kép, 10. tábla 1-3. kép /, 44. tárgy /A/3. tábla 2. kép /, 46. tárgy /3. tábla 1. kép /, 47. tárgy /2. tábla 9. kép, 3. tábla 7. kép /, 48. tárgy /2. tábla 8. kép /, 50. tárgy /3. tábla 10. kép /, 51. tárgy /2. tábla 9. kép /, 53. tárgy /3. tábla 6. kép /, 60. tárgy /2. tábla 6. kép /, 83. tárgy /5. tábla 36. kép /, 94. tárgy /6. tábla 9. kép /, 145. tárgy /9. tábla 1. kép /, 167. tárgy /7. tábla 1. kép /, 169. tárgy /7. tábla 3. kép /, 172. tárgy /7. tábla 6. kép, 11. tábla 5. kép, 7. kép /).

Az, hogy a vizsgált jelenség eltérő technológiával készített, más-más típusú tárgyakon és a tárgyak eltérő helyén nagy gyakorisággal fordul elő, önmagában is azt bizonyítja, hogy valamely sűrűn használt szerszámtól származik. A felületbe lencseszerűen bemélyedő nyomok egyértelműen tompa fémmegmunkáló szerszámra utalnak. A leletegyüttesekben kerültek is elő ilyen szerszámok: a tokos kalapácsok.

A kalapácsütésektől származó jellegzetes nyomok, a lencse alakú bemélyedések nagysága, mélysége nem a szerszám méretétől, sokkal inkább az ütés erősségétől és sűrűségétől függ. Jól látható, hogy pl. a sarló pengéjén, ahol a kalapácsnyomok sűrűn vannak, a bemélyedések sekélyek (43. tárgy/3. tábla 3. kép, 10. tábla 1-3. kép /), míg a lándzsahegy köpűjén látható néhány bemélyedés nagyobb és mélyebb (2. tárgy/1. tábla 2. kép, 8. tábla 3. kép /), pedig lehet, az erőbehatás mindkét esetben ugyanakkora volt. A tárgyak egy része csoportosítható a kalapácsnyomok elhelyezkedése alapján.

A sarlók, tokos balták esetében többször megfigyelhető, hogy a lencse alakú bemélyedések az élrész közvetlen közelében vannak. Különösen jól láthatók a kalapácsnyomok az előbb említett sarló nagyított felvételein (43. tárgy /10. tábla 1.,3. kép /). A penge éle felé sűrűsödő bemélyedések elhelyezkedése egyértelműen arra utal, hogy ezek a nyomok valamilyen módon a sarló élezésével függnek össze. A sarlóknál most már ritkábban, de a kaszáknál élezéskor a penge szélét ma is apró, de határozott kalapácsütésekkel először nyújtják, vékonyítják, végül pedig egy érdes felületű kővel a sorját eltávolítják - megélezzik a szerszámot. A kaszapengéken ugyanazok a nyomok figyelhetők meg, mint a vizsgált sarlókon. A nyomok hasonlósága és az ésszerűség megkövetelte praktikum alapján nyilvánvaló, a bronzkori sarlókat is az elmondott módon élezték.

Az, hogy más tárgytipusok esetében is az él közelében figyelhető meg a kalapácsütések nyoma (25. tárgy /13. tábla 1. kép /; 36. tárgy /1. tábla 23. kép /), azt mutatja, ez egy általános eljárás volt, amelyet tárgytipustól függetlenül használtak élezésre.

A lencse alakú bemélyedések előfordulása a törésfelületek, repedések közelében is gyakori, különösen a vastagabb falú tárgyaknál. Ezekben az esetekben a kalapácsütések nyoma nagy, mély, és csak néhány figyelhető meg a tárgyon (8. tárgy /1. tábla 9. kép /, 172. tárgy /7. tábla 6. kép, 11. tábla 5., 7. kép /).

A kalapácsnyomok közelében több esetben éles peremű, "V"-keresztmetszetű bemélyedések, az egyik oldalon felgyűrődő törésfelület, vagy apró, hosszirányú hajszálrepedésektől porózus felület látható. A jelenség pontosabb értelmezésére a többi nyom értékelése után térek ki.

A bronzszázból és lemezből készített tárgyak felületén általában sűrű, apró kalapácsnyomok figyelhetők meg. Nyilvánvaló, hogy ez a jelenség közvetlenül a drót- és lemeztárgyak megmunkálásával függ össze, ezért erre ugyancsak a későbbiekben térünk vissza.

B.) A vizsgált tárgyaknál számos esetben látható, hogy az eszköz anyaga valamilyen ok miatt túlnyúlik a tárgy anyagának eredeti síkján (8. tárgy /1. tábla 9. kép /, 16. tárgy /1. tábla 12. kép /, 25. tárgy /13. tábla 1. kép /, 44. tárgy /A./3. tábla 2. kép /, 53. tárgy /3. tábla 6. kép /, 56. tárgy /2. tábla 2. kép /, 59. tárgy /2. tábla 5. kép /, 65. tárgy /2. tábla 16. kép /, 67. tárgy /2. tábla 15. kép /, 69. tárgy /2. tábla 21. kép /, 70. tárgy /2. tábla 13. kép /, 71. tárgy /2. tábla 22. kép /, 73. tárgy /2. tábla 20. kép /, 74. tárgy /2. tábla 18. kép /, 76. tárgy /2. tábla 11. kép /, 90. tárgy /6. tábla 23. kép /, 91. tárgy /6. tábla 12. kép /, 100. tárgy /6. tábla 11. kép /, 103. tárgy /6. tábla 14. kép /, 146. tárgy /4. tábla 11. kép /, 148. tárgy /4. tábla 13. kép /, 150. tárgy /4. tábla 12. kép /, 151. tárgy /4. tábla 16. kép /, 153. tárgy /4. tábla 15. kép /, 168. tárgy /7. tábla 2. kép /). A jelenség csak részben köthető egyes tárgycsoportokhoz. Legtöbbször eszköztípustól függetlenül, törésfelületek közelében figyelhető meg.

Néhány bronzszázból készített tárgy végén az anyag túlnyúlásának egy sajátos formája figyelhető meg: csak a felületi részek nyúlnak körben túl a fémszál belső részén. Különösen jól megfigyelhető ez az egyik laposvéső végéről készített nagyításon (37. tárgy /11. tábla 6. kép/). Az, hogy körben csak a felület nyúlik túl a belső részeken, egyértelművé teszi, hogy itt valamilyen, a felület nyúlását okozó megmunkálásról van szó. A munkafolyamat eszközére mutat a vésőn látható sok kalapácsnyom. (Egyébként hasonló, csak oldalirányú túlnyúlás a szegecsek fejrésze is, amit szintén kalapáccsal alakítottak ki.) Nem elhanyagolható jelenség az sem, hogy a véső

egész felülete hosszirányú hajszálrepedésektől porózus. Ez szintén a bronzszáלבól készített tárgyakra jellemző.

A bronz meleg megmunkálása esetén a többszöri hevítés lehetővé teszi a szövetszerkezet folytonos újrendeződését és fokozatos alakulását, így a fémtárgy teljes keresztmetszetében egyenletesen nyúlik. A hidegen kalapált fém esetében viszont nincs mód a szövetszerkezet újrendeződésére, ezért a felszínhez közelebbi részek fokozottan tömörödnek, ill. nyúlnak. Ha a szövetszerkezetet hevítéssel nem rendezik, egy idő után már nem lesz képes elviselni a terhelést, megszűnik összetartó ereje, s ez repedés formájában jelenik meg a tárgyon.

Mint látható a vizsgált vésőn mind a két jelenség: a felszíni részek túlnyúlása a végén, továbbá a felszín repedezettsége is megfigyelhető. Ebből logikusan következik, hogy a hajszálrepedésektől porózus felszín, és a kalapácsnyomok más tárgyak esetében is a bronzszál hidegen való megmunkálására utalnak.

Az egyik tokos balta élének oldalán is jól megfigyelhető az anyag túlnyúlása az eredeti síkon (25. tárgy/13. tábla 1. kép/). Ugyanezen darab élén az élezés fentebb leírt eljárásához kapcsolódó kalapácsnyomok is szembeűnőek. Nyilvánvaló, hogy ez esetben az él keményebbé, tartósabbá tétele érdekében tömörítették a balta anyagát, s ez okozta túlnyúlását.

Repedt, törött tárgyaknál gyakori az anyag túlnyúlása a törési felület egyik szélén (8. tárgy /1. tábla 9. kép /, 16. tárgy /1. tábla 12. kép /, 44. tárgy /A /3. tábla 2. kép /, 53. tárgy /3. tábla 6. kép /, 56. tárgy /2. tábla 2. kép /, 59. tárgy /2. tábla 5. kép /, 65. tárgy /2. tábla 16. kép /, 67. tárgy /2. tábla 15. kép /, 69. tárgy /2. tábla 21. kép /, 70. tárgy /2. tábla 13. kép /, 71. tárgy /2. tábla 22. kép /, 73. tárgy /2. tábla 20. kép /, 74. tárgy /2. tábla 18. kép /, 76. tárgy /2. tábla 11. kép /, 90. tárgy /6. tábla 23. kép /, 91. tárgy /6. tábla 12. kép /, 100. tárgy /6. tábla 11. kép /, 103. tárgy /6. tábla 14. kép /, 146. tárgy /4. tábla 11. kép /, 148. tárgy /4. tábla 13. kép /, 150. tárgy /4. tábla 12. kép /, 146. tárgy /9. tábla 11. kép /, 150. tárgy /4. tábla 12. kép /, 151. tárgy /4. tábla 16. kép /, 153. tárgy /4. tábla 15. kép /, 168. tárgy /7. tábla 2. kép /).

Tűzetesebb vizsgálat után azonban jól látható, hogy itt valójában nem az anyag felszínének nyúlásáról, hanem sokkal inkább az egyik oldalra való felgyűródéséről van szó. A felgyűródött, az anyag eredeti síkjából kiálló törési szél sokkal élesebb, mint a másik. Hasonló jelenség a hajlítgatással eltört lemezeknél, drótoknál figyelhető meg. A vizsgált esetekben nyilván szintén az anyag többszöri hajlítgatásával törték el a tárgyakat, mint az az egyik lemeznél látható (153. tárgy /4. tábla 15. kép /). Az ilyen törésfelületek közelében gyakran található kalapácsnyomok és éles, határozott peremű "V"-keresztmetszetű bemélyedések is.

C.) Egyenes vonalú, "V"-keresztmetszetű bemélyedések éles, határozott peremmel, ill. esetenként ezeknek csak egyik felét jelző kis ferde síkok - anyagtípustól függetlenül - öntött, bronzszáלבól és lemezből készített tárgyakon egyaránt előfordulnak (8. tárgy /1. tábla 9. kép/, 9. tárgy /A/1. tábla 10. kép /, 46. tárgy /3. tábla 1. kép /, 61. tárgy /2. tábla 26. kép, 12. tábla 1. kép /, 62. tárgy /2. tábla 25. kép /, 63. tárgy /2. tábla 23. kép /, 65. tárgy /2. tábla 16. kép /, 66. tárgy /2. tábla 19. kép /, 67. tárgy /2. tábla 15. kép /, 70. tárgy /2. tábla 13. kép /, 71. tárgy /2. tábla 22. kép /, 72. tárgy /2. tábla 12. kép /, 81. tárgy /5. tábla 31. kép /, 83. tárgy /5. tábla 36. kép /, 87. tárgy /5. tábla 27. kép /, 95. tárgy /6. tábla 15. kép /, 112. tárgy /6. tábla 1. kép /, 146. tárgy /4. tábla 11. kép /, 147. tárgy /4. tábla 10. kép /, 148. tárgy /4. tábla 13. kép /, 149. tárgy /4.

tábla 17. kép /, 150. tárgy /4. tábla 14. kép /, 158. tárgy /4. tábla 18. kép /, 159. tárgy /4. tábla 20. kép /, 163. tárgy /4. tábla 28. kép /, 172. tárgy /7. tábla 6. kép, 11. tábla 5., 7. kép /, 173. tárgy /7. tábla 5. kép /).

Az, hogy a vizsgált jelenség eltérő technológiával készített, más-más típusú tárgyakon, illetve a tárgyak eltérő helyein nagy gyakorisággal fordul elő, önmagában is azt bizonyítja - akár csak a kalapács esetében -, hogy valamely sűrűn használt szerszámtól származik. A felületbe mélyedő, egyenes vonalú, "V"-keresztmetszetű bemélyedések éles, határozott peremmel egyértelműen éles, egyenes élű fémmegmunkáló szerszámra utalnak. A leletegyüttesben ilyen szerszámok a vésők (36. tárgy /1. tábla 23. kép /, 37. tárgy /1. tábla 22. kép, 11. tábla 6. kép /, 38. tárgy /1. tábla 24. kép, 11. tábla 4. kép /).

Repedések, törésfelületek közelében a vésőnyomok gyakran kalapácsnyomokkal és hajlítgatásra utaló törésfelülettel együtt figyelhetők meg. Kézenfekvő a megoldás, hogy a tárgyak darabolásához - különösen a vastagabbaknál - vésőt használtak. Néhány tárgyat csak ez egyik oldalon vágta be a vésővel (95. tárgy /6. tábla 15. kép /). A kigyengített anyagot utána addig hajlítgatták, míg el nem tört. A vastagabb tárgyakat kézzel már nem tudták meghajlítani, ezeknél kalapáccsal segítettek.

A szerszámnyomok alapján ez utóbbi eljárás nagyon jól követhető egy 3,5 cm vastag, nyolcszögű rúdon (172. tárgy/7. tábla 6. kép, 11. tábla 5., 7. kép /). Jól látható, hogy a rudat először vésővel körben mélyen bevagdalták, majd kalapáccsal letörték a kiválasztott részt. Egy sarló nyelnyújtványának bordáján szintén megfigyelhetők egyenes vonalú, "V"-keresztmetszetű bemélyedések éles, határozott peremmel (46. tárgy /3. tábla 1. kép /). Erről a sarló nyelezésével kapcsolatosan fentebb már részletesen szóltam.

A fűrészlapok élrészén a fogak között mindig "V"-keresztmetszetű, vésőtől származó bemélyedés van (61. tárgy/2. tábla 26. kép, 12. tábla 1. kép /, 62. tárgy/2. tábla 25. kép /, 63. tárgy/2. tábla 23. kép /, 64. tárgy/2. tábla 24. kép /, 65. tárgy/2. tábla 16. kép /, 66. tárgy/2. tábla 19. kép /, 67. tárgy/2. tábla 15. kép /, 64. tárgy/2. tábla 24. kép /, 68. tárgy/2. tábla 14. kép /, 69. tárgy/2. tábla 21. kép /, 70. tárgy/2. tábla 13. kép /, 71. tárgy/2. tábla 22. kép /, 72. tárgy/2. tábla 12. kép /, 73. tárgy/2. tábla 20. kép /, 74. tárgy/2. tábla 18. kép /).

A fűrészfogak egy síkban állnak, hegyük viszonylag tompa. Azonban az ép élrészeken jól látható, hogy a lemezre merőlegesen beütögetett véső nyomán az oldalakon megjelenő egyforma szélességű, éles sorját nem távolították el (61. tárgy /12. tábla 1. kép /).

A sorja szabályossága, élessége nyilvánvalóvá teszi, hogy ez töltötte be a vágóél szerepét, és ez biztosította a szorulásmentes fűrészeléshez szükséges nyomszélességet. Ebből következik, hogy újraélezéskor a fűrészlap élét nem hajtogatták, hanem a fogak közötti mélyedéseket vésővel tovább mélyítették, míg megfelelő szélességű sorját nem kaptak.

A felületi díszítések esetében különösen lemeztárgyakon gyakori a vésőnyommal való díszítés (81. tárgy /5. tábla 31. kép /, 87. tárgy /5. tábla 27. kép /, 95. tárgy /6. tábla 15. kép /, 146. tárgy /4. tábla 11. kép /, 149. tárgy /4. tábla 17. kép /, 150. tárgy /4. tábla 14. kép /, 153. tárgy /4. tábla 15. kép /, 158. tárgy /4. tábla 18. kép /, 159. tárgy /4. tábla 20. kép /, 160. tárgy /4. tábla 19. kép /, 162. tárgy /4. tábla 21. kép /, 163. tárgy /4. tábla 28. kép /). A lemezből hajlított

csövecskéken egymástól azonos távolságra többször beütötték az eszközt. A fibula lemezének és a tű fejének szélét ugyanígy, csak sűrűbben és ferdén díszítették.

Egyenes élű véső azonos irányban való beütögetésével egyenes, vagy fokozatosan ívelő vonalat is tudtak készíteni. A véső éle irányának változtatásával szögben törő alakzatokat is elő tudtak állítani. A véső beütögetésével kialakított minták változatossága különösen jól látható az egyik apró, finom mintákkal gazdagon díszített lemeztöredéken (150./4. tábla 14. kép /).

D.) A felületet díszítő, kis kerek pontsorok szintén leginkább lemeztárgyakon fordulnak elő, gyakran vésőnyomokkal együtt (87. tárgy/5. tábla 27. kép /, 147. tárgy /4. tábla 10. kép /, 150. tárgy /4. tábla 14. kép /, 152. tárgy /4. tábla 12. kép /). Ez utóbbiból és a zömében körkörös "V"-keresztmetszetű kis bemélyedésekből is nyilvánvaló, hogy ezekben az esetekben egy vésőhöz hasonló eszközt használtak, melynek vége nem élben, hanem hegyben végződik. Ilyen szerszám a poncoló. A poncoló hegyének alakjától, a beütés erősségétől függően szintén változatos mintákat lehet kialakítani. A fibula hátán például hullámvonalban futó, egészen apró, nyilván hegyes poncolóval készített díszítés látható (87. tárgy/5. tábla 27. kép/). Az egyik lemezkarperecen viszont a nagy, mély nyomokat hagyó tompa szerszámot olyan erővel ütötték be, hogy az kidomborodások formájában a túoldalán is látható (152. tárgy /4. tábla 12. kép/).

E.) A szegecslyuk egyik előfeltétele a tárgyak egyes részleteinek szegecseléssel történő egymáshoz rögzítésének. Magáról a szegecselésről fentebb már volt szó, ezért most csak a szegecslyukak elhelyezkedését, környezetét vesszük szemügyre.

Szegecslyukak a leletegyüttesen belül gyakrabban fordulnak elő öntött tárgyakon (7. tárgy/1. tábla 8. kép, 9. tábla 4. kép /, 10. tárgy/1. tábla 11. kép /, 11. tárgy/1. tábla 13. kép, 8. tábla 4. kép /, 12. tárgy/1. tábla 17. kép/, 13. tárgy /1. tábla 19. kép/, 17./1. tábla 20. kép/, 145. tárgy /9. tábla 1. kép/). A késnyeleken és kardpenge végén található szegecslyukak elhelyezkedéséből nyilvánvaló, hogy a lyukaknak a nyélrész rögzítésében volt szerepük.

Öntvényekről lévén szó felmerül a kérdés: mikor és mivel készítették ezeket a szegecslyukakat. A markolatoknál jól megfigyelhető, hogy az azonos méretű lyukak mindegyikének pereme az egyik oldalon ívelt, az öntvény anyaga sértetlen. Az egyik kétrészes mintában öntött nyéltöredéknél a lyukak oldalán szabálytalan szélű, eldolgozatlan sorja van (11. tárgy /1. tábla 13. kép, 8. tábla 4. kép/). Ebből arra lehet következtetni, hogy a lyuk helyét az öntőmintában lévő kis kerek kiemelkedés, vagy egy apró dugó segítségével már az öntéskor kihagyták. A szegecslyuk másik oldalán viszont legtöbbször körben éles sorja van. Ez arra utal, hogy a szabályos formájú, azonos lyukátmérő elérésére utólag a szegecslyukba az eseteleges hibák eltüntetésére az egyik oldalról egy enyhén kúpos, kerek átmérőjű szerszámot ütöttek.

Egy nagyméretű, összehajtogatott lemezdarab egyik szélén keskeny, anyagvastagságnyi lépcsővel elkülönülő sáv van (145. tárgy /9. tábla 1. kép/). Ezen a színben is elütő részen több szegecslyuk látható. A lemez a lyukak szélén, a külső oldalon behorpad, belsejében pedig sugárirányban repedezett, oldalra lekalapált sorja figyelhető meg. A sorja visszahajtogatva betakarná a lyukat - amiből adódik a következtetés: a lemezt egy hegyes, kör keresztmetszetű szerszámmal lyukasztották ki a szegecs számára. A lemez szélén elhelyezkedő anyagvastagságnyi lépcső és az itt található szegecslyukak egyben arra is felhívják a figyelmet, hogy eredetileg két lemezt erősítettek egymáshoz. Az eredeti helyén megmaradt szegecs feje a belső oldalon hiányzik. A külső

oldalon meglévő fej azonban jól mutatja, hogy a szegecsként használt 0,4 cm átmérőjű bronzsál végét az anyag síkjába, 1 cm átmérőjűre lapították.

V.

Eszközöknek az eredetitől eltérő célra történő átalakítása konkrét nyomok alapján csak két esetben figyelhető meg a leletgyűttesben.(9. tárgy /A/2. tábla 3. kép/, 58. tárgy /2. tábla 3. kép/). Egy kétélű, letört hegyű törpenge egyenes végét kalapácsütésekkel ellapították, megélezték. Tompa végével szúróeszközként törnek a továbbiakban már nem lehetett használni, de élfeületei vágásra tovább is alkalmasak maradtak.

A másik esetben sarlópenge töredékén figyelhető meg szabályos fűrészfogazás. Mint már említettem, a fogakat kísérő éles sorja biztosította a megfelelő vágási nyom szélességét, a szorulásmentes fűrészeléset. A sarlópenge merevítőbordája azonban olyan vastag, hogy a vágás szélességét annyira már nem lehet megnövelni - tehát csak a bordáig, mintegy másfél cm mélységig lehetett vele vágni. Ez azt mutatja, hogy egy vastagabb anyagot nem tudtak vele keresztülvágni. Mégsem választottak egy vékonyabb, például késpengét, a sarlópengét is alkalmasnak tartották fűrész készítésére. Ez azt bizonyítja, hogy a vastagabb anyagoknak csak a felületét fűrészelték be, majd eltörték. Ez az eljárás a nyomok alapján különösen jól követhető a csont- és agancs-nyersanyagokon, félkész tárgyakon.

3.3. A MŰSZERES ARCHAOMETALLURGIAI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSE

A leletek értékelése a csiszolatok alapján

A regöly-veravári leletgyűttes tárgyaiból készített csiszolatok elemzése alapján vizsgált eszközök:

I. - öntött állapotú tárgyak

- öntött, lassan hűtött eszközök
- öntött, gyorsan hűtött eszközök
- öntőlepenyek

II. - öntött, hidegen megmunkált tárgyak

III. - megmunkált, hőkezelt tárgyak

- hőkezelés után megmunkált eszközök
- megmunkálás után hőkezelt eszközök

I. Öntött állapotú tárgyak

A mikroszkóp alatt is vizsgált tárgyak jelentős részénél megfigyelhető volt az eredeti, öntött szövetszerkezet, de ez az anyagszerkezetet az utólagos megmunkálás során csak egy részüknél maradt változatlan. Két kis lemezdarab esetében is sikerült megfigyelni az öntésre utaló szerkezetet. A lekerekített végű, mindkét oldalán lyukas 154. számú lemezcsík metszetén a poliéderesen kristályosodott szemcsék utalnak a tárgy öntésére. A másik, szabálytalan alakú,

három oldalán beolvadt szélű, 168. számú lemeztöredék esetében pedig az őskori tárgyaknál leginkább megszokott, dendrites kristályosodás nyomai láthatók: az alfa-fázisú dendritágak között jelentősebb mennyiségű alfa+delta eutektoid szigetecskék találhatók. /58. tábla 2. kép/ Az azonban különösen érdekes, hogy a felszínen is kirajzolódó dendrites szerkezetnél a krisztallitok határánál szintén kisebb mennyiségű ónbő kiválás figyelhető meg. /58. tábla 1. kép/ Ez a jelenlét feltehetően összefügg azzal, hogy - mint azt a lemez "beolvadt", az öntőformában nem teljesen megömlött széle is mutatja - a felület hűlése az öntéskor lényegesen gyorsabb volt, mint a középső részé.

Azoknál a tárgyaknál, melyeknél a csiszolatok alapján egyértelműen látható, hogy öntéssel állították elő, csak egy esetben találtunk arra mutató jeleket, hogy a hűtés viszonylag gyorsan zajlott le. A veravári kincselet 111. számú karikájának metszetén jellegzetes dendrites szövetszerkezetben az apró alfa-dendritágak meglehetősen kisméretűek, s a köztük lévő alfa+delta eutektoid is meglehetősen kevés. /55. tábla 2. kép/ Az öntvény szokásosnál gyorsabb hűlését tudatos vagy véletlenszerű beavatkozás is okozhatta. Gyors hűlést okozhat például a nem teljesen előmelegített kerámia-, homok- vagy homokkő öntőforma, vagy a fémforma alkalmazása.

Az öntött tárgyakon belül az öntőleplenyek (174., 177., 178., 181., 184., 185., 186. tárgyak) metszetein általában csak nehezen vehető ki a viszonylag apró szemcsék határa. Többnyire csak a helyenként megfigyelhető egy-két kisebb elszíneződés és a vas elszórtan jelentkező sötétszürke foltjai utalnak a szennyezőanyagok jelenlétére. Az öntőleplenyek öntése - egyenesebb oldalukon a gázbuborékoktól erősen hólyagos felületük, pórusos szerkezetük tanúsága szerint - rendszerint sajátos körülmények között, nem zárt formákban történt.

II. Öntött, hidegen megmunkált tárgyak

Az öntött tárgyak között a vizsgált minták alapján a hidegen megmunkált eszközök nagyobb arányban fordulnak elő. Ez a fajta megmunkálás általában csak a tárgy egy részét érinti - legtöbbször az élet. Tőr (9. tárgy), tokosbalta (21. tárgy), és főként sarló (46-47. tárgy, 54. tárgy) esetében figyelhető meg ez az eljárás. Ezeknél a csiszolatoknál szinte minden esetben megfigyelhető, hogy a tárgy keresztmetszetének szélesebb részein - például a kés hátánál /23. tábla 1. kép/, a köpű pereménél /30. tábla 1. kép /, a sarló merevítőbordájánál/32. tábla 1-2. kép, 33. tábla 1. kép, 35. tábla 1-2. kép, 36. tábla 2. kép / megmaradt az eredeti dendrites vagy poliéderezesen kristályosodott szövetszerkezet, az élrész közelében pedig hosszán elnyújtott, erősebben korrodált krisztallitok láthatók /23. tábla 2. kép, 30. tábla 2. kép, 34. tábla 1-2. kép/. A dendritágak közötti alfa+delta-eutektoid kis mennyisége minden esetben alacsony öntartalomra utal. (Egyetlen tárgyon belül is jól látható, hogy a kristályosodás gyakran eltérő módon, a vastagabb részekben dendritesen, a vékonyabbakon pedig inkább poliéderezesen zajlott le /35. tábla 1-2. kép, 37. tábla 1. kép/.)

A hideg megmunkálás nyomait az él tömörítésén kívül olyan esetekben is megfigyelhetjük, amikor nyilvánvalóan nem a szövetszerkezet átalakítása, az anyag tulajdonságainak megváltoztatása volt a cél. Gyakran csak valamilyen egyéb munkafolyamat másodlagos kísérőjelenségeként számolhatunk ezzel a változással. A sarlóknál például gyakran visszatérő jelenség, hogy az ívelt penge és a nyélnyújtvány találkozásánál a külső oldalon egy kis kiugró rész van, melynek felső részét - és közelében a sarló hátát is egy darabon - ellapították. A lapos részekben többnyire apró, lencse alakú bemélyedések, szélein pedig az anyag síkján túlnyúló, repedezett sorja látható. Az

erről a részről vett minta képén jól megfigyelhető a tömörödött szövetszerkezet, melynek átalakulása a felszín közelében jelentős, a belső részek felé azonban fokozatosan csökken /37. tábla 2. kép/.

III. Megmunkált, hőkezelt tárgyak

A megvizsgált bronzok döntő többsége megmunkált, hőkezelt tárgy volt. A hőkezelést követően újra megmunkált tárgyak között kés (10. tárgy, 17. tárgy), tű (77. tárgy), hegy töredéke (79. tárgy), fibula töredéke (88. tárgy) és bronzszál egyaránt található.

Különösen a kisméretű /41. tábla 1-2. kép, 43. tábla 1-2. kép/ ikerkrisztallitok mutatnak arra, hogy a tárgyak anyagául szolgáló bronzot gyakran többszöri hőkezelés során nyújtották el a kívánt méretre, s a hőkezeléssel és gyors hűtéssel feszültségmentesített, viszonylag lágy anyagot már csak a hegyes vagy élezett részén kalapálták - meglehetősen keményre. Ezzel a folyamattal a bronz nyersanyagból az alacsony óntartalom ellenére hőkezeléssel, majd egy záró tömörítéssel ideális szerkezetű, gyakorlatilag homogén alfa-kristályokból álló szövetű, kiváló keménységű - de mégsem rideg - anyagot hoztak létre (10., 17., 87. tárgyak)/53. tábla 2. kép/. Különösen a bronzszálból készült tárgyak metszetein figyelhető meg, hogy a különböző helyről vett minták eltérő képet mutatnak. Egy tű (80. tárgy) száránál például jellegzetes, egyenes vonalak mellett hasadt ikerkrisztallitokat láthatunk, s ez azt mutatja, hogy a hőkezelés után már nem munkálták tovább /44. tábla 2. kép/. Az ellapított fej metszetén látható, elnyújtott krisztallitok azonban jól jelzik az ezen részen történt, hőkezelés utáni megmunkálást.

A hőkezelt tárgyaknál gyakori kísérőjelenség, hogy - amint az a felszínről készített mikroszkópi felvételeken is jól látható - a krisztallithatárokon jellegzetes formájú ónbő kiválás alakul ki, mely hálószerűen szinte az egész felületet elborítja /40. tábla 1-2. kép/.

A megmunkálás után hőkezelt tárgyaknál a csiszolatokon látható, egyenes vonalak mentén hasadt ikerkrisztallitok megjelenése jelzi a feszültségmentesítő eljárást. (63., 82., 89., 92., 112., 124., 130., 149. tárgyak) A homogenizálás eredményessége - mint az a metszetekből is kiderül - meglehetősen eltérő. Egy fűrészlap-élrész (63. tárgy) 400x-os nagyításánál például az ikerkrisztallitok egymástól távoli, szétszórt elhelyezkedése arra utal, hogy a hőkezelés során nem volt teljes az újrakristályosodás, nem jött létre egy homogén alfa-szövet./38. tábla 2. kép/ A hőkezelés viszonylag alacsony hőmérséklete és rövid időtartama, valamint a hűtés nagy sebessége révén egy lágy, további feldolgozásra alkalmas félkészterméket hoztak létre. Ez különösen fontos volt a különböző célra felhasználható bronzszálak esetében. A bronzszálakra jellemző szövetszerkezet jól nyomon követhető egy drótspirál töredékéből készített csiszolaton (130. tárgy) /56. tábla 2. kép/. A metszet 400x-os nagyításánál szembeűnőek az egyenes vonalak mentén kialakult ikerkrisztallitok, továbbá a szélek közelében kivált, eltérő szerkezetű, sárgás-színű ónbő réteg is /57. tábla 1-2. kép/. A változó, 40-100 mikron méretű ikerkrisztallitok egy közepesen tömörített, viszonylag lágy, további hidegmegmunkálásra alkalmas alapanyagra vallanak. Egy összeolvadt fibula esetében pedig az, hogy az ikerkrisztallitok határa az erős utólagos hőhatás ellenére enyhén hullámos maradt, arra utal, hogy az újrakristályosodás nem mindenütt ment végbe teljesen /50. tábla 1. kép/. Ennek oka feltehetően az volt, hogy a fibulát túl rövid ideig érő magas hőmérsékletet gyors hűtés követte. Ez a "hőkezelés" azonban ele-gendő volt ahhoz, hogy az alfa-kristályok közötti alfa+delta eutektoid maradéka is felolvadjon és megfolyjon, illetve hogy a bronzszál anyaga teljesen kilágyuljon. Ezt a folyamatot más tárgynál is megfigyelhetjük. Egy öntött bronz-

karika (90. tárgy) szövetszerkezetében az apró, poliédereken kristályosodott krisztallitok mellett - melyek az öntvény gyors hűlésére utalnak /51. tábla 2. kép/ - néhány ikerkrisztallit is látható. A metszet képe alapján látható, hogy a tárgy készítésekor az öntőformát nem melegítették elő, vagy gyorsan hűlő formát használtak. A néhány, elszórtan mutatkozó ikerkrisztallit pedig azt valószínűsíti, hogy a tárgyban egy erőbehatás rácsfeszültséget hozott létre, s ezután hőt kapott - vagy a felmelegített karikát munkálták meg. A külső élen 1,1 cm hosszan látható ellapított rész, a törésfelületek közelében a tárgy meghajlása, s a törési szél az egyik oldalon vastagabb, élesebb, az anyag eredeti síkjából való kiemelkedése is erre mutat. A homogenizálás azonban csak rövid ideig tartó és alacsony hőmérsékletű lehetett, mert a teljes átrendeződés nem zajlott le. A megfigyelt jelenségek és a tárgyból hiányzó rész tanúsága szerint az eredetileg öntött karikát darabolás előtt felmelegítették, majd a hiányzó részt letörték belőle.

Sajátos képet mutat azon lemezható fibula metszete (87. tárgy), melyen erősen nyújtott szövet látható, s egyben jól követhető az alakítás iránya is /47. tábla 1-2. kép, 48. tábla 1-2. kép/. A vizsgált anyagban egyedülálló szövetszerkezet arra utal, hogy a fibula alapanyagául használt bronzsál készítésekor a béta-fázis hőmérséklettartományából rendkívül gyors, vízzel való hűtéssel akadályozták meg az egyébként szokásos átalakulási folyamatot.

A megvizsgált tárgyak metszetein az ötvözet képe - egyéb, szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - minden esetben alacsony öntartalmú bronzra utal.

A vizsgált leletek értékelése az ötvözőanyag-tartalom alapján

A veravári kincslelet tárgyairól készített röntgenfluoreszcensz mikrospektrum-analízisek a csi-szolatok mikroszkópi képe alapján is levonható, az alacsony öntartalomra utaló következtetéseket támasztják alá. Az öntartalom minden esetben jóval az ón 14 % körüli oldódási küszöbe alatt van, amely egyben azt is jelenti, hogy az eszközök további megmunkálásra alkalmas ötvözetekből készültek. A tárgyak zöménél, különösen az egyszerűbb használati eszközöknél az XRF-analízis eredményei szerint az ón százalékos nagyságrendben van ugyan jelen, de a görbéről az is leolvasható, hogy csúcsa egészen kicsi, többnyire 3-4 %-os határérték alatt marad. Ezt támasztják alá a pásztázó elektronmikroszkóp-analízisek adatai is (47., 77. tárgyak). Némileg magasabb, 7%-körüli öntartalom figyelhető meg az egyszerű, öntött karikánál (90. tárgy), és gyakran a kalapált, hőkezelt bronzsálakból készült tárgyaknál is (112., 130., 87. tárgyak). A két tárgy típus öntartalma közötti hasonlóság - az egyéb jelenségekkel együtt - a bronzsálak készítéséhez használt nyersanyagok és a késő bronzkorban elterjedt karika alakú öntvények közötti összefüggés problémakörét is felveti.

A hőkezelt bronzok esetében gyakran eltérő szerkezetű és színű szövetszerkezet figyelhető meg a tárgy belsejében és felületén, illetve felületének közelében /56. tábla 2. kép, 57. tábla 1-2. kép/, mikroszkóp alatt pedig nem ritkán az egész felületet borító ónbő háló látható./40. tábla 1. kép / A jelenség pontosabb értékelésére több tárgynál külön is megvizsgáltuk a tárgy belsejében és a felületén mérhető ötvözőanyag-tartalom százalékos arányát. Egy tű (77. tárgy) és egy drótspirál (130. tárgy) töredékéből készített metszeteket pedig kifejezetten úgy készítettünk elő SEM vizsgálatra, hogy a felületből és a keresztmetszetből vett mintákat azonos feltételek mellett vizsgálhassuk. Az volt a célunk, hogy tisztázzuk: van-e az anyagösszetételben műszerekkel is mérhető különbség a mikroszkóppal látható jelenségek mögött, ha ugyanazt a tárgyat a kutatásban megszokott két alapvető eljárással egyszerre vizsgáljuk. A régészeti gyakorlatban különösen a felszínre korlátozódó, roncsolásmentes vizsgálatok, a metallurgiai gyakorlatban pedig inkább a

tárgyból vett, roncsolásos minták használata terjedt el. A vizsgálati minta előkészítése során arra külön ügyeltünk, hogy a két kis műgyantába ágyazott anyagminta pontosan azonos magasságban legyen, s így lehetővé váljon a felszín és a csiszolat révén a belső részek teljesen azonos paraméterek, azonos térben, azonos fókusz távolság stb. mellett történő vizsgálata.

Az átlag 3 % körüli óntartalmú bronzszáלבól készített tű töredéke a felszín vizsgálat alkalmával közel 20 % óntartalmat mutatott, amely a tényleges ón mennyiségének hatszorosa. A dróttekerics töredékének vizsgálatakor az ón felszíni kiválása kisebb mértékű volt ugyan, mint a tűnél, de a mért adatok még ott is a tényleges óntartalom többszörösét jelezték. A vizsgálatok tehát egyértelműen alátámasztották az ónbő felszínre vonatkozó mikroszkópi megfigyeléseket. Ez egyben azt is jelenti, hogy a főként a hőkezelt tárgyaknál előforduló felszíni ónkiválás miatt a régészeti leletek vizsgálatakor a csak a felszínt, illetve a felszínközeli rétegeket érintő roncsolásmentes vizsgálati eljárások mérési adatai fenntartással kezelhetők.

A megvizsgált régészeti leletekben a legtöbb esetben néhány tized százalékos arányban jelenlévő szennyezőanyagok - Fe, Zn, As, Pb, Sb, Ni - és a lemezható fibula (87. tárgy) elemzési eredményei egyértelműen a felhasznált alapanyag egységes, szulfidos eredetére utalnak.

Antimon csak egy nyelnyújtványos sarló esetében (47. tárgy) fordul elő százalékos nagyságrendben - ez azonban nem jellemző a többi munkaeszközre (mint ahogy az ugyancsak az ennél a tárgynál mért szokatlanul magas, 1,23 % Ni-tartalom sem), ezért ez inkább véletlennek tekinthető. Valószínűleg valamely, a sarló öntésekor másodlagosan felhasznált töredéknek lehetett magasabb antimontartalma.

Az ólom többnyire szintén csak tized százalékos nagyságrendben van jelen, de mint az a mikroszkópi felvételeken is látható, az ötvözet szövetszerkezetében elkülönülve, kis kékes-szürke foltok formájában /24. tábla 1. kép, 35. tábla 1. kép, 41. tábla 1-2. kép/. A drótspirál töredék egyik ikerkrisztallijának belsejében mért adatok jól mutatják, hogy az alfa fázisú szemcsében egyáltalán nincs feloldott ólom.(130. tárgy, GSS13.) A hőkezelt tárgyak esetében a kismennyiségű, oldatlan ólom még az ónnál is nagyobb mennyiségben, olykor szinte teljes egészében a felszínre vándorol, mint például a lemezható fibula esetében (87. tárgy, GSS36.), ahol a felszínen 25,25 %-os arányban mutatható ki. Más esetekben az ólom dúsulása a hőkezelt tárgyak felszínén az eredetihez képest tizenötszörös (77. tárgy) vagy akár majdnem százszoros (130. tárgy, GSS16.; GSS14.) is lehet. Ez egyben azt is jelenti, hogy a főként a hőkezelt tárgyaknál előforduló felszíni ólomkiválás miatt a régészeti leletek vizsgálatakor a csak a felszínt, illetve a felszínközeli rétegeket érintő roncsolásmentes vizsgálati eljárások mérési adatai - az ónkiváláshoz hasonlóan - csak fenntartással kezelhetők.

A vizsgált tárgyak többségében a vas ugyancsak tizedszázalékos nagyságrendben van jelen, de a hőkezelt bronzok felszínén a Fe-mennyiség valamelyes dúsulása figyelhető meg (70., 130. tárgyak, GSS16., GSS14.). Nagyobb arányú, 6 %-os felszíni vaskiválás csak egy esetben, a lemezható fibulánál mérhető (87. tárgy). A szövetszerkezetekről készített képek elemzése során a vastartalom magasabb, százalékos arányban mérhető mennyisége alapján külön csoportot alkottak az öntőlepenyek (174., 177-178., 181., 184-186. tárgyak). Ezeknél a tárgyaknál a röntgen-floureszcenz mikrospektrum-analízisek ábráin jól láthatók a 4 %-körüli vastartalmat jelző, határozott Fe-csúcsok, és a más tartományokban szinte teljesen sima görbe a jól mutatja a rendkívül alacsony, csak tizedszázalékokban mérhető óntartalmat.

Az elemzett tárgyak ötvözőanyag-tartalma a mikroszkóp alatt megfigyelt csiszolatok képének megfelelően - egyéb, tizedszázalékos nagyságrendben jelenlévő szennyezőknek tekinthető fémek jelenléte mellett - minden esetben alacsony öntartalmú bronzra utal. Ettől csak az öntőleplenyek összetétele tér el, melyeknél a vas aránya magasabb, 4 %-körüli, míg öntartalmuk egészen csekély. A fentiek alapján jól látható, hogy a régészeti bronzleletek vizsgálata során lényeges eltérés mutatkozik az összetétel-vizsgálatok adatainak arányai között a tárgyak megmunkálása, a vizsgálati eljárás és a mintavétel helyének függvényében.

A vizsgált leletek értékelése a keménységmérés adatai alapján

A tárgyak keménysége rendkívül széles skálán mozog: a meglehetősen alacsony 31,9 Hv értéktől (89. tárgy) annak közel tízszereséig, a 303 Hv keménységig (17. tárgy) terjedhet. A fém tulajdonságait, így a keménységét is, alapvetően az ötvözéssel és/vagy a szövetszerkezet megváltoztatásával lehet befolyásolni. A fentiekből kitűnik, hogy a vizsgált tárgyak összetételét tekintve nincs olyan jelentős eltérés, ami magyarázná a keménységi érték közel tízszeres nagyságú változását. Ez arra mutat, hogy a vizsgált régészeti leletek esetében a használhatóság mértékét meghatározó keménységet a szövetszerkezet átalakításával, hőkezeléssel, utólagos megmunkálással érték el. Ebből a szempontból vizsgálva a mért Hv-értékeket az adatok jól körülhatárolható, a csiszolatok mikroszkópi elemzése során is megfigyelt csoportokat mutatnak.

Az öntött állapotú tárgyak (111., 154., 168.) keménysége 32,5 Hv és 102,5 Hv érték között változik. A szövetszerkezet és az anyagösszetétel-elemzések különbsége alapján az eltérés főként a hűlés sebességével, s csak kisebb mértékben magyarázható a kristályosodás típusával. A dendritesen kristályosodott lemeztöredék (168. tárgy)/58. tábla 1-2. kép/ keménysége csupán 32,5 Hv, míg a 111. számú karika metszetén látható, meglehetősen kisméretű alfa dendritágakat és kis mennyiségű alfa+delta eutektoidot tartalmazó, gyorsabban hűlt szövetszerkezet/55. tábla 2. kép/ keménysége 102,5 Hv. A poliédresen kristályosodott lemezcsík (154. tárgy) szintén közel hasonló, 95,9 Hv keménységű. Az öntvények sajátos csoportját alkotó öntőleplenyek (174., 177-178., 181., 184-186.) keménysége pedig egészen szűk - 63,9-97,96 Hv - között mozog. A megmunkált tárgyak jó lehetőséget adnak egyetlen eszközön belül is a felhasznált alapanyag és a megmunkált rész keménysége közötti eltérések vizsgálatára. A hidegen megmunkált tárgyaknál, például a sarlónál (47. tárgy) az öntött alapanyag 92,3 Hv keménységét az él tömörítésével 126,3 Hv-re növelték, míg a szintén megkalapált háton csak 112,6 Hv értéket lehet mérni. A tokosbalta (21. tárgy) élén pedig az eredeti, 68,1 Hv keménységű alapanyagot 168,1 Hv-re növelték. A vizsgált tárgyak körében a használhatóságot leginkább egy tör esetében sikerült megnövelni, ahol a merevítőborda 78,4 Hv keménységével szemben az él széle 177 Hv keménységű. A mért adatok alapján úgy tűnik, hogy a hidegen megmunkált tárgyak keménységi értékének felső határa valahol a tör élének értéke, azaz a 180 Hv keménység körül mozog.

A keménység értékei között a legnagyobb eltérések a hőkezelt tárgyak esetében mutatkoznak. Az összes vizsgált minta közül a legalacsonyabb egy összeolvadt fibula korongján (89. tárgy) mért 31,9 Hv érték, míg a legmagasabb egy kiválóan hőkezelt és utána is megmunkált kés (10. tárgy) élének 303 Hv keménysége volt. Az adatok tanúsága szerint a hőkezelés során általában 75-100 Hv keménységűre lágyított bronzokat az utólagos megmunkálás során erős tömörítéssel tették használhatóbbá. A hőkezelt és utólagosan megmunkált bronzok keménysége a hidegen megmunkált tárgyak keménységének felső határától a 300-a Hv értéket meghaladón figyelhető

meg. A kitűnően hőkezelt és megmunkált kések (10., 17. tárgyak) 234 Hv illetve 303 Hv értéke rendkívül magas használati értékre mutat. Egy kis hegyes eszköz 271 Hv keménységű hegye (79. tárgy) pedig használhatóságát tekintve akár arra is alkalmas volt, hogy ne csak az öntött, de a hidegen megmunkált és a hőkezelt tárgyak jelentős részét is vessék, poncolják vele.

Az eddig vizsgált tárgyakon szabad szemmel és műszeres vizsgálatokkal egyaránt követhető - mint azt az előállítás menetére, a megmunkálás mikéntjére utaló eszköznyomok és szövetszerkezeti elváltozások hasonló körülmények közötti előfordulása egyértelműen jelzi -, hogy ezek a jelenségek szoros keretek között, a metallurgiai törvényszerűségek alapján ismétlődnek. Így a Regöly-Veravár vegyes összetételű kincsleletben megfigyelt számos jelenség az alapanyag tulajdonságainak figyelembevételével, az anyagvizsgálatok adataival, a régészeti megfigyelésekkel, kísérletekkel kiegészítve, valamint az elmúlt évtizedek kutatási eredményeinek felhasználásával lehetőséget nyújt az urnamezős kultúra fémművessége technikai, technológiai ismereteinek interdiszciplináris alapokon nyugvó felvázolására.

4. A DUNÁNTÚLI URNAMEZŐS KULTÚRA FÉMMŰVESSÉGE A RÉGÉSZETI KUTATÁSOK ÉS AZ ÚJABB ARCHAOMETALLURGIAI VIZSGÁLATOK TÜKRÉBEN

Ha az eddigi régészeti kutatások során a hazai bronztárgyakon végzett anyagösszetétel-elemzések eredményeit összevetjük az első, teljeskörű, hazai arhaometallurgiai vizsgálatokhoz etalonként kiválasztott Regöly-veravári kincslelet adataival szembevetve, hogy a századfordulón, a nedves-analitikai eljárásokkal mért óntartalom /118. tábla/, és a legújabb eredmények összhangban vannak /120. tábla /. Egy adatsor azonban - amely következetesen egy laborhoz és egy mérési eljáráshoz kapcsolódik - ettől jelentős mértékben eltér /119. tábla /. Felmerül a kérdés, hogy a különböző mérési eredmények ténylegesen eltérő óntartalmat takarnak, vagy esetleg magában a mérési módszerben, mérőeszközben keresendő az eltérés oka.

Azért is tartjuk szükségesnek a probléma felvetését, mert:

1. az ötvözőanyag-tartalom alapján csak hiteles adatok birtokában nyílik lehetőség a hazai késő bronzkori tárgyak egyes csoportjainak készítési hely és felhasználási mód szerinti elkülönítésére;
2. ez alapfeltétele a külföldi mérési eredményekkel történő összehasonlíthatóságnak;
3. előfeltétele a késő bronzkori fémművesség nemzetközi kapcsolatai hagyományos tipológiai módszereken túli vizsgálatának.

Költő L. és Kis Varga M. az utóbbi évtizedben végzett mérései sorozatban különösen magas óntartalmat mutatnak./115-117. táblák/ Vizsgálatai kezdetén Költő L. részletesen ismertette az eljárás során alkalmazott módszert. A kiválasztott tárgyak felületét a csak a patinát eltávolító szemcseszórásos módszerrel fémtiszta állapotúra tisztították. Ily módon a mérés a vizsgált felület 7 mm átmérőjű, 0,1 mm mélységű részéről adott információt. A méréseket J-125 izotóp gerjesztésű röntgenemissziós analízissel végezte, a kapott intenzitáseredményeket pedig számítógép segítségével, statisztikai módszerrel értékelte, és alakította át százalékos eredményekké.

Grafikonon ábrázolva a regöly-veravári leletek felszínén és csiszolatán mért összetétel-eredményeket, jól látható, hogy a különböző helyeken mért adatok jelentős mértékben eltérnek. Különösen feltűnő az egyes ötvözők nagymértékű dúsulása a felszínen./110. tábla/ A metallurgiai vizsgálati gyakorlattól eltérően, a fémmikroszkóppal nem csupán a csiszolatokat, hanem a vi-

lágon először, a régészeti tárgyak felszínét is vizsgálva, szemmel is egyértelműen láthatóvá vált a felületre kicsapódott ötvözőanyag, az ón./40. tábla, 46. tábla, 51. tábla 1. kép, 53. tábla 1. kép, 56. tábla 1. kép, 58. tábla 1. kép/. Ezek az adatok együttesen magyarázzák a röntgen-spektroszkópiával a felületen, mindössze 0,1 mm mélységig végzett vizsgálatok rendkívül magas ónértékeit. Hiszen - mint azt a Regöly-Veravár 130. számú drótspirál csiszolata és a különböző helyen mért SEM analízisek eredménye is bizonyítja - az ónkiválás vastagsága is jelentős, s ez, ha a fentebb ismertetett, vagy ahhoz hasonló eljárást használnak, elfedi a régészeti tárgy valódi összetételét²⁴² /56. tábla 2. kép, 110. tábla /.

Vizsgálati eredményeit értékelve Költő L. is megjegyezte, hogy az eredmények alapján sem területi, sem tárgytípusonkénti bontást nem lehetett tenni, csak egy alacsonyabb és egy magasabb óntartalmú csoportot lehetett elkülöníteni.²⁴³ Ez a megfigyelése egy szempontból összhangban van a régészeti tárgyak felszínéről készített metallográfiai felvételekkel és mérési eredményekkel is: az adatok ugyanis azt mutatják, hogy az ón kiválása összefügg a tárgyak hőkezelésével. Ilyen ónkiválás a csupán öntött tárgyak felszínén nem látható./27. tábla 1. kép, 29. tábla/ A fentiek miatt a pusztán a röntgenemissziós eljárások adatait felhasználó pont-analízisek eredményei alapján levont következtetéseket nem tartjuk megalapozottnak, elfogadhatónak.²⁴⁴ A röntgenemissziós vizsgálatok az eljárás korlátai miatt a régészeti kutatások gyakorlatában is csak a gyors, tájékozódó jellegű elemzések elvégzésére alkalmasak, miként minden olyan anyagösszetétel-vizsgálat, amely a roncsolásmentesség érdekében csupán a felszínt, vagy a felszín közeléből vett néhány grammnyi anyagot vizsgálja. Ezért a továbbiakban a régészeti leletek értékelésekor a hitelesnek tartható, főként a hagyományos módszerekkel vizsgált régi adatokat, és a legújabb, több módon is kontrollált értékeket használjuk. Célunk elsősorban az, hogy a szükség-szerűségből megszürt adatok ismételt értékelése követően a késő bronzkori fémművesség nyersanyagforgalmának felvázolásán túl megkíséreljük a főbb termékek készítési hely és felhasználási mód szempontjából történő csoportosítását.

4.1. ÉRCBÁNYÁSZAT, ÉRCFELDOLGOZÁS

A késő bronzkori fémművesség kutatásának egyik alapkérdése, hogy a fémtárgyak készítéséhez szükséges nyersanyagot honnan és milyen formában szerezték be. A réz-, ón-, antimon-, és ólomtartalmú ércek hazai és legfontosabb európai lelőhelyeinek földrajzi elhelyezkedése nagymértékben behatárolja azt a területet, ahonnan a dunántúli urnamezős kultúra bronzművesei beszerezheték alapanyagukat. Mint az a mellékelt táblázatokból is kitűnik, gyakran az egyes ásványok több ötvözőelem fémét is tartalmazzák, illetve egy-egy lelőhelyen az ásványtársulások révén több érc típus is előfordul./105-109. táblák/ A régészeti kultúrák nyersanyagellátása szempontjából elsősorban az érclelőhelyek területi elhelyezkedése ad fontos információkat.²⁴⁵

²⁴² A külföldi mérési eredményekben is megfigyelhető az 1950-es évektől a röntgenspektrográfia tömeges alkalmazása óta az óntartalom emelkedése, de korántsem olyan szembetűnő módon, mint a magyarországi mérések esetében. A téma nemzetközi vonatkozásainak vizsgálata része annak a kutatási tervnek és kísérletsorozatnak, amit a bradfordi egyetem archaeometallurgiai kutatócsoportjával megkezdtünk, s remélhetően hamarosan folytathatunk is.

²⁴³ Költő-Kis Varga 1992. 81.

²⁴⁴ Költő-Kis Varga 1992. 84., Honti 1992. 46.

²⁴⁵ Koch 1966.; Pásztor 1990.; Penhallurick 1986

Természetesen az, ha valahol rendelkezésre álltak az őskori bányászat geológiai feltételei, még nem jelenti, hogy ezeken a helyeken az őskorban ténylegesen volt is, vagy lehetett bányászat, hiszen sok esetben az ércek alacsony fémtartalma, vagy mély fekvése ezt biztosan kizárta. A kutatás helyzetét nehezíti, hogy a hazai őskori ércbányászatra utaló leletek teljes hiánya mellett ma ismert érclelőhelyeinkről sem állíthatjuk, hogy azok az őskorban is ismertek voltak, mint ahogy abban sem lehetünk biztosak, hogy korábban nem ismertek más, mára esetleg már kimerült, elfelejtett teléreket.

A réz kivételével az urnamezős kultúra bronztárgyainak főbb ötvözőelemei természetesen nem fordulnak elő. Termésréz környezetünkben Szlovákiában és Erdélyben is több helyen megtalálható. Az országhatárokon belül a Felső-Tisza vidékén Barabásnál, az Északi-Középhegységben Recsk és Rudabánya körzetében, a Dunántúlon pedig a Velencei-hegységben, valamint Szabadbattyánál találtak kisebb-nagyobb rézdarabokat. Az őskori körülmények között még könnyen feldolgozható rézoxidok a fenti helyeken kívül a Börzsönyben (Nagybörzsöny) is fellelhetők. A nehezebben feldolgozható oxisók, szulfidok, tiosók lényegesen nagyobb gyakorisággal fordulnak elő. Az Al-Duna vidékén (Bor), Erdély déli részén (Dognácska, Karánsebes), a Bihar-hegység (Horzabánya, Rézbánya), valamint Nagybánya környékén (Erzsébetbánya, Kapnikbánya, Felsőbánya) vannak ilyen ásványok. Az Északi-Középhegységben a jól ismert Rudabánya és Recsk környéki ércelőfordulások mellett a kevésbé számontartott Gyöngyös vidéki lelőhelyekkel is számolnia kell az őskorkutatásnak. Szlovákiában Dobsinánál és Úrvögnél (Spania Dolina-Pieski) a közelmúltig jelentős volt a rézércek bányászata. A Dunántúlon lényegesen kevesebb réztartalmú ásvány lelőhelyét ismerjük, csupán a Mecsekben (Bakonya, Erdős-mecske, Magyarürög, Pécs), a Balaton környékén (Balatonfüred, Nemesgulács, Litér, Szabadbattyán), a Velencei-hegységben, a Vértesben (Gánt), a Gerecsében (Lábatlan) és az Alpokalján (Velem, Felsőcsatár, Fertőrákos) említenek rézérc-előfordulásokat. Őskori bányászatra utaló leletek azonban mindössze az ettől nyugatabbra fekvő alpi (Kitzbühel, Mitterberg) és érchegegyégi illetve Harcz-hegységi bányavidékekről ismertek.

Egyes ásványfélékben egyszerre több fém is jelen van. Antimon és réz együtt található pl. a bournonitban, famatinitben, annivitben, freibergitben és a tetraedritben. Az ólom mind a réz (bournonit) mind az antimon (jamesonit, bournonit, boulangerit, semseyit, nagyágit) ásványai-ban előfordul. A sztannitban pedig az ón és réz mellett vas is fellelhető. A fentieken túl a feldolgozott ércek vas- (bornit, jamesonit, tetraedrit, kalkopirit), arzén- (enargit, tennantit), ezüst- (pirargirit, stefanit) és bizmuttartalma (annivit) is természetes ötvözőanyagként szolgálhatott az őskorban.

Az őskor folyamán eszköz-készítéshez elsősorban a természetfémeket használták fel (arany, réz). Csak a korai bronzkorban kezdődött meg először a rézoxid tartalmú, később a bonyolultabb eljárást igénylő szulfidos ércek feldolgozása.²⁴⁶ A Közel-Kelettel, valamint a mai Anglia területén, az oxidos érctelepeken gyorsan felfutó őskori ércbányászattal ellentétben Közép-Európában a szulfidos ásványok felhasználása lassabban fejlődött.²⁴⁷ A hazai kutatás szempontjából is jelen-

²⁴⁶ Az arzén természetesen és oxidos formában is előfordul. Ezért a fémművesség fejlődése során ez a fém lett a réz egyik legkorábbi ötvözőeleme. Tylecote szerint ehhez az arzénlelőhelyek elhelyezkedése mellett a közel-keleti bányavidékek vízhiánya is akadályozta az ónércek feldolgozását. (Tylecote 1987. 20-21.)

²⁴⁷ Tylecote 1987. 10.

tós bánya, Mitterberg²⁴⁸ művelésére is csak a késő bronzkorból vannak adatok, noha a közelében talált kohósalak alapján biztos, hogy már a kora bronzkorban is volt ezen a vidéken ércfeldolgozás.²⁴⁹ E bányák napi réztermelése a késő bronzkorra 5-600 fő munkájával elérte a 315 kg-ot. Zshocke és Preuschen feltételezése szerint összességében mintegy 20.000 tonna rezet állítottak elő itt a bronzkorban.²⁵⁰ A tiroli, Kitzbühel környéki bányák termelésével együtt az össztermelés elérhette az 50.000 tonnát is.²⁵¹ Ez az ipari méretű termelés pedig már messze meghaladta azt a szintet, amelyet a felszínen vagy a vízmosások által kimosott termésréz tömbök, ércdarabok nyújtottak, de a bányászatnak ez az egyszerűbb formája mindvégig kiegészítette a termelést.

Az őskori bányák között sokszor egyetlen lelőhelyen találunk felszíni és mélyművelésűt.²⁵² A két művelési mód lényegét tekintve nem tért el egymástól. Az ércek bányászata során a sziklapárkányok alatt vagy a vájatokban tüzet raktak, majd a felhevített sziklát vízzel locsolták, amely ettől megrepedezett. A repedésekbe fa- vagy csontékeket dugtak, a szikladarabokat kifeszegték, s aztán a helyszínen különböző ütőkövekkel, kőkalapácsokkal apróra - kb. mogyoró méretűre - zúzták, majd szétválogatták. A tárnák szűk vágatai arról tanúskodnak, hogy sokszor 5-6 éves gyerekeket is dolgoztattak az ércek bányászatakor és felszínre hordásakor. Az apróra tört, majd megőrölt kőzetből a felszínen kimosták a meddőt, s a fémtartalmú, nehezebb ásványokat további feldolgozásra elkülönítették.

A finomra őrölt, szulfidos ércet szabad tűzben való pörkölés után kohóba helyezték. Ott levegőbefúvással élesztett faszénnel magas, 1000-1200 °C közötti hőmérsékleten többször megismételt munkafolyamat révén réz(I)- (Cu₂S) és vas(II)-szulfidot (FeS) tartalmazó kéneskövet állítottak elő. A következő lépésben a kéneskőhöz homokot adva a keveréket magas hőmérsékleten oxidálták, melynek eredményeként a szulfidokból elégett a kén, és tiszta rezet, valamint a vasat is megkötő fayalitot (2FeO.SiO₂) kaptak. A réznél alacsonyabb olvadáspontú fayalitot eltávolítva mintegy 60 % réztartalmú, úgynevezett rézkőhöz jutotak, amelyet további újraolvasztásokkal finomítva kb. 94-98 % finomságú fekete rezet állíthattak elő.²⁵³

A bányászat - a több szinten futó, olykor 100 m mély, és akár több kilométer hosszú vájatok és óriási csarnokok tűz segítségével történő mélyítése és a tárnák biztosítása - rendkívül sok fát igényelt./90./ Az ércek feldolgozása: az érc pörkölése, majd a faszénnel történő oxidáló, illetve redukáló eljárás szintén rengeteg fát kívánt. Az ércek dúsításához szükséges mosás viszont folyóvíz közelségét igényelte. Így maga az ércolvasztás általában a völgyekben történhetett. Ha az őskori kohászathoz szükséges természetföldrajzi összetevőket számba vesszük - szulfidos ércfeldolgozás esetén -, akkor az érclelőhelyek közelében fában gazdag területeket, a völgyekben kellő vízhozamú patakokat kell feltételeznünk. Saját kísérleti régészeti, valamint az őskori bányavidé-

²⁴⁸ Much 1893

²⁴⁹ Tylecote 1987. 10., 31-33.

²⁵⁰ Zshocke 1932

²⁵¹ Tylecote 1987. 33.;(Sajnos, egyelőre elég hiányosak a felvidéki és erdélyi őskori bányákra vonatkozó adataink. Jelenlegi ismereteink szerint a Balkánon Rudna Glava és AiBunar vidékén lévő bányáknak is csak az általunk vizsgálnál korábbi időszakban volt nagy a jelentősége. (Jovanovic 1971)

²⁵² Például a walesi Great Orm lelőhelyen alig pár száz méter távolságban ma is látható az előreugró sziklapárkányok alatt az őskori bányászok munkájának nyoma, s a szűk tárnák falán a szerszámlenyomatok.

²⁵³ O'Brien 1996. 6-32.; Tylecote 1986. 13-24.

keken tett megfigyeléseink alapján ehhez még hozzávinnék a kohók fűjtatását megkönnyítő, viszonylag állandó irányú és erős széljárást is./99. tábla 3-4. kép/²⁵⁴ A bányászat és kohászat igényeinek kielégítésére rövid idő alatt óriási területeken pusztították ki az erdőket - ennek sokszor máig ható következményeit az egykori bányavidékek kopár domboldalain jelenleg is láthatjuk.²⁵⁵ A kísérletek szerint egyetlen kiló réz előállításához mintegy 20-50 kg faszénre volt szükség. A támhoz és a sziklák megrepesztéséhez használt fát is figyelembe véve célszerűbbnek tűnik a felső értékkel számolni. A fatörzsek feldolgozása folyamán az eredeti súlynak mindössze 10-20 %-a lesz a faszén tömege.²⁵⁶ Így például az alpi bányákban számított 20.000 tonnás réztermeléshez²⁵⁷ mintegy 7 millió köbméter fára volt szükség.

A bányavidékeken a meddőhányók²⁵⁸ és a kohókból kikerülő salakhányók szintén mai napig látható módon utalnak az egykori kohászatra. Az ércek bányászatakor a kibányászott kőzetnek csak mintegy 1 %-a a hasznos fém,²⁵⁹ a többi meddő, amelynek egy részét az elsődleges válogatás után a vájatokban hagyják, zömét azonban a felszínre szállítják. Továbbra is az alpi bányákat alapul véve ez mintegy 20 millió tonna meddőt jelent! A megfigyelések szerint a réz előállításakor - az alapanyagtól függően - 3-10-szeres mennyiségű salak keletkezik,²⁶⁰ amelyet ha csak ötszörös szorzóval veszünk is figyelembe, 100.000 tonna el nem pusztuló fayalitos salakkal számolhatunk. Mint a fentiekből is látható, az ipari méretű őskori ércbányászatnak és -kohászatnak olyan természetföldrajzi feltételei voltak, amely közül, ha egy is hiányzott, már nem alakulhatott ki jelentős termelés. Hiszen ha bármely összetevőt nagyobb távolságról kellett volna a helyszínre szállítani, az a korabeli közlekedési feltételek között megoldhatatlan problémát jelentett volna. A jelentős méretű termelés során felhalmozódó meddő- és salakhányók, a tízezer számra használt őskori bányaszámok pedig jó és könnyen megfigyelhető támpontot jelentenek az egykori bányák, kohászati központok azonosításához.²⁶¹

A Kárpát-medence őskori ércbányászatáról rendelkezésünkre álló rendkívül kevés adat következtében a kutatás az elmúlt évtizedekben meglehetősen ellentmondásos képet vázolt fel.

²⁵⁴ Bölcse-Sziget lelőhelyen az öntőműhelynél mért szélerősség-adatok és az az alapján illetve a régészeti leletek segítségével kikísérletezett szélfrissítéses kohótípus valamint az angliai bányák közül különösen Great Orme bányájánál megfigyelt erős széljárás nagymértékben valószínűsíti, hogy a vízierő használatbavétele előtt a természet nyújtotta szélerőt használták energiaként az ipari méretű termelésben.

²⁵⁵ Copa Hill (Anglia) errodált, kopár domboldalai talán az egyik legjobb példa. (Ford-Willies 1994. 49.

²⁵⁶ Cradock 1995. 193.

²⁵⁷ Zshocke 1932

²⁵⁸ Ford-Willies 1994, 24. A légifotón jól látható az őskori bányák hányóinak jellegzetes kúpja. Hasonló jelenségeket nem csak a levegőből, hanem a bányavidékeken sétálva is meg lehet figyelni.

²⁵⁹ Tylecote 1986. 22.

²⁶⁰ Rothenberg 1990. 86-87

²⁶¹ Great Orme példája - mely a világ jelenleg ismert legnagyobb őskori rézbányája és ennek ellenére csak pár éve fedezték fel itt az első őskori leleteket - arra hívja fel a figyelmet, hogy a mai napig használt bányáknál könnyen előfordulhat, hogy éppen a korai rétegeket fedő vastag meddő és salak miatt csak valami véletlenül köszönhetően kerülnek elő az őskori bányászatra és kohászatra utaló leletek.

Rómer Flóris egész Kárpát-medencére kiterjedő anyaggyűjtése ismeretében jelentette ki 1866-ban, hogy az itt talált bronzeszközök nem kereskedelem révén kerültek hazánk területére, hanem helyi készítmények.²⁶² A felsorolt bizonyítékokat elegendőnek tartva a továbbiakban a hazai és külföldi kutatók - néhány kivételtől eltekintve - a későbbiekben már nyilvánvaló tényként kezelték e megállapítást. A bronz előállításához szükséges nyersanyagok lelőhelye tekintetében - bizonyító erejű leletek hiányában - azonban már nem alakult ki ilyen egységes vélemény. A századforduló előtti évtizedekben Szántai Aladár,²⁶³ Hampel József²⁶⁴ a nagymennyiségű bronz leletanyag alapján az őskori bányászati emlékek hiánya ellenére is biztos volt abban, hogy a bronzkorban a Kárpátokban - közelebbi helymegjelölés nélkül - volt rézércbányászat. Miske Kálmán velemi kutatásai során kitüntetett figyelmet fordított az érclelőhelyek meghatározására. Egy - Velem Szent Vid késő bronzkori település közvetlen közelében fekvő - völgyben kis lencsékben azurit és malachit lelőhelyeket említ, s a közeli Írottkőn Bánya- és Vörösvágás térségében ugyancsak malachit előfordulásról tud.²⁶⁵

Az ötvözőanyagok tekintetében általában különbséget tesznek az ón, és a leginkább a velemi bronzokra jellemzőnek tartott antimon eredete között.²⁶⁶ Hampel szerint az ónt a távolsági kereskedelem révén szerezték be,²⁶⁷ ennek pontos formájára nem közöl adatot, csupán a szent-erzsébeti leletből említ ötvözésre is alkalmas magas óntartalmú tárgyat.²⁶⁸ Tompa Ferenc velemi kutatásai alapján arra a következtetésre jut, hogy az ott előkerült bronzokba csak az újraolvasztott töredékekkel jutott ón.²⁶⁹ Miske szerint Velem esetében a hegy lábánál található antimonitot használták ötvözésre, azonban - mint megjegyzi - az nyitott kérdés, hogy az ötvözőanyagot érc, vagy tiszta fém formájában adták-e a rézhez.²⁷⁰

A későbbi kutatás során sem sikerült pontosítani a késő bronzkorban a Kárpát-medencében üzemelő rézbányák helyét. Mozsolics Amália a különböző korú dephorizontok értékelése alapján arra a következtetésre jutott, hogy az Ópályi időszak leleteinek készítésénél elsősorban az erdélyi-, az Aranyos időszak Riegsee- és Ragály típusú kardjai esetében az észak-magyarországi-, valamint a szlovákiai-, a Kurd-horizont időszakában a kelet-magyarországi leletek esetében az erdélyi-, a dunántúli együtteseknél pedig az ausztriai ércbányák szolgáltathatták az alapanyagot.²⁷¹

²⁶² Rómer 1866

²⁶³ Szántai 1878. 18-19.

²⁶⁴ Hampel 1886-1896 III. 180-181.

²⁶⁵ Miske 1907. 25.; Miske 1929. WPZ 81.

²⁶⁶ Miske 1904a. A kérdéssel a bradfordi egyetem kutatási projectje keretében P.I. Maclaen jelenleg is behatóan foglalkozik, ezért ezúttal eltekintünk a kérdéskör bővebb ismertetésétől, továbbra is csak a témánk szempontjából okvetlenül szükséges mértékben térünk ki az egyes részletekre. Az angol kolléga szakmai és baráti segítségéért ezúton is szeretnék köszönetet mondani.

²⁶⁷ Hampel 1886-1896 III. 234

²⁶⁸ Hampel 1886-1896 III. 187.

²⁶⁹ Tompa 1923-26 43.

²⁷⁰ Miske 1929 83.

²⁷¹ Mozsolics, 1984. 21-23.

Kemenczei Tibor a velemi bronzipar vonatkozásában említi, hogy a szükséges réz- és ónnyersanyagot a kelet-alpi bányákból szerezték be.²⁷² Szükséges azonban megjegyezni - mint a mellékelt térkép alapján is nyilvánvaló -, hogy jelentősebb ónlelőhelyek Velemtől nyugatra legközelebb csak az Érchegységben, illetve délen Monte Valerio körzetében vannak.²⁷³ Kemenczei Tibor a késő bronzkor különböző időszakában az egyes műhelykörzeteket - melyek földrajzi elhelyezkedése véleménye szerint egyben az eltérő érlelőhelyekre is utal - az egyes tárgytipusok előállítási helye alapján különíti el.²⁷⁴ Nyugat-Magyarországon a velemi műhely i.e. 10. századi jellemző termékei közé a használati eszközöket (tokos baltákat, sarlókat, vésőket) és ékszereket sorolja.²⁷⁵ Az ország keleti felében az i.e. 11. század jellegzetes korongos, tömör markolatú kardjai - mint a recski lelet is²⁷⁶ - gyártási helyének az Észak-Magyarországon dolgozó kardgyártó műhelyek²⁷⁷ tartja. Az i.e. 10. század második felétől és a 9. század első felében a Tisza-vidéken dolgozó műhelyek jellemző termékei közül az edények mellett főként a csészés markolatú kardoknak és a bográcsoknak tulajdonít kitüntetett szerepet.²⁷⁸

A velemi régészeti és geológiai kutatások többmint száz évre visszanyúló történetét és eredményeit legutóbb Czajlik Zoltán tekintette át.²⁷⁹ A fokozott geológiai kutatások adatait²⁸⁰ részletesen elemezve a szerző biztosra veszi, hogy a Velem-Kőszeg zónában az őskorban nem volt antimonérc-bányászat, és rézércet is csak kis mennyiségben bányászhattak. A korábbi kutatásokhoz hasonlóan a Velemtől légvonalban alig pár kilométerre lévő Schlaining (Szalónak) területén jelentős felszíni antimonérc lelőhelyre hívja fel a figyelmet, ahol véleménye szerint az őskorban is lehetett bánya.²⁸¹ Mint fogalmaz, a velemi 3. depot anyagának mérése során a három öntőlepenyből kettőnél magas nikkeltartalmú, egynél vasban gazdag fázist mért. Mind a három öntőlepenynek van arzén-antimondús fázisa, a harmadiknak pedig ezüstben bő fázisa is. A megfogalmazáson átüt a geológiai szemlélet, amely a régészek számára különösen a mellékelt táblázat adatsorai miatt lehet meglepő.²⁸² Hiszen itt nem arról van szó, hogy bármelyik öntőlepeny egészét tekintve magas Ni-, Fe-, As-, Sb-, Ag tartalom lenne a tárgyakban, hanem ezek az adatok csak arra utalnak, hogy az adott leletben jelen vannak ezek az elemek - esetenként csak igen kis helyen koncentrálódva. Kevesebb félreértésre adhatna okot, ha az egyes szondázások százalékos adatsora mellett azt is feltüntetnék, hogy az hol, mekkora területet érint (nagyítás és kicsinyítés paraméterei, stb). Az adatok heterogenitása, és a csiszolatok scanning elektronmikroszkópos felvételei sem igazolják az ötvözőelemek olyan magas arányú jelenlétét, mint azt a közölt adatok sugallják.²⁸³ Czajlik szerint az elemzések eredményei összességében arra mutatnak, hogy a réz előállítása során a nyersanyag szulfid tartalmú érc volt. Feltételezése szerint az említett fémek

²⁷² Kemenczei 1995. 45.

²⁷³ Uo. 17. ábra.; Penhallurick 1986. 80-82.

²⁷⁴ Kemenczei 1995.45.

²⁷⁵ Kemenczei 1995. 45.

²⁷⁶ Mozsolics 1972b 193-195.; Mozsolics 1985. 180.; Kemenczei 1984. 151.

²⁷⁷ Kemenczei 1995.47.

²⁷⁸ Kemenczei 1995. 48.

²⁷⁹ Czajlik 1993.

²⁸⁰ Benda 1932; Bendefy 1963; Davies 1935 86-89.; Hegedűs 1991; Helm 1900 359-365.; Márffy 1970; Miske 1924; Nováki 1960; Nováki 1961.

²⁸¹ Mozsolics 1984. 21. és 5. jegyzet.; Czajlik-Molnár-Solymos 1995 30.

²⁸² Czajlik-Molnár-Solymos 1995 Abb.4.

²⁸³ Czajlik-Molnár-Solymos 1995 31-32.

így természetes szennyezőanyagként, s nem ötvözőanyagként kerültek a szulfidos ércek felhasználása során az öntőlepenyekbe. Ez összevág a szakirodalomban általánosan elterjedt véleménynel, mely szerint a közép-erurópai késő bronzkori rézkohászat alapját elsősorban a szulfidos ércek biztosították.²⁸⁴

Az urnamezős kultúra keleti területén (Kárpát-medence, Keleti-Alpok, Morvaország) az eddigi anyagvizsgálatok és elemzések adatai alapján csak öt jelentősebb őskori (Dobsina, Spania Dolina /Úrvölgy/, Jachymov, Mitterberg és Kitzbühel) érclelőhellyel számolhatunk. Az öt számbajöhető érclelőhely közül Dobsina-Smolnik kívül esik az urnamezős kultúra településterületén. Jachymovnál kedvező földrajzi helyzete ellenére sem ismert innen semmiféle őskori bányászatra utaló nyom. Spania Dolina-Piesky (Úrvölgy) a Garam víziút-lehetőségével több szempontból is az egyik legkedvezőbb helyzetben lévő ásványlelőhely. Régészeti adatok azonban csak a már többször is említett Mitterberg és Kitzbühel őskori bányászati központokra vannak. Mindezek alapján Czajlik Z. arra a következtetésre jut, hogy Velem-Szentvid őskori fémművesei a Spania Dolina-Piesky, Kitzbühel és Mitterberg bányáiból előállított rézzel dolgoztak. Ezek a lelőhelyek együtt, vagy külön-külön látták el Velemet réznyersanyaggal.²⁸⁵ Az eddig talált 26 félkésztermék (öntőlepeny, bronzrög, stb.) elemzése alapján bizonytalan abban, hogy a tiszta réz alapanyagot szállították a velemi telepre és itt ötvözték antimonnal, vagy az érceket keverték össze.²⁸⁶ Metallurgiai szempontból nehezen képzelhető el a nyers öntőlepenyek ötvözése antimonit ércel. A " $\text{Cu} + \text{SnO}_2 + 2\text{CO} = \text{Cu} + \text{Sn} + 2\text{CO}_2$ " egyenlet alapján a réz közvetlenül ötvözhető az ón oxidos ásványával, a kassziterittel. Ebben az esetben ugyanis az öntőtégelybe a rézzel együtt helyezett ónoxid faszénnel összekeverve magas hőmérsékleten redukálódik, s így - mint azt számtalan kísérlet bizonyítja²⁸⁷ - ötvözésre közvetlenül is alkalmas. Antimonit (Sb₂S₃) esetében azonban először a szulfidot át kell alakítani oxiddá, s csak utána lehetne - lényegében a fenti folyamathoz hasonlóan - ötvözőelemként a rézhez adagolni. Antimonit felhasználása esetén tehát az egyes kohászati műveletek során a szulfidos rézércekhez hasonló eljárást kell feltételeznünk.

Addig, míg a mai országhatárok között késő bronzkori ércbányászatra utaló régészeti adatunk nincs, az ércek feldolgozásának akad néhány tárgyi emléke. Velemszentviden és Sághegyen is találtak rézkövet, az ércfeldolgozás során keletkező félterméket.²⁸⁸ A velemi leletet elemezve a salakdarabban "kovasavat" (SiO₂, 34,12 %), "agyagföldet" (Al₂O₃, 11,25 %), meszet (CaO, 9,5 %), magnézium/oxid/ot (MgO, 2,73 %), vasoxidot (10,53%), rézoxidot (27,03 %), "kénsavat" (szulfátot) (SO₃, 0,45 %), "foszforsavat" (foszfátot) (P₂O₅, 1,1 %), valamint "alkáliákat" (K₂O és Na₂O, 3,29 %) talált az analizálást végző Söwy Ernő.²⁸⁹ A sághegyi rézkő pontos összetételét sajnos nem ismerjük.²⁹⁰ Lázár Jenő a lelet kapcsán arra hívja fel a figyelmet, hogy ennek ellenére a Sághegyen nem valószínűsíthető az érckohászat, mert a közelben hiányoznak az érclelőhelyek. Mint

²⁸⁴ Tylecote 1987 10.

²⁸⁵ Czajlik-Molnár-Solymos 1995 34.

²⁸⁶ A cikkben két alkalommal is szól erről a problémáról a szerző, de egyszer a tiszta, fémes antimont, másutt pedig az ércet említi ötvözőanyagként. Czajlik-Molnár-Solymos 1995 30-31.

²⁸⁷ Például az egyetemi oktatásban az archaeometallurgiai laborgyakorlat egyik alapeleme réz ötvözése faszénnel kevert oxid-állapotú ötvözőanyaggal a megadott százalékos arány elérésére.

²⁸⁸ Miske 1904. 127. Miske 1907. 25.; Lázár 1943. 285.

²⁸⁹ Miske 1907. 25

²⁹⁰ Lázár 1943. 285.

esetleges ércbányát, Írottkő nevét említi.²⁹¹ A két legnagyobb dunántúli bronzfeldolgozó műhely területén talált rézkő több szempontból is fontos problémákat vet fel. Önkéntelenül is adódik a kérdés, hogy vajon a rézkő miből és hol készült, mit keres a két telepen, hiszen a legtöbb lelőhelyen általában csak salakdarabok figyelhetők meg.²⁹² Sághegy és Velem esetében is felmerült már, hogy a közeli Írottkőn, illetve Velemszentviden is megtalálható azuritot ($2\text{CuCo}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$) és malachitot ($\text{CuCo}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$) használták fel a késő bronzkori kohászok. A velemi rézkő elemzéséből azonban egyértelműen kiderül, hogy azokat az összetevőket tartalmazza, amelyeket a vastartalmú szulfidos ércek feldolgozása során keletkező rézkő is tartalmaz. Ilyen ásvány például a kalkopirit (CuFeS_2) és a bornit (CuFeS_3). Velemszentvid és Sághegy elérhető közelségében Velemben,²⁹³ Fertőrákoson²⁹⁴, valamint Felsőcsatáron²⁹⁵ (a lelőhelyektől légvonalban mintegy 30 ill. 60 km-re) fordul elő kalkopirit.²⁹⁶ A két őskori telep esetében tehát csak az egyiknél van érclelőhely, ami önmagában is jól jelzi, hogy a rézkő jelenléte nem mutaja okvetlenül egyben a bánya közelségét is. Azt nem tudjuk, hogy a bányából milyen formákban került a telepre a réz, csak az elemzés adatai alapján feltételezhetjük a két véglet - a feldolgozatlan érc és a féltermék, a 21,6 % rezet tartalmazó rézkő közötti átmenetek valamelyikét. Az ércek szállítása a nagytömegű meddő miatt sem tűnik igazán célszerűnek, a leggazdaságosabb megoldásként a minél magasabb réztartalmú rézkő jöhet szóba - a tiszta rézen vagy a kész ötvözetten kívül. A rézkő mintegy 1:5 arányú hasznos réztartalma a kor metallurgiai lehetőségeit tekintve még mindig elég alacsonynak tűnik, ezért aligha tévedünk, ha a jelenség mögött valami technológiai szempontokkal magyarázható okot feltételezünk.

A Velem környéki antimonércek kapcsán fentebb már felhívtuk a figyelmet arra, hogy metallurgiai szempontból nehezen képzelhető el a rézingtonok közvetlenül antimonit (Sb_2S_3) ércel történő ötvözése. Feltételeztük azt is, hogy antimonit felhasználása esetén az egyes kohászati műveletek során a szulfidos rézércek feldolgozásához hasonló módon jártak el. Ha elméletileg végiggondoljuk, akkor a még további finomítást, feldolgozást igénylő rézkőhöz adagolt antimonit a nagy hőmérsékleten, a folyamat többszöri megismétlése során először oxidálódik. Így álla-

²⁹¹ Lázár 1943. 285.

²⁹² Az alacsony réztartalmú salakoktól, melyek a bronz újraolvasztása- valamint tisztítása során keletkeznek és a telepeken gyakran előfordulnak, jól elválasztható a magas réztartalmú rézkő, amely az ércek kohósításával függ össze. Ecsedy I. kora bronzkori öntőtégelyben talált meszes bevonat elemzése alapján arra a következtetésre jut, hogy az salakképzés elősegítésére szolgált - amit alátámaszt az egyik esetben 13,5%-os, a másik esetben 60,1%-os SiO_2 tartalom is. (Ecsedy 1982. 82.)

²⁹³ Koch 1985. 528.; Czajlik 1993. 233.

²⁹⁴ Koch 1985. 520.

²⁹⁵ Koch 1985. 526.

²⁹⁶ A mai ásványelőfordulás természetesen nem jelenti még okvetlenül az őskori bányászat meglétét is. Az ércelőfordulás csak egyik elengedhetelen, de nem elégséges feltétel. Azt sem lehet teljesen kizárni, hogy korábban meglévő érclelőhelyeket esetleg olyan mértékben bányásztak ki, hogy azok mára teljesen kimerültek, vagy jelentéketelenné tűnnek. Az őskorban az egyes időszakokban és kultúrkörökben úgy tűnik, hogy következetesen "ragaszkodtak" bizonyos érc típusokhoz. Ennek oka minden bizonnyal az volt, hogy a hagyományokhoz fokozottan kötődő fémművesek számára a megszokott technológiához való ragaszkodás erős volt. Ugyanis csak a tapasztalati ismeretekre alapuló eljárások során a legkisebb változtatás is jelentős mértékben befolyásolhatta a valójában a bonyolult kémiai folyamatok sorozatán keresztül kialakuló végeredményt.

pota hasonló lesz a rézkőben talált rézoxidhoz, a további finomítás során pedig az izzó faszén jelenlétében fellépő redukciós folyamatok eredménye a nagy tisztaságú réz-antimon fémes oldat lesz.²⁹⁷ Ez a folyamat véleményünk szerint lehetőséget adott arra, hogy mind Velemszentviden, mind Sághegyen helyben, féltermékek felhasználásával ötvözzék a tárgyak alapanyagát. A rézkő és az antimonit pontos arányának megválasztásával - kellő gyakorlattal és anyagismerettel - előre meghatározott összetételű ötvözetet tudtak elkészíteni. (Az ötvöző-elemben gazdag bronzingottal már könnyedén fel lehetett javítani a tiszta réz öntőlepenyek anyagát is!) A felvázolt technológia egyben arra is magyarázatot ad, hogy a nagyszámú késő bronzkori fémelet ellenére miért hiányoznak teljesen hazai leleteink közül a kizárólag ötvözőanyagokat tartalmazó ingotok.²⁹⁸

4.2. NYERSANYAGELLÁTÁS, KERESKEDELEM

A magyarországi régészeti kutatások során elemzett öntőlepenyek szinte minden esetben meglehetősen alacsony, mindössze néhány tized százaléknyi óntartalmat mutatnak./115-117. tábla/ Csak Velemben került elő két, a többinél lényegesen magasabb óntartalmú öntőlepeny, az egyik 9,9 %, a másik 3,41% ónt tartalmazott.²⁹⁹ A velemi öntőlepenyek azonban mégsem ón-, hanem rendkívül magas, nem egy esetben 18 %-ot is meghaladó antimontartalmuk révén tűnnek ki a kárpát-medencei leletek közül.³⁰⁰ A grafikonon ábrázolt adatok jól mutatják, hogy a magas antimontartalom kizárólag a velemi öntőlepenyekre jellemző./121. tábla/ A már említett két magasabb óntartalmú öntőlepenyben a többi szentvidi öntőrögtől eltérően az antimon mennyisége fordítottan arányos, szokatlanul csekély.³⁰¹ De az öntőlepenyek között található olyan is, amelyben mindkét ötvözőelem mennyisége alacsony.³⁰² Ezek a jelenségek azt bizonyítják, hogy a hatalmi és gazdasági szempontból is központi szerepet betöltő velemi telep fémműveseinek egyik specialitása volt az antimontartalmú ötvözetek, féltermékek előállítása, melyet részben a hozzájuk készen érkező alacsony óntartalmú öntőlepenyek, részben pedig a rézkő antimonittal történő dúsításával oldottak meg.

²⁹⁷ A rézkő és antimonit - illetve a hasonló módon viselkedő, és hazánkban szintén előforduló - sztannit (Cu2FeSnS4) felhasználásával készített ötvözet régészeti kísérleteit szeretnénk a közeljövőben a gyakorlatban is elvégezni. Az elméletileg lejátszódó folyamatok ugyanis a gyakorlatban sokszor egészen másként viselkednek, hiszen általában csak két- ill. három összetevős ötvözetekkel számolunk, míg a valóságban a folyamatokban végig részt vesznek és szerepet játszanak a kísérő ásványok és szennyezőanyagok is.

²⁹⁸ Margarita Primas feldolgozta a késő bronzkori óntárgyak európai elterjedését, s térképéből jól látható, hogy ezek a tárgyak csak az ónbányák közelében terjedtek el. (Primas 1985. Abb. 5.)

²⁹⁹ Miske 1904a 126.

³⁰⁰ Miske 1904a 126.; Miske 1907 38.

³⁰¹ Az általános metallurgiai törvényszerűségek és az eddig vizsgált régészeti leletek eredményeinek ismeretében - ha kormeghatározásuk helytálló - a két velemi öntőlepenynél és két rúd-nál megfigyelt rendkívül magas óntartalmat nem tartjuk tudatos ötvözés eredményének. Valószínűbb, hogy valamely ötvözőelem ércének kísérő ásványaként, szennyezőanyagként került a velemi bronzokba. Ezért, és a ma már nem ellenőrizhető adatok miatt a magas ólomtartalom kérdéseivel itt nem kívánunk bővebben foglalkozni.

³⁰² Velem 4. Miske 1904a 126.

A nagy ipari központoktól távolabbi területekre, a kisebb műhelyekben dolgozó fémművesekhez az öntőlepenyek nyers formában jutottak el, mint azt a nagykállói³⁰³ és a regölyi³⁰⁴ öntőlepeny alacsony ötvözőanyagtartalma mellett különösen magas, 4 %-ot meghaladó vastartalma is bizonyítja. Ezeknek az öntőlepenyeknek nemcsak összetétele, de hólyagos szerkezete is rögtön elárulja, hogy további feldolgozásra csak megfelelő finomítás után váltak alkalmassá. A hólyagos szerkezet azt is jól tükrözi, hogy az öntőlepenyt nem zárt formába öntötték, hanem alakját attól a kis gödörtől kapta, amelybe csapoláskor a kohóból vezették. Emiatt, mint a regölyi leleteken (179., 181. tárgyak) is jól látható, gyakran farostnyomokat találhatunk az öntecseken - mintegy jelezve, hogy a kisebb öntőlepenyek, egy-egy körkikkely megöntésekor fa-, vagy faszéndarabokkal zárták le a kis gödör egy részét. A hólyagok mindig a laposabb rész felé sűrűsödnek, ezáltal egyértelműen meghatározva az öntőlepeny tetejét, hiszen a gázok ebben az irányban szabadultak ki az olvadékból. A régészeti szakirodalomban az egyértelmű jelek ellenére szinte mindig tévesen, fordítva, a laposabb részére fektetve közlik az öntőlepenyeket. A nyers, hólyagos szerkezetű, nagy vastartalmú öntőlepenyek finomítását úgy oldották meg, hogy újraolvasztáskor az olvadékra kvarchomokot szórtak. A megolvadt kvarcsemcsékhez tapadó vasból létrejövő, az olvadék tetején úszó fayalitos salakot egy bottal már könnyedén le lehetett lökni - a benne megkötött vassal együtt. A megtisztított, zárt, megfelelő salakfogóval ellátott formába öntött bronz már eszközök előállítására is elég tiszta és egységes szerkezetű volt. A regölyi kincslelet anyagösszetétel- és szövetszerkezeti vizsgálatai, valamint a gyakorlati szempontok arra mutatnak, hogy ezeket az újraolvasztott öntőlepenyeket elsősorban öntött tárgyak készítéséhez használták fel.

A késő bronzkori fémművesség nyersanyagellátását az öntőlepenyek mellett számos, nyersanyagként és más célra is használható tárgy biztosította. A legegyszerűbb cipó, nyelv, rúd, nyersanyagformákon túl a hazai leletegyüttesekben speciális alakú és rendeltetésű darabok is megtalálhatók.³⁰⁵ A régészeti kutatás számára különös fontossággal bírnak azok a típusok, amelyek területi elterjedése speciális gyártási ismereteket követelő díszítésük révén jól követhető. Legutóbb egy karika alakú, sajátos díszítésű és megjelenésű, rendeltetése szerint többfunkciós formát vizsgáltunk meg részletesebben, mely elterjedtsége és sokoldalú felhasználhatósága révén különösen fontos alapanyaga volt a bronzszáלבól készített eszközöknek.³⁰⁶

A múlt század közepén meginduló rendszeres régészeti kutatások egyik első közleménye a karikapénzek kérdésével foglalkozott.³⁰⁷ Kiss Ferenc széles körből gyűjtött néprajzi párhuzamok, történeti, gazdaságtörténeti adatok, különböző súlymértékek alapján csoportosította és értékelte az addig ismert karikaleleteket, s az egyéb értékmérő eszközként számításba vehető tárgyakat. Véleménye szerint a vizsgált karikákat pénzhelyettesítő eszközként, mint értékmérőt használták.³⁰⁸ Az ékszerként is használható karikák mellett felfigyelt a viseletre alkalmatlan, szerinte csak értékmérőkarikaként szolgáló tárgyak csoportjára. Különválasztotta a csuklón, a

³⁰³ Nagykálló 19. Mozsolics 1963a 259.

³⁰⁴ Regöly 187.

³⁰⁵ Hampel 1886-1896 I. I-II., III. 181-186.; További részletes irodalom található: Mozsolics 1984 24-39.; Fekete 1985 68-91.; Maráz 1989 12-15.

³⁰⁶ Szabó 1996.

³⁰⁷ Kiss 1859.

³⁰⁸ Kiss 1859 181.

felkaron és a lábon hordható karikákat.³⁰⁹ Darnay K. szintén elkülönítette a felkaron hordott karpereceket.³¹⁰ Kiss F. megfigyelése szerint a kisebb, csuklón hordott karpereceket 6-7, a nagyobb méretű, szerinte felkaron hordott, általa "kézikarikának" nevezett leleteket pedig 6-9 vonal díszítette.³¹¹ A magyarországi bronzleleteket áttekintve Hampel számbavette a különböző karikák előfordulásait,³¹² és egyrésztük a több mint ezer darabos magyaróvári lelet és a viseletre alkalmatlan példányok alapján karikaformájú nyersanyagoknak tekintette.³¹³ A máramarosi 52 darabos aranykincs 34 leletének 10-11 gramm, 9 darabjának 20-21 gramm, a többi esetben pedig 31-65 gramm tömege alapján a babiloni súlyrendszerrel látott összefüggést, s a vizsgált karikákat súlyegységeknek tartotta.³¹⁴

A századforduló körül az újabb kelet-³¹⁵ és nyugat-magyarországi leletek³¹⁶ alapján a kémiai vizsgálatok eredményeit is felhasználva ismét többször esett szó a karikaleletekről.³¹⁷ A legutóbbi évekig mind újabb feldozások gazdagították a témakör hazai irodalmát, főként Mozsolics Amália, Kőszegi Frigyes, Kemenczei Tibor és Maráz Borbála kutatásainak eredményeként.³¹⁸ Kőszegi Frigyes rendkívül széles körből hozott példákkal világította meg a karikapénznek tartott leletek által felvetett kérdéseket.³¹⁹ A történeti adatok és a néprajzi párhuzamok alapján a karikapénzek révén kívánta felhívni a figyelmet a bronzkori gazdasági élet összetettségére, s egyik lényeges elemére, a pénzgazdálkodásra.³²⁰ Vele ellentétben Maráz Borbála a dél-dunántúli bronzművességet vizsgálva úgy látta, hogy a raktárleletekben előforduló zárt karika- vagy karperec alakú bronztárgyak inkább sajátos nyersanyagformák lehettek.³²¹ Mozsolics Amália legutóbbi monográfiájában részletesen ismertette és elemezte a karika alakú bronztárgyakat, s a párhuzamok kapcsán áttekintette a témakör külföldi irodalmát is.³²² A különböző típusokba sorolható viseleti darabok mellett megemlítette a rombusz keresztmetszetű, legtöbbször fehér-bronzból öntött karikákat is. Megfigyelése szerint ezek a tárgyak nagyszámban kerültek elő a Gyermely-horizont leletegyüttese között.³²³ A máriakéemendi leletben például 26 ilyen fehér-bronzkarika volt,³²⁴ de további lelőhelyekről (Velem,³²⁵ Herceghalom,³²⁶ Gyermely,³²⁷ Lovasbe-

³⁰⁹ Kiss 1859 183-200.

³¹⁰ Darnay 1899 21.

³¹¹ Kiss 1859 199.

³¹² Hampel 1886-1896 III. 126-129.

³¹³ Hampel 1886-1896 185-186.

³¹⁴ Hampel 1864 30.

³¹⁵ Jóna 1910 109-117., III.T.

³¹⁶ Darnai 1899 21.; Miske 1907 45-47., XXXIV-XXXV.; Miske 1913 16-18.

³¹⁷ Miske 1907 32-40.

³¹⁸ Mozsolics 1963.; Mozsolics 1973.; Mozsolics 1975.; Mozsolics 1984; Mozsolics 1985.; Kőszegi 1984.; Kőszegi 1988.; Kemenczei 1983.; Kemenczei 1984.; Maráz 1989.; Patek 1968.

³¹⁹ Kőszegi 1984 266-280.

³²⁰ Kőszegi 1984 280.

³²¹ Maráz 1989 14-15.

³²² Mozsolics 1985 63-66.

³²³ Mozsolics 1985 63-64.

³²⁴ Mozsolics 1985 64.; Maráz 1989, 24.

³²⁵ Mozsolics 1985 228.T.10.

³²⁶ Mozsolics 1985 238.T.6-7.

³²⁷ Mozsolics 1985 241.T.11.,13.

rény,³²⁸ Somogyszob,³²⁹ Beremend³³⁰) is ismertek ezek a tárgyak, melyek használatára, rendelkezésre nem talált egyértelmű választ.³³¹ Mozsolics A. a különböző leletekben gyakran nagy mennyiségben előkerülő vékony, a kerektől lekerekített szögletesig terjedő keresztmetszetű, egymáshoz, vagy egymásra hajlított, hegyes végű karikákat méretük miatt lábperceeknek határozta meg.³³² Ilyen karikákat Velem I.,³³³ Herceghalom,³³⁴ Bokod,³³⁵ Gyermely,³³⁶ Székesfehérvár,³³⁷ Lovasberény,³³⁸ Tiszavasvári-Téglagyár,³³⁹ Lesenceistvánd,³⁴⁰ Máriakéménd,³⁴¹ Somogyszob³⁴² lelőhelyekről említett. Véleménye szerint a 10-12 cm-es átmérő nem elegendő bizonyíték a használat, a viselettel kapcsolatos kérdések végleges eldöntésére.³⁴³

A magyarországi karikaleletekről az elmúlt majd másfélszáz évben kialakult vélemények rövid áttekintése alapján úgy tűnik, hogy - mint azt Mozsolics Amália is megjegyezte - ezek szintén a rejtélyes tárgyak közé tartoznak.³⁴⁴ E rejtély eloszlását segítette a Szakály-Fütyülős és Kisdorog-Hegyzsántók lelőhelyeken talált két karikalelet. A tárgyak között jelentős számban vannak olyan kör keresztmetszetű darabok, amelyek felületén 5-9 alig bemélyedő, közel párhuzamos vonalból álló, spirálisan körbefutó díszítés látható. A díszítés a karika végeinek közelében hiányzik; a külső oldalon is gyakran csak elmosódottan látszó bemélyedéseket a karika belső oldalán még kevésbé lehet észrevenni, a karikák végein egyik oldalon egyenetlen, elmosódott szélű törésfelület, a másikon gyakran legömbölyített végződés látható. Hasonló leletek a dunántúli kincsleletekben gyakran előfordulnak, de az Alföldön is megfigyelhetők - a nagy fémműves központok környékén és a mindössze pár házból álló településeken egyaránt. A díszített karikákon gyakran a további feldolgozásra utaló kalapálási, alakítási vagy vágási, darabolási nyomok is jól láthatók./92. tábla 1-2. kép/

Az említett karikákat a tárgyakon látható jelenségek és a régészeti kísérletek tanúsága szerint úgy készítették, hogy először egy vékonyra sodort, egymás mellett kifeszített vékony húrokon ferdén végighengerített viaszszálat méretre vágtak vagy törtek, majd az egyenes szálat beágyazták. A díszítóminták vékonysága finom szemcsézettségű beágyazóanyagot bizonyít. Feltehetően először egy hígabb agyagréteggel vonták be a viaszmintát, majd a jobb száríthatóság érdekében

³²⁸ Mozsolics 1985, 246.T.21., Fl.91.

³²⁹ Mozsolics 1985 249.T.6.

³³⁰ Mozsolics 1985, 254.T.2-3.

³³¹ Mozsolics 1985 64.

³³² Mozsolics 1985 65-66.

³³³ Mozsolics 1985 229.T.8-29.,31-32.

³³⁴ Mozsolics 1985 238.T.8-23. A herceghalmi leletben 46 db karika volt.

³³⁵ Mozsolics 1985 232.T.3-4.

³³⁶ Mozsolics 1985 241.T.18-20, 242.T.1-3.,6-11.,15-17.

³³⁷ Mozsolics 1985 243.T.13.

³³⁸ Mozsolics 1985 246.t.18-20.

³³⁹ Mozsolics 1985 262.T.5.

³⁴⁰ Mozsolics 1985 270A T.3-7.

³⁴¹ Mozsolics 1985 64.; Maráz 1989 24.

³⁴² Mozsolics 1985 249.T.

³⁴³ Mozsolics 1985, 66.

³⁴⁴ Mozsolics 1989 64.

lazább szerkezetű, esetleg szerves anyaggal soványított öntőformát készítettek.³⁴⁵ Egyszerre akár többszáz viaszforma is készülhetett, s egymás mellé beágyazva egyidejűleg többet meg is öntöhettek. A megöntött szálakról, mint azt a tárgyak egyik végén legtöbb esetben látható ridegtőrésre utaló felületek is mutatják, még melegen letörték az öntőcsapot, azután felmelegítették, hőkezelték a még egyenes bronzszálat, hogy a kívánt formára tudják hajlítani. Így egy egyszerű technológiai eljárással nagyszámú nyersanyaghoz jutottak, mely akár rúdon, akár borszíjra fűzve könnyen szállítható és sokoldalúan felhasználható volt. A felszíni jelenségek és az anyag szerkezeti vizsgálatok tanúsága szerint késztermékeknek, a gyakran még ma is megfigyelhető párhuzamok alapján pedig viseleti darabnak számítanak a kalapált, nagyjából köralakban meghajlított bronzszálak. Ezek tömege a vonalköteggel díszített ingotoknak általában fele, vagyis egy szálból két ékszert alakítottak ki. Ezek anyaguk és az ingotokhoz hasonlóan meghatározott súlyuk révén szintén alkalmasak lehettek csereeszköznek, azonban az elsődleges cél mégis a viseleti darabok kialakítása volt.

Az egyes darabok konkrét felhasználásának módját pusztán a nagyságbeli eltérések alapján nehéz lenne meghatározni, hiszen ezt nyilván a viselő személy testméreteihez alakították. A természeti népeknél megfigyelhető, hogy még a formailag azonos darabokat is esetenként eltérően viselik. Például ugyanolyan hegyes végű, megközelítően köralakra meghajlított bronzszálakat egyaránt láthatunk a felkaron és a lábon, a vádli fölött hordva. (92. tábla 3-4. kép) Tehát ezek ugyanúgy lehettek kar- és lábperecek, ami magyarázza a szakirodalomban megfigyelhető eltérő értelmezést is. A "C"-alakban meghajlított, kétoldalán lapított bronzszálból készített tárgyak alakjuknál és méretüknél fogva nem voltak alkalmasak sem a felkaron, sem a térdhajlat alatti részen történő viseletre. Ezen részek keresztmetszete az izmok feszességétől függően egyébként is megközelítően kör alakú, s a próbák tanúsága szerint fel sem megy rájuk. A meghajlított végeket a lábszárral szembe fordítva azonban a tárgy felhelyezhető a hozzá hasonlóan ovális keresztmetszetű bokára, melyen elfordítva biztosan fennmarad, s a próbák szerint viselete a mozgást sem akadályozza. A leírtak alapján az ilyen formájú és méretű tárgyakat bokaperecként lehet meghatározni.

Mint említettük, a karika csak egy a lehetséges nyersanyagformák közül, hiszen szinte minden nagyobb, ipari méretekben termelő fémműves központ kialakíthatta a maga sajátos termékei mellett sajátos nyersanyag formaváltozatait - akár eszközök, ékszerek, fegyverek formájában is. Ismerünk használatra egyébként alkalmatlan, pl. sarló alakú ingotokat. Ilyet közöl Hampel J. Kajnyikfalváról.³⁴⁶ Regöly-Veravárból például nyolcszögletű rúd ismert.³⁴⁷ Ez utóbbin még a darabolás menete is jól megfigyelhető, amely során a további felhasználáshoz kisebb darabokat vágta le a tömör rúdból /11. tábla 5.,7. kép/. A vágásnyomok és a törésfelület arra utal, hogy a felhevített rudat vésővel vagy - mint azt a gyakorlatban mi is kipróbáltuk - tokos baltával körbe bevagdalták, majd letörték belőle a szükséges nagyságú darabot. A 800 °C fok fölé hevített

³⁴⁵ A közelmúltig alkalmazott eljárások közé tartozik a patakból gyűjtött iszap, valamint állati, szőr, lótrágya stb. felhasználásával készített agyagforma használata. Az első pillanatra bonyolultnak és hosszadalmas viaszveszejtési eljárással valójában gyorsan, 24 órán belül utólagos megmunkálást nem igénylő tárgy állítható elő (Zsák 1958.; Zsák 1960.; Ecsedy 1931.). A lengyel-tóti lelet karikái vizsgálata során H. Born szintén arra a következtetésre jutott, hogy ezeket a tárgyakat viaszveszejtéssel öntötték meg (Born 1992).

³⁴⁶ Hampel 1886-1896 CCV. 1-4.

³⁴⁷ Szabó 1993 188., 11. T. 5.,7.; Kőszegi 1993 225-235.

bronz egyébként annyira kilágyítható, hogy a vágásfelület teljesen simává válik, mint például a tizsaszentimrei kincs öntőlepenye estében, amelyből egy körcikket vágtak ki - feltehetően hasonló módon.³⁴⁸ A régészeti kísérletek során használt szerszám - előzően gondosan felkeményített, jól kikovácsolt tokos balta - éle a többszöri vágás után sem sérült lényegesen. A rúd bevagdálása után, kihasználva azt, hogy a bronz kb. 600 °C fokon rendkívül rideggé válik, a forró bronz-tömbre mért kalapácsütésekkel a bevagdalásoknak megfelelő méreteket törtünk le belőle. Más-kor, amikor öntéshez daraboltuk föl a nagyobb bronztömböket, nem vagdaltuk be előre, hanem ridegtöréssel vágtuk apró, alakatlan darabokra. A jellegzetes, durva, "grízés" törésfelület hosszú évszázadok után is jól jelzi a ridegtöréses darabolást.

Az egyes tárgyaktól elvonatkoztatva az elmondottak alapján a Ha A korszakon belül tágabb időszakra keltezhető sajátos ingotformák kirajzolják a késő bronzkori fémfeldolgozás felépítésének néhány sajátos szerkezeti elemét. A kerek keresztmetszetű, spirálisan körbefutó vonalkötegekkel díszített karikákhoz hasonló tárgyak lelőhelyeit a késő bronzkorban betöltött szerepük alapján vizsgálva látható, hogy a Dunántúlon a nagy fémfeldolgozó központokban (Velem, Lengyel, Regöly stb.) és a kisebb településeken - mint Kisdorog vagy Szakály - egyaránt előfordulnak a karika alakú nyersanyagletek.

A nagy fémművesközpontokban folyó, szinte már ipari méretű termelés mellett a legapróbb falvakba eljuttatott ingotok általános és különös formái - mint például a karikák - a helyi kovácsok nyersanyagai lehettek. A bronzeszközök tömeges elterjedése szükségessé és lehetővé tette az egyszerűbb, bronzszáלבól előállítható tárgyak, mint például a kar- és lábpercek, bokaperecek, tűk, fibulák,³⁴⁹ de nyilván az egyszerűbb öntvények helyi elkészítését és javítását is. Magának a bronz nyersanyagának az előállítása azonban - már csak az ércek hiánya miatt is - messze meghaladta volna a kisebb települések lehetőségeit. A kereskedelem által hozzájuk eljuttatott ingotok révén azonban - amelyek anyaguknál fogva jelentős értéket képviseltek, s így akár pénz-helyettesítő eszközként is szolgálhattak - bekapcsolódhattak egy európai méretű munkamegosztásba.

A bronzkarikák anyagösszetétel elemzési adatai arra utalnak, hogy ezeknek a tárgyaknak az öntőlepenyéketől lényegesen igényesebb formájuk és gyakran sajátos díszítésük mellett óntartalmuk is magasabb, általában 5-6 % vagy 10 % körüli./110., 117. táblák/ Így nemcsak a bronzszáלבól kalapálással készített egyszerűbb eszközök, mint pl. tű, drót (Regöly-Veravár 77., 132. tárgyak) alapanyagául szolgálhattak, de alkalmasak voltak az alacsony óntartalmú öntőlepenyek feljavítására is. Ezeknek a speciális nyersanyagformáknak az öntőlepenyéből, valamint ércekből való ötvözése és előállítása központi, ipari méretű termelést folytató telepeken készült - mint azt a velemi öntőlepenyek összetétele is mutatja /121. tábla/. A központi műhelyekben készített, széles körben elterjedt karika alakú nyersanyagformák azt is lehetővé tették, hogy akár a kisebb falusi műhelyekben, komolyabb kohászati ismeretek nélkül is előállítsák a kívánt összetételű bronzot, az ismert ötvözőanyagtartalmú ingotot a begyűjtött töredékekhez, vagy a nyers öntőlepenyekhez adagolva.

A karikák speciális technológiai ismereteket követelő díszítésével nem a tárgy értékét, tömegét, esetleg csereértékét akarták jelölni. A jellegzetes díszítés és az ezzel járó technológiai ismeretek

³⁴⁸ Hampel 1886-1896. CLXXII. 1.

³⁴⁹ Szabó 1993 194-196.

alkalmasak voltak arra, hogy a különböző kohászati központok termékeit megkülönböztessék egymástól. A szakályi és kisdorogi leletegyüttesben talált díszített bronzkarikák és párhuzamalik, amelyek elsősorban jellegzetes megjelenésű ingotoknak tekinthetők, a hasonló rendeltetésű, eltérő formájú darabokkal együtt - mint például a dél-dunántúli részeken gyakoribb, részben Horvátország felé mutató karperecek,³⁵⁰ vagy a tiszántúli területekre jellemző nyitott végű, vas-tag, öntött karikák, gyakran öntési sorjával vagy az öntőcsap maradványaival (pl.: Pácin,³⁵¹ Rétközberencs,³⁵² stb.) - egyben az őskori bronz nyersanyagkereskedelem piackörzeteinek feltárására is alkalmas tárgytipusok lehetnek.³⁵³

Nyersanyagtartalmuk miatt az adott időszakban a karikák önmagukban is jelentős értéket képviseltek, mint azt a kincsleletekben található, gondosan összegyűjtött bronzdarabok bizonyítják. A bronz nyersanyag rendkívüli jelentősége miatt a töredékek komoly értéket jelentettek, s mint értékmérők a cserét, a kereskedelmet megkönnyítő eszközökként is funkcionálhattak. A karika alakú nyersanyagok anyaguk, formájuk, meghatározott egységenként változó tömegük és széleskörű elterjedésük révén különösen alkalmasak voltak az általános egyenérték szerepét tartósan betöltő áru szerepére, az őskori pénz funkciójának ellátására. A bronzkarikák ezt a szerepet az elsődleges, nyersanyagforrás funkción túl kiválóan ellátták. Két, spirálisan körbefutó vonalköteggel díszített, speciális technikai, technológiai ismereteket követelő, alapvetően és nagymennyiségben a dunántúli területekre jellemző töredékek a tiszaszentimrei leletegyüttesben a Kárpát-medencében általánosan elterjedt rombusz keresztmetszetű bronzkarikák melletti felbukkanása jelzi e sajátos tárgy mozgását is.³⁵⁴ A spirálisan körbefutó vonalköteggel díszített, dunántúli eredetű karikákhoz hasonlóan más, pl. karperec formájú ingotok is alkalmas áruk voltak nyersanyagtartalmuknál fogva az általános egyenérték szerepének tartós betöltésére, s mint azt a régészeti adatok mutatják, széles területen elterjedtek, mozogtak, így a pénzforgalom kritériumainak is eleget tettek. Az ingotok egy része nyersanyag, használati, viseleti tárgy funkcióján túl tehát közvetlenül is jelentős szerepet játszott a későbronzkori kereskedelemben és pénzforgalomban.

A fémművesség nyersanyagellátása szempontjából a távoli érclelőhelyek miatt a kereskedelem fejlettsége természetszerűleg döntő fontosságú volt. A régészeti leletek és az anyagösszetétel-elemzések jól mutatják, hogy a fémellátásnak két alapvető formája alakult ki: a nyers öntőlepenyek és a különböző mértékben ötvözött, eltérő formájú ingotok. Ezek készítési helye eltért: a nyers öntőlepenyeket a mai országhatárokon kívüli bányák mellett működő kohókban állították elő, amit a nagy ipari telepeken - mint Velem-Szentvid vagy Sághegy - tovább ötvöztek. A jó minőségű bronzokból azután a központi telepek speciális ismereteik és eszközkészletük birtokában szélesebb területek szükségleteit kielégítő, jó minőségű, nagyértékű fegyvereket, ékszereket, használati eszközöket, vagy sajátos formájú ingotokat állítottak elő.

³⁵⁰ Mozsolics 1985. 65.; Honti 1992 43.

³⁵¹ Hellebrandt 1989 99.

³⁵² Mozsolics 1985. 194.T.1-11.

³⁵³ Az egyes piac- és műhelykörzetek pontosabb körülhatárolásához azonban mindenképp további, hiteles anyagösszetétel elemzésekre lenne szükség. A magas antimontartalmú velemi öntőlepenyeket például minden valószínűség szerint nemcsak az ott készült tárgyakhoz használták fel, hanem speciális ingotok formájában távolabbi területekre is juttattak ebből a tárgyak használhatóságát az ön mennyiségénél kétszer nagyobb mértékben javító ötvözőanyagból.

³⁵⁴ Kemenczei 1984 188-189.; Hampel 1886-896 CLXXII, CLXXIII.

A késő bronzkori fémtermékek eljuttatására a műhelykörzetektől a felhasználóig J. M. Coles nyolc módozatot sorol fel.³⁵⁵ Az általa felvázolt variációk (a helyi piac, a helyi és szomszédos területek piackörzete, a helyi piac és szomszédos piackörzet direkt kapcsolata, a szomszédos piackörzet számára történő termelés, a kizárólag csak a szomszéd piackörzet számára való termelés, termelés a szomszédos piackörzet és az azon túli területek számára, termelés a távolsági kereskedelem számára közbülső piackörzet közvetítő tevékenységével - vagy a kiindulási pontról való direkt szállítással, termelés a távoli területek számára többszöri csere segítségével) jól mutatják a késő bronzkori termelés fejlettségét, a kereskedelem rendszerének sok-rétűségét, bonyolultságát.³⁵⁶ Szükségesnek tartjuk azonban felhívni a figyelmet arra, hogy Coles minden esetben abból indul ki, hogy a termékek hogyan jutnak el a központból a felhasználóig. (Ez a központból történő kisugárzás-szemlélet egyébként kutatástörténeti és módszertani kényszerűségekből is hagyományosan áthatja az egész régészeti gondolkodást.)

4.3. AZ URNAMEZŐS KULTÚRA FÉMMŰVESSÉGÉSNEK TELEPÜLÉS- ÉS TERMÉK-SZERKEZETI ÖSSZEFÜGGÉSEI A RÉGÉSZETI ADATOK, AZ INTERDISZCIPLINÁRIS KUTATÁSI EREDMÉNYEK ÉS A RÉGÉSZETI KÍSÉRLETEK TÜKRÉBEN

A kárpát-medencei bronztárgyak anyagösszetétel-elemzéseik támpontot adnak a bronztermékek két legfőbb csoportja: a nyersanyagok és a késztermékek forgalmának felvázolására. A nagyszámú magyarországi késő bronzkori kincsleletben a nagyobb hatalmi központok és a kisebb települések környékén egyaránt kerültek elő öntőlepenyek és speciális formájú ingotok, öntőformák. Ez önmagában is jól jelzi, hogy a bronztárgyak jelentős része helyben, a falvak műhelyeiben készült. Ezt bizonyítja az is, hogy az anyagösszetétel-elemzések szerint a széles körben, nagytömegben előforduló, egyszerű, helyben készíthető használati eszközök, mint például a sarlók, tokos balták öntartalma alig haladja meg a nyers öntőlepenyekét. /110. tábla/ A felhasználás oldaláról közelítve tehát Coles-szal szemben³⁵⁷ az urmezős kultúra időszakában a bronz nyersanyag- és termékelosztásra egy olyan modellt kell feltételeznünk, amely nem az egy központon keresztüli leosztás elvére épül, hanem több egymás melletti csatornát kíván. Ennek egyik fontos ága a távoli bányavidéken működő kohászati központból az ipari központokba vezet, a másik közvetlenül a legkisebb falusi műhelyekig áramoltatja a nyers öntőlepenyeket. A velemi, sághegyi méretű ipari központokba eljuttatott nyersanyag, amely feldolgozás után különböző formájú és tulajdonságú félkésztermékek, használati eszközök és speciális szaktudást igénylő késztermékek formájában került ismét forgalomba, a kereskedelem révén pedig a távoli kis műhelyekbe vagy a falusi felhasználókig is eljutott. Az ércbányák környékén lévő kohászati központokból horizontálisan a távolsági kereskedelem révén szállított nyersanyag közvetlenül és többszöri áttétel révén jutott el a felhasználóig. A fémművesség vertikális felépítésének elemeit a határainkon kívül eső kohóművek és néhány kohászati alapműveletre is képes ipari központok mellett, - mely utóbbiak közül a Dunántúlon csak kettő, Velem-Szentvid és Sághegy ismert - a nagyobb hatalmi központok környékén működő (Regöly, Lengyel, Pécs-Jakabhegy stb.), nagy szakmai tudást igénylő tárgyak (fegyverek, edények, sisakok stb.) gyártására szako-

³⁵⁵ Coles 1981 Fig.1.

³⁵⁶ Coles 1981 98-105.

³⁵⁷ Coles 1981 Fig.1.

sodott fémműves központok, továbbá a kisebb körzetek igényeit kielégítő műhelyek (pl. a bölcskei) és a faluról falura vándorló vándorkézművesek jelentették.

A hazai régészeti kutatásban sajnos viszonylag kevés a pontos régészeti megfigyelés mellett feltárt, a bronzművességhez kapcsolódó objektum.³⁵⁸ A tárgyi anyag tekintetében sokkal jobb a helyzet: az öntőtégelyek, öntőkanalak, fújtatócsövek, öntőformák és egyéb eszközök szép számmal kerültek elő, számos alkalommal összegyűjtöték az egyébként is nap mint nap bővülő adatokat.³⁵⁹

A késő bronzkori fújtatócsövekre a hazai leletanyagban két változatot találunk: az 5-10 cm hosszúságú, csonkakúpos³⁶⁰, és a nagyobb méretű, a végén ívben meghajlított, általában becsípkedett bordákkal díszített példányokat.³⁶¹ A két eltérő forma és méret nyilvánvalóan más és más módon lehetett használatban, eltérő szerkezetű és méretű tömlőkre szerelve. Sághegyi, egyetlen leletegyüttesen belüli közös előfordulásuk azonban azt is jelzi, hogy ezt a különbséget elsősorban a munkafolyamat - kisebb-nagyobb méretű eszközhasználat - praktikuma,³⁶² s nem egyéb tipológiai okok magyarázzák.³⁶³ Noha számos adatunk van az öntésre használt tégelyekre, a többnyire töredékes leletek értékelése nehézséget okoz. A nyél nélküli, kisebb-nagyobb edényhez hasonló formákon³⁶⁴ kívül a kanálhoz hasonló alak³⁶⁵ a gyakori. Az öntőkanalaknál a részletek különösen fontosak, mert a formai hasonlóság még nem jelent azonos használatot is. A Ság-hegyről közölt öntőkanalak között - mint azt Lázár J. is megjegyzi - vannak lyukas és tömör nyelű példányok. A keresztül lyukas darabok nyilvánvalóan alkalmatlanok a bronzolvasztásra, hiszen

³⁵⁸ Először Kovács Tibornak sikerült egy középső bronzkori öntőműhelyt feltárnia Lovasberényben (Kovács 1995 39.) Poroszlai Ildikó Százhalombattán a nagyrévi kultúra telepén tárt fel öntőműhelyhez tartozó leleteket. (Szóbeli közlését ezúton is köszönöm.) A legutóbbi években pedig Ilon Gábor góri és Szabó Géza bölcskei feltárásain kerültek elő hiteles körülmények között késő bronzkori öntőműhelyek (Ilon 1992., 1992b).

³⁵⁹ Az egyes feldolgozásokról a bevezetőben már szoltunk, ezért ezúttal csak mint egyik legfontosabb munkát, Mozsolics Amália legutóbb e témakört részletesen elemző cikkét szeretnénk megemlíteni (Mozsolics, 1984. 39-46.).

³⁶⁰ Ez a forma főként a kora- és középső bronzkori lelőhelyekről ismert (pl.: Százhalombatta, Poroszlai I. ásatása; Zók-Várhegy, Kovács 1995 34.), de a késő bronzkori eszközök között is megtalálhatók. Lázár J. a sághegyi leletek között "öntőtölcsérek"-et sorol fel, amelyek azonban fújtatócsövek (Miske 1929 82.; Lázár 1943 283., VI. 62-65.).

³⁶¹ Sághegy, Lázár 1943 283., VII.66-68.; Környe, Patek 1968 CXVIII. 1.; Dunaföldvár-Kálvária 25. gödör, Szabó G. ásatása.

³⁶² Érdekes módon Lázár Jenő valamiért fordítva írja le a nagyobb méretű fújtatócsövek használatát. Szerinte a fújtatócsőszeleesebb részét tapasztották a kohóhoz, és az ívben meghajlított, keskenyebb végéhez kötötték a bőrtömlőt (Lázár 1943. 283.). Nyilvánvaló a tévedése, hiszen a szűkítésnek fizikai törvényszerűségekkel magyarázható célja volt. Mégpedig az, hogy a fújtatóból az eredetileg nagyobb keresztmetszeten átáramló levegő a fokozatos szűkítés miatt egyre jobban felgyorsulva nagyobb hatásfokkal táplálja a tüzet.

³⁶³ A hasonló leletek a Kárpát-medencén kívül is széles körben elterjedtek. (Tylecote 1987 119., 124.) A legnagyobb méretű, lófejet utánzó fújtatócső az urnamezős kultúra németországi területén került elő, jelenleg a stuttgarti múzeum kiállításán látható.

³⁶⁴ Lázár 1943. V.t.; Patek 1968. XIV.t. 20-25.

³⁶⁵ Patek 1968. XXXVI.t.

kifolyik belőlük a fém.³⁶⁶ A tárgyak pontos megfigyelése egyébként is lényeges, hiszen olyan kis formai eltérések is, mint az, hogy a nyélnyújtványban van-e lyuk vagy sem, eltérő szerkezetű olvasztókohó használatát feltételezik. Az öntőkanalat ugyanis másként, más szer-számmal lehet megfogni egyik, illetve másik esetben.³⁶⁷ A megolvadt fém formába öntéséhez - nemcsak formai szempontból - a legváltozatosabb anyagokat alkalmazták. A legkülönbözőbb kőzetek, főként homokkövek és kerámiaminták mellett fém-³⁶⁸ és döngölt homokmintákat alkalmaztak, de esetenként falapokat, faszéndarabokat, vagy mélyedéseket is felhasználtak a kívánt forma elérésére («FN1.>). Különösen az egyszerű öntecsek esetében figyelhető meg a farostok lenyomata - ami lehet pusztán az alkalmazott technológiai folyamatok következménye, de az öntőlepenyek fel-darabolását segítő tevékenység eredménye is. Faszén lenyomata csak kivételes esetben marad-hat meg a bronzon, hiszen normál esetben a könnyű fadarab, faszén felúszik a bronz tetejére, csak a tudatosan leszorított vagy véletlenül leszorult fa rostjai hagyhatnak le-nyomatot a bron-zon. Zárt öntőforma használata esetén ilyen lenyomatok nem kerülhetnek a bronztárgyra, csak a nyitott forma használatánál - ami szinte kizárólag csak az öntőlepenyek esetében volt hasz-nálatos. Ilyen, a nyersanyagformák öntésére szolgáló bemélyedést eddig két helyen sikerült megfigyelni. Kovács Tibor a lovasberényi műhelynél egy kis letapasztott padkán figyelt meg átégett, piskóta, gömbszelet és henger formájú bemélyedéseket.³⁶⁹ Gerjen-Várad-pusztán pedig a nagyrévi tell fölötti rétegekhez tartozott az a szántás aljában talált, ugyancsak letapasztott, erő-sen átégett rész, amelybe a bemélyedő gömbszelet alakú kis rész feltehetően szintén a bronz-feldogozást szolgálta.³⁷⁰

A legutolsó kis falusi műhelyig áramoltatott bronz nyersanyag a helyben lakó kovács, vagy a vándorkézműves kezén alakult át a kívánt tárggyá. Nyilvánvaló, hogy mindkét esetben más és más eszköz- és mintakészletre, vagy például eltérő típusú olvasztókohóra volt szükség. A vándorkézműves esetében az egyik fő szempont a felszerelés szállíthatósága volt. Feltehetően részben ez indokolja a gyakran használt famintákat is, amelyek egyben az öntéshez használt for-mázó anyagot is meghatározták: az csak homok vagy agyag lehetett.³⁷¹ Az öntéshez egyszerű, rövid idő alatt elkészíthető, kb. 40 cm átmérőjű, gödörszerű kis kohót használtak. Mint az Euró-pa-szerte végzett kísérletek mutatják, ebben az esetben a tűz szításához két egyszerű bőrtömlőt alkalmaztak fújtatóként. Ezekből a kohókból a régészeti ásatásokon legfeljebb a kis kerek, erő-sebben átégett falú gödrök, vagy a kb. 10 cm hosszú fújtatócsövek kerülnek elő.³⁷²

Az 1995-ben Bölske-Sziget lelőhelyen feltárt öntőműhelyek jól jelzik, hogy az állandó műhely-ben dolgozó öntőmesternek már megérte némileg nagyobb munkával, de termelékenyebb kohót építenie, és többször használható kőformákat faragnia. A bölskei leletanyagban az öntésre utaló

³⁶⁶ Lázár 1943. VI.t. 45.

³⁶⁷ A késő bronzkori brozolásztás és öntés egyes módozatainak kikísérletezésére az elmúlt években Regölyben, Bölskén és Százhalombattán szervezett kísérleti régészeti táborokban ke-rült sor (Szabó 1993e, 1995d.).

³⁶⁸ A fém öntőformák elsősorban Nyugat-Európa területein és a Brit-szigeteken terjedtek el (Tylecote 1986 90-93.), de a hazai anyagban is van egy, ismeretlen lelőhelyű példány (Hampel 1886-1896 IV.7-8.

³⁶⁹ Kovács 1995 39.

³⁷⁰ Szabó 1992 XXXIX.1.

³⁷¹ Hampel 1886-1896 III. 197.; Szabó 1993 193.

³⁷² Lázár 1943 283., VII. 62-65.; Tylecote 1987 fig. 4.9.

salakdarabok és egyéb leletek mellett rendkívül erősen átégett paticsdarabok, és egy rostély töredékei voltak. A rostélyt kb. 5x5 cm-es távolságban 2,5-3 cm átmérőjű lyukak törték át /130. tábla/. A műhely területén a több helyen erősen átégett foltok a járósínt fölé emelkedő kohó helyére utaltak.

A paticsdarabok és a rostély töredékei alapján több kohó változatát készítettük el. Az egyiket egyetlen tömlő alakú, ill. hagyományos formájú kovácsfújtatóval izzítottuk. A kísérletek során az egyik fő probléma az volt, miként tudjuk a régészeti anyagban megtalálható rövid fújtatócsövekkel az 1200-1300 °C fokig felhevített kohót működtetni anélkül, hogy megégnénk a magas hő közelségétől. A fújtatócsövek közdarabokkal történő meghosszabbítása nem jöhetett szóba, mert arra - bár számos kísérletben használnak ilyen hosszabbító csöveket - a Kárpát-medencei leletanyagban nincs példa.³⁷³ Így a rövid fújtatócsövet sárral a közvetlenül a járósíntre rakott, 50 cm magas, 30 cm belső átmérőjű, 20 cm falvastagságú kohó alsó részén lévő lyukba tapasztottuk. Az ily módon a kohóba vezetett, és a rostély által egyenletesen elosztott levegő az egész kohó belsejében egyenletesen magas hőmérsékletet biztosított. Izzó állapotában a faszén csak 800-900 °C fok volt, fújtatva viszont az 1400 °C fokot is elérte. Egyetlen fújtatás, a levegő bevezetése esetén a kohó belsejében lévő szűk térben méréseink szerint akár többszáz fokos eltérés is lehet - ami ahhoz vezethet, hogy a bronz nem olvad meg. A tapasztott kohók külső hőmérséklete folyamatos üzemelés esetén sem haladta meg a kézmeleg állapotot.

A bölcskei lelőhelyen megfigyelt és folyamatosan mért viszonylag erős és állandó irányú széljárás a rostélydarabok ismeretében egy széltorlasztásos kohó használatának a lehetőségét is felvetette. Hasonlót már a regölyi kísérletek során is építettünk, akkor azonban a rekonstrukcióhoz még csak egy lófejet utánzó fújtatócső állt rendelkezésünkre. Az újabb leletek megerősítik a korábbi elképzeléseket, s a gyakorlatban már egészen enyhe erejű szélnél is kiválóan működő olvasztókohót lehet segítségükkel építeni. A felsorolt négy típusú kohó (gödörszerű, két fújtatóval működtetett kohó; járósíntre tapasztott, kerek palástú, két fújtatóval működtetett kohó; járósíntre tapasztott, rostéllyal ellátott, egy fújtatóval üzemeltetett kohó; magaslati helyen, dombélen - széljárta helyen épített széltorlasztásos kohó) természetszerűen felveti, hogy a különböző régészeti lelőhelyeken előkerült műhelyek értékelésénél a leletanyagot, a régészeti jelenségeket, a földrajzi tényezőket csak összefüggéseikben lehet vizsgálni. Nem célszerű például egy olyan lelőhely anyagát, eszközkészletét, ahol egy egyszerű gödröt használtak a kis közösség néhány dekányi bronzának megolvasztásához párhuzamba állítani egy olyan fémműves köz-pontéval, ahol a speciálisan kiválasztott hely révén a széltorlasztásos kohóban állandóan, nagy hatékonysággal, jelentős, akár több mázsás mennyiségben termeltek az általánosan használt eszközök mellett speciális tárgyakat is nagy területek számára.

A kohók formája egyben az öntésnél használható eszközöket is meghatározza. A zárt kohókban csak öntőtégely használható, míg az öntőkanál csak a gödörszerű kohónál alkalmazható. Ez utóbbi kivételéhez ugyanis egy fadarabot kell a nyélben lévő lyukba helyezni, s ehhez a kohónak legalább részben nyitottnak kell lennie. A régészeti anyagban megfigyelhető öntőtégelyek mozgatásához általában az egyiptomi ábrázolások közül a Rekh-mi-re fáraó sírjában talált módot szokták példaként hozni.³⁷⁴ Azonban az ábrán látható: két palca közé szorítva nem lehet az

³⁷³ Tyecote 1987 117-118.

³⁷⁴ Coghlan 1951 fig. 8-10.

öntőtégelyt zárt kohóból kivenni, mert a pálcákkal oldalról nem lehet hozzáférni.³⁷⁵ Az ábra többi részletére pillantva láthatjuk azt is, hogy az öntők ebben az esetben szintén egy nyitott kohóban öntenek - ezért lehet az említett módon fogni a tégelyt. A kísérletek során a zárt falú kohók használatához legallyasztunk egy karvastagságú faágot, majd faékkal kettéhasítottuk. Belső felét tokos baltával a tégely formájának megfelelően homorúra vajtuk, a másik végét pedig elvékonyítottuk, hogy "kényelmes fogása" legyen. Az így elkészített fogófával először az izzó faszén alól kitakartuk a kohó belsejében lévő tégelyt. Ezt követően a két fát egyre lejjebb csúsztattuk a tégely mellett, majd a fogópárt összeszorítva kivettük a tégelyt, és rögtön az előmelegített formákba öntöttük a bronzot. A tégelytől belobbanó fogópárt az öntés után azonnal vízbe mártottuk, így heteken keresztül használhattuk ugyanazt az eszközt.

A Kárpát-medencében széles körben előkerülő homokkő öntőformák arra mutatnak, hogy ezeket az állandó műhelyekben többszöri felhasználásuk miatt igen kedvelték. A vörös, finom szemcsézetségű homokkő az egyik legelterjedtebben felhasznált kőféleség. A bölcskei lelőhely tárgyainak vizsgálata során azonban Szónoky M. egy sajátos, a Kárpát-medencében idegen, megégyve szürkészínű homokkőre hívta fel a figyelmet.³⁷⁶/127. tábla 1. kép/ Hasonló krétakori homokkő Európában csak három helyen fordul elő: Rügen szigetén, Dániában és Angliában. A lelőhelyen több tárgy öntőformáját vésték ilyen kőbe, s olyan homokkő darab is volt, amelybe még nem vésték semmit. A nyers kőtomb azt mutatja - akár a Kárpát-medencében használatos tárgyak formája a kész öntőformákban - hogy a homokkővet tömbökben szállították ide, s itt dolgozták fel. A területünkön talált északi eredetű bronztárgyak tanúsága szerint a három számításba jöhető terület közül valamelyik dániai bányából származhatott. Ez a nyersanyag-ellátás kérdése mellett ismét felveti a távolsági kereskedelem, és a már nem is Kárpát-medencei, hanem európai méretű munkamegosztás fontosságát. Hiszen itt egyértelműen nem néhány ember élvezeti és luxuscikkeinek távolsági kereskedelméről, hanem speciális ipari nyersanyagok európai szinten jól megszervezett kereskedelméről van szó.³⁷⁷

Az északi területek felé mutat egyébként az említett lelőhelyen - Magyarországon eddig egyedül - előkerült ún. "kannelúrakő" is. Az első pillantásra egyszerű kerek őrlőkőnek tűnő tárgy alsó és felső fele enyhén homorú, oldalán pedig egy bemélyedés fut körbe, a kannelúra, amelyről nevét is kapta. A szakirodalomban gyakran érczúzó kalapácsként határozzák meg,³⁷⁸ ez azonban kizárt, mert ahol előfordul, ott többnyire nincs is a közelben érclelőhely és kohászati központ - miként például Bölcske esetében. Elterjedési területe az északi bronzkor³⁷⁹ és a Zürichi tó környéke, továbbá 1-1 darab ismert a magyarországi Bölcskéről és a horvátországi Kalnikról.³⁸⁰ A kannelúrakövek elterjedési területén igen jelentős az öntéssel előállított tárgyak száma, s így feltehető, hogy inkább az öntésnél használhatták ezt a speciális eszközt - talán éppen a homokformák bedöngöléséhez.

³⁷⁵ Uo.: fig. 8.

³⁷⁶ Szónoky Miklós kollegális segítségét ezúton is köszönöm. A továbbiakban együtt tervezzük az öntőformák nyersanyagvizsgálatai eredményeinek közreadását.

³⁷⁷ Tylecote 1987 18-22.

³⁷⁸ Indrenko 1956. 9-11.

³⁷⁹ U.o.: Abb. 12.

³⁸⁰ Horst 1986.; Majnaric-Pandzic 1992 57-63.; Vrdoljak 1992 75-87.

Az elmondottak alapján felmerül a kérdés, hogy egy olyan lelőhelyet, mint például Bölcske-Sziget, a Kárpát-medencei késő bronzkori fémművesség srtuktúrájában hol lehet elhelyezni. A terepbejárásokon megfigyelt legalább 5-6 jól elkülönülő műhely, a viszonylag sok öntőformátörödék,/127-129. táblák/ a távolsági kereskedelemről beszerzett nyersanyagok, a messzi területek felé kapcsolatot mutató kannelurakó alapján első pillantásra kitüntetett szerepre gondolhatunk. A könyékbeli szétszórt, urnamezős kis lelőhelyek, továbbá az, hogy a műhelyek valószínűleg időben elnyújtva követték egymást, gondosabb mérlegelésre intenek. A topográfiai viszonyokat és a régészeti adatokat összevetve a késő bronzkori fémművesség szélső szintjei közötti átmenetet jelentő Bölcske-Sziget lelőhely az öntőformák gyakori előfordulása, a távolsági kereskedelemben beszerzett speciális homokkő-formák, valamint a kor csúcstechnikáját jelentő szelatorlasztásos kohó ellenére sem tekinthető nagy ipari központnak. Mindössze a környező néhány urnamezős falu lakosságát láthatta el a mindennapi élet során használt, az anyagvizsgálatok tanúsága szerint viszonylag alacsony ötvözöttségű tárgyakkal./122. tábla/ A nagy és jól ismert Kárpát-medencei fémműves központok mellett a kisebb műhelyek - mint például a góri³⁸¹ vagy a bölcskei - összességükben az urnamezős kultúra termelőeszközeinek jelentős részét állították elő, s így gazdasági szerepük meghatározó volt az adott időszakban.

A régészeti tárgyak szövetszerkezeti vizsgálata arra utalt, hogy a legtöbb eszközt kalapálással munkálták meg, sőt még az öntött tárgyak esetében is gyakran volt szükség a forma vagy a szövetszerkezet átalakítása érdekében a kalapács használatára.³⁸² Különösen feltűnő, hogy a késő bronzkori fémléletek mennyiségéhez viszonyítva ritkán kerülnek elő a fémmegmunkálás fontos eszközei: a bronzkalapácsok. Mozsolics A. két ízben is összegyűjtötte a kalapácsokra vonatkozó adatokat,³⁸³ amit legutóbb további példányok ismertetésével egészítettünk ki.³⁸⁴ A dunántúli leletekben előforduló tokos kalapácsok többségét Mozsolics Amália a kurdi horizontra keltezte. A sághegyi telepen előkerült egyik példány esetében a félgömbölyű ütőfelület alapján Mozsolics Amália azt feltételezi, hogy ez az eszköz bőrmegmunkáló kalapács volt. Ennek ellentmond az a tény, hogy az I. számú, a kurdi horizontra keltezhető kincsben a kalapácsok mellett egy bronzműves felszereléséhez tartozó tárgyak: vésők, poncolók is voltak.³⁸⁵ Petres É. előzetes közlése szerint a közel nyolcszáz darabból álló nadapi leletegyüttesben a sisak, a lábvért, az edények, a szűrő stb. mellett egy bronzműves teljes eszközkészlete: üllő, véső, poncolótű, öntörög mellett szintén előkerült kalapács is.³⁸⁶ Balatonkilitinél a tokos kalapács, sújtásos fibula, fegyvertörödékek, sarlók, tokos balták, tokos véső, öntörögök társaságában,³⁸⁷ Keszőhidegkúton pedig sarlók-, szárnyas- és tokos balták-, fegyverek-, ékszerek- és edények töredékei között került elő.³⁸⁸

³⁸¹ Ilon 1990 12.; Ilon 1991 12.; Ilon 1992 9-13.; Ilon-Biró 1991 12-14.; Ilon 1992b; Biró 1995 51-56.

³⁸² A kalapálásos technikához szükséges többi szerszám közül a fémek díszítésére használt poncolók, vésők stb. különösen Velemben kerültek elő nagyobb számban (Miske 1907 XXIX.; Miske 1929 Abb. 10.) Ezek és a többi hasonló szerszámok értékelése csak az eddig ismert, a témánk szempontjából legteljesebb zárt leletegyüttes, a nadapi kincslelet ismeretében adhat igazán újat - aminek teljes közlésére azonban sajnos még várni kell.

³⁸³ Mozsolics 1985 39-40.; uő.: 1984 41-43.; uő.: 1945 53-57.

³⁸⁴ Szabó 1993c

³⁸⁵ Lázár 1941 371-379.; Mozsolics 1985 41; Mozsolics 1945 53.; Lázár 1942. 7.t. 70-71.; Patek 1968 XXXII.2-3.

³⁸⁶ Mozsolics 1985 40., 151.; AÉ 98/1971 167.; ARegia 12/1972 282. Petres 1982 57-80.

³⁸⁷ Kuzsinszky 1920 4-8., 7,19.; Mozsolics 1985 42., 91-92.

³⁸⁸ Mozsolics 1985 39., 135., 31,16.; Kemenczei 1988 72,38.

Mohácsnál az elkallódott, mintegy 15 kg körüli, tokos baltákból, sarlókból, lándzsacsúcsokból, karperecekből, öntörögökből álló leletben tokos kalapács is volt.³⁸⁹ Esztergomnál fehérbronzból készített tokos kalapácsot említenek az agyagedényben elrejtett, 298 darabból álló többségében elhasznált, törött sarlót, kést, tokos baltát, kardot, lándzsahegyet, karperecet, fibulát, díszített és díszítetlen bronzlemezt tartalmazó raktárleletben.³⁹⁰ Peterdnél a tokos kalapács főként sarlókból és tokos baltákból álló,³⁹¹ Regöly-Birkás lelőhelyen pedig szintén tokosbaltákat és sarlókat is tartalmazó leletegyüttesben került elő a tokos kalapács.³⁹² Lengyeltóiban két raktárleletben is voltak kalapácsok, a II. kincsben a tokos kalapács mellett tokos balta és véső, sarlók, sújtásos fibula, karperecek, karikák, lándzsahegy stb. is volt.³⁹³ A III-ban a főként kalapálással készített ékszerek: sújtásos fibulák, pajzsos fibula, pápaszem alakú csüngő, nyakperecek, lábperecek, kartekercsek stb. és néhány használati eszköz, sarló mellett négy tokos kalapács volt, melyek egyike a leírás szerint fehérbronzból készült.³⁹⁴ A leletegyüttesekben más eszközök átalakítása révén készített kalapácsokat is találunk. Az öreglaki lelet szárnyas balták, tokos balták, kardpengetőredékek, sarlók, lándzsacsúcsok társaságában előkerült kalapácsa eredetileg tokos balta volt, csak miután élrésze letört, használták ütőeszközként.³⁹⁵ A sióagárdi II. kincsben a tokos kalapács mellett szintén jól megfigyelhető, hogy két esetben az eredetileg szárnyasbaltának használt szerszám éle letört, és ekkor kalapácsot készítettek belőle. Az ütőfelületnél jól látható, hogy az élnél az egyenetlen törésfelületet kalapálással elegyengették, visszatömörítették. Erre utal az, hogy ezen a részen a balták teste vastagabb.³⁹⁶ A Rinyaszentkirályon talált leletegyüttesben öntörögök, szárnyas és tokos vésők, balták és egyéb töredékek mellett (feltételezhetően a lelethez tartozik még több edény díszített lemezének darabja, valamint egy vízimadarakkal díszített lábszárvédő is) előkerült szárnyas kalapácsról, ami eredetileg egy balta volt, Mozsolics Amália a forma és a méret alapján feltételezi, hogy ez a tárgy esetleg egy aranymegmunkálásra használt trébelő kalapácsnak a nyéllyuknál eltört darabja.³⁹⁷

³⁸⁹ Mozsolics 1985 40., 150.; Hampel 1888-1896, 92.

³⁹⁰ Mozsolics 1985 40., 117., 138,6.; MRT 5 212. 19-20. 8/80. lh.

³⁹¹ Mozsolics 1985 39., 174., 60.

³⁹² Cziráki V. magángyűjtő 1990 őszén a regölyi határ Szakály felé eső részén, a Kapos keleti oldalán fekvő Birkás nevű határrészen bronz kincslelet tárgyaira bukkant. A leletegyüttesben tokos balták, nyélnyújtványos sarlók, fegyverek és ékszerek töredékei, valamint egy tokos kalapács volt. A kincs mintegy 200 darabból állt. Sajnos egyedül a tokos kalapácsot sikerült dokumentálnunk, a raktárleletnek azóta nyoma veszett. (A kalapács leírása: tokos kalapács. Széles kávája alatt egy vízszintes körbefutó és egy ékalakú bordadíszítés van. Két oldalán az öntési varratokat gondosan lecsiszolták. A domború, majdnem kerek ütőfelület szélén látható vastag, éles sorja a fokozott igénybevételre utal. A tárgy hossza 8,4 cm, a tok mélysége 6,4 cm, a perem külső átmérője 3,6x4,4 cm, belső átmérője 1,6x2,4 cm, az ütőfelület mérete: 2,8x3,6 cm. A köpü fokozatosan, kúposan szűkül.)

³⁹³ Kuzsinszky 1920 24-28. 30,3.; Mozsolics 1975 I,10.; Török 1940 63. 9.; Mozsolics 1985 142-143. 107.

³⁹⁴ Mozsolics 1985 40., 143., 109,36-39.; Török 1940 57-64. 63. II,36-39.; Mozsolics 1975 5-9. III,36-39.

³⁹⁵ Mozsolics 1985 163-165. 77,1.

³⁹⁶ Mozsolics 1985.186.

³⁹⁷ Mozsolics 1985 39., 183., 96,8., 97,10.

Hampel 1886-1896 CCXIV-CCXV., CCXIV,9.,20.; uő.: AÉ 15/1895 104. XV.

A Mozsolics Amália által a gyermelyi horizontba sorolt kincsleletek között is több tokos kalapácsot ismerünk, például magán a névadó lelőhelyen is volt egy példány.³⁹⁸ Beremenden a késő bronzkori telep egyik gödörháza melletti gödörből 20,8 kg súlyú, öntési selejteket, félkész öntvényeket tartalmazó, összesen 149 darabból álló együttesben egy nagyméretű, fehérbronz tokos kalapács volt.³⁹⁹ Lovasberénynél a tokos kalapács öntőlepenyékkel, hibás öntésű tokos baltákkal, kardtöredékekkel együtt,⁴⁰⁰ Nagydém-Gerha lelőhelyen pedig a 75 kg súlyú bronzleletben a liptói típusú kardmarkolatok, madárfigurák, sarlók, bronz lepények mellett tokos kalapács és egy nyéllukás, nagyméretű kalapács 2,315 kg súlyú töredéke volt.⁴⁰¹ Az ország más részeiről Tiszaszőlősről,⁴⁰² Balsárról,⁴⁰³ Hajdúnánásról,⁴⁰⁴ Gyöngyössolymosról⁴⁰⁵ és Kenderesről⁴⁰⁶ pedig az I. kincsből ismertek a kurdi horizontra keltezhető tokos kalapácsok. A tör- és sarló töredékeket, csészés kardmarkolatot, valamint 6 tokos baltát tartalmazó dévaványai kincslelet tokos kalapácsa pedig a gyermelyi leletekkel egyidős.⁴⁰⁷

A régészeti leletek szövetszerkezetének elemzésekor már szembetűnt, hogy a kalapálásos technikának milyen komoly szerepe volt a késő bronzkori eszközök alakításában és használhatóságuk növelésében/111. tábla/. Erre mutatnak azok a leletegyüttesek is, amelyekben a kalapácsok mellett kalapálással készített tárgyak, és legtöbbször a mezőgazdasági termelés eszközei: a sarlók és tokosbalták szintén előkerültek. Ezek élezéséhez elengedhetetlenül fontos volt anyaguk tömörítése, kalapálása. A nemzetközi mérési adatok azt mutatják,⁴⁰⁸ hogy a tiszta, öntött réz keménysége 30 HB⁴⁰⁹ értéktől alacsony, 0-1,5 %-os ötvözöttségű, még gyakorlatilag réznek tekinthető anyag felhasználása esetén a megmunkálástól függően kb. 180 HB értékig terjed.⁴¹⁰ A vizsgált ötvözők közül a keménységet különösen az arzén befolyásolja kedvezően/125. tábla/.

³⁹⁸ Mozsolics 1985 40., 82-83., 121., 240,3.; Vásárhelyi I. AÉ 1889 62-66.

³⁹⁹ Mozsolics 1985 40., 95-96., 253,9.,8.,10.; Kiss A. RégF 1/23/1970 4.

⁴⁰⁰ Mozsolics 1985 40., 144., 245,6,7,12.

⁴⁰¹ Mozsolics 1985 163-165. 77,1.

⁴⁰² Érdekes módon a leletegyüttesben található tokos kalapács Mozsolics Amália felsorolásából mind a két alkalommal kimaradt.(Mozsolics 1985 39-40.; uő.: 1984 41-43.; uő.: 1945 53-57.) Eredetileg a két világháború között a tiszafüredi Oláh M. kereskedő birtokában volt a feljegyzések szerint Tiszaszőlősen előkerült késő bronzkori kincslelet. A leletegyüttes sajnos ma már nincs meg, csak fotónegatívját őrzi a Magyar Nemzeti Múzeum (a negatív leltári száma: Ö.1268.). A leletben a tokos kalapács mellett 3 tokos balta, 3 markolatnyúlványos és 1 gombos végű sarló is volt (Mozsolics 1985 205.; Kemenczei 1984 189.).

⁴⁰³ Mozsolics 1985 39., 93.; Józsa 1963/64 20. VIII,98.; Kemenczei 1984 169-170.

⁴⁰⁴ Mozsolics 1945 54. 9. j.

⁴⁰⁵ Mozsolics 1985 39., 122., 144,10.; Kemenczei 1984 148.; Szántó 1947 2. 4,4.

⁴⁰⁶ Mozsolics 1945 54. 9. j.; uő.: 1985 134.

⁴⁰⁷ Mozsolics 1945 54. 9. j.; MRT 6 74. 36,5.

⁴⁰⁸ Scott 1991 82-83., Fig. 191.; Allen 1970 248-249.

⁴⁰⁹ A nemzetközi kutatásban mind a gúlaalakúra gyémánttal mért Vickers (Hv), mind az acél-golyóval mért Brinell (HB) keménységmérés elterjedt. A két mérési módszer eredményei között 250-es értékig nincs lényeges különbség,(Allen 1970 34.) ezért nem számoltuk át a HB-ben megadott értékeket.

⁴¹⁰ Allen 1970 33-34.

Pusztán ón adagolása esetén az öntvény hűtésének sebességével jelentős mértékben tudják befolyásolni a keménységet. Lassú hűtés estén az ón 14 %-ra való emelése mellett is az eredeti keménység alig nő duplájára, míg gyors hűtésnél négy-ötszörösére is nőhet, elérve a 150 HB értéket /126. tábla/. Természetesen hőkezeléssel ezt az anyagot is vissza lehet lágyítani bizonyos mértékig. A tárgyak hidegen, kalapáccsal való megmunkálásakor elméletileg a 14 % körüli óntartalom mellett közel háromszáz HB értéket is el lehet érni.⁴¹¹ Azonban a régészeti anyagban a tömegesen használt mezőgazdasági eszközök - sarlók, tokos balták - következetesen alacsony, pár százalékos óntartalma mellett az elméleti keménységi határ mindössze 180 HB-nál húzódik.⁴¹² A hasonló összetételű, de megmunkált, hőkezelt bronzoknál a keménységi határ magasabb, 220 HB, de magas óntartalomnál meghaladhatja a 300 HB-t is,⁴¹³ bár Scott ezt a határt 12 % óntartalom mellett csak 220 Hv-re teszi. Az urnamezős kultúra vizsgált dunántúli leletein mért értékek ezeket az adatokat minden kategóriában lényegesen alacsonyabb ötvözőanyagtartalom mellett is elérik, illetve számos esetben meg is haladják /111-113. tábla/. Sőt, a területünkön általánosan elterjedt, hidegen kalapált bronz munkaeszközök éle a 126-168 Hv értékkel például meghaladja a ferrites vasból készített hornyoló véső 129 Hv, valamint a perlités és ferrites vas sarló 171 Hv keménységét is.⁴¹⁴ Az egyik regölyi hőkezelt, megmunkált kés (17. tárgy) például 303 Hv keménysége meghaladja az egyik perlités és ferrites anyagú vasbaltán mért 269 Hv értéket és megközelíti a 0,93 % C-tartalmú acél 323 Hv keménységét is!⁴¹⁵ A hazai bronztárgyakon mért keménységértékek összehasonlítása az európai kutatás adataival és néhány vaseszköz használhatóságának mértékével különösen jól mutatja a dunántúli urnamezős kultúra fémművességének kiemelkedő színvonalát, az általa gyártott eszközök magas hatékonyságát.

A régészeti kísérletek során, a fentiekre való tekintettel, külön is vizsgáltuk a kalapálással tömörített élű sarlók és tokosbalták használhatóságát /114. tábla/. A kísérletek során bebizonyosodott, hogy a megfelelően megélezett eszközök /114. tábla/ akár állatok feldolgozására, nyúzására /96.1./, a csontok elfúrászására/96.4./, aratásra/96.3./, valamint famegmunkálásra /95. tábla 4. kép/ is kiválóan alkalmasak. Sőt, az eredeti funkciótól eltérően, például egy tokosbaltával kiválóan lehet darabolni a kellően felmelegített bronznyersanyagot anélkül, hogy a vágószerszám éle különösebben károsodna /95. tábla 1-2. kép/. A bronzdarabok hasonló módon - de feltehetően vésővel - történő darabolását a számos példa között a regölyi (172. tárgy) kincsleletben található bronzrudon, a beremendi és a jakabhegyi öntőlepenyéken szintén látható vágási nyomok is igazolják.⁴¹⁶ A sarlókkal folytatott kísérletek során külön vizsgáltuk az öntött, az öntött és megmunkált bronzleleteket. A nem szándékos hőkezelést egy máglya tüzeiben megégetett, kiélezett sarlóval imitálva nyertünk adatokat a halottakkal elégett ékszeresek, fegyverek, illetve a leégett telepeken található bronzleletek anyagszerkezeti változásaira /97-98. tábla/. Az öntött állapotában 80 Hv keménységű sarló éle hidegen kalapálva elérte a 208 Hv értéket (ami több mint 20 %-al magasabb, mint a már említett vassarló mérési adata!), a kiélezett eszköz a

⁴¹¹ Scott 1991. 82.

⁴¹² Allen 1970 Fig.1.

⁴¹³ Allen 1970 248-250.

⁴¹⁴ Scott 1991. 82.

⁴¹⁵ Scott 1991. 82.

⁴¹⁶ Maráz 1989.13.

máglyán megolvadva teljesen kilágyult 51,9 Hv értékre, mely megközelíti a regölyi kincslelet megolvadt fibulájának adatait (89. tárgy)./113-114.tábla/.⁴¹⁷

A fentiek összegzéseként kijelenthetjük, hogy az urnamezős kultúra használati eszközein végzett régészeti megfigyelések és a laboratóriumi körülmények között mért adatok alapján feltételezett rendkívül magas színvonalú fémműves ismeretekre utaló következtetések egybevágóak a régészeti kísérletek eredményeivel - az elméleti elgondolások gyakorlati ellenőrzésével.

Az általános kategóriáját jelentő munkaeszközök és egyszerűbb ékszerek helybeli mesterek által történő elkészítése területi és társadalmi, gazdasági értelemben is széles körben lehetővé tette a bronz felhasználását. Ezeknek az eszközöknek a sajátos formai variánsai jól mutatják, hogy nagyobb arányú mozgásuk helybeli előállításuk és felhasználásuk miatt általában csak szűkebb területen figyelhető meg.⁴¹⁸ Gyakorlati azonban az olyan egyedi vagy különös leletek is, amelyek előállításához szükséges, speciális fémműves ismeretek és eszközök csak a nagyobb hatalmi központokhoz kapcsolódó jól felszerelt műhelyekben álltak rendelkezésre. Ezeknek a gyakran a kereskedelem révén távoli régiókba eljutó, nagyértékű tárgyaknak a felhasználási körét azonban már a társadalmi rend is meghatározta. Ilyen leletek például a fegyverek közül a páncélok, a kardok és sisakok, de a mindennapi életet szolgáló edények, bográcsok és a különösen nagy értékű ékszerek is - melyek azonban már csak egy szűk réteg számára voltak elérhetőek. Ezek a tárgyak a régészeti kutatásban mindig is kitüntetett szerepet játszottak, hiszen segítségükkel a hagyományos tipológiai módszerekkel is jól követhető történeti, időrendi változásokra, területi kapcsolatokra lehet fényt deríteni. Tüzetesebb vizsgálatuk azonban az előállításukhoz szükséges fémműves ismeretekre, s így a késő bronzkori műhelyek technikai, technológiai ismereteire is választ ad. Arra a legfontosabb kérdésre is, hogy a késő bronzkorban a tárgyak alapanyagául szolgáló bronz összetétele mennyire volt szabályozott, az ötvözés mennyire volt tudatos. A ráöntéssel készített tárgyak már önmagukban is jelzik, hogy az ötvözőanyagok adagolása nem lehetett véletlenszerű, hiszen különben az olvadáspont megfelelő beállítása nélkül ráöntéskor tönkretették volna a tárgyat.

A hazai késő bronzkori leletek között szemre is az egyik legszebb, technikai problémák tömkelegéről beszélő, ráöntéssel készített darab a dunaföldvári övkorong.⁴¹⁹ Az előlapján folyamatosan egymásba kapcsolódó spirálokkal díszített tövises övkorongot viaszveszejtéses eljárással készítették, majd ráöntéssel javították./131. tábla/ A korong 0,8-0,6-0,6 mm vastag rétegekből áll. A dunaföldvári lelethez hasonló övkorongok zöme Dániában található, s ezek általában a korai urnamezős leletekkel együtt fordulnak elő. Az északi bronzkor kronológiájában a szub-preiódus II. időszakra keltezhetőek.⁴²⁰ Az északi stílus viszonylag önállóan fejlődött, a rendkívül hagyománytisztelő északi bronzművességre alig gyakoroltak hatást az importtárgyak. A bronzöntés területén bámulatos technikai tudással, anyagismerettel rendelkeztek. Az északi mesterek nem

⁴¹⁷ A regölyi és bölcskei kísérleti régészeti táborban, valamint a Százhalombattai Régészeti Parkban a magyarhalmi halomsír ásatási megfigyelései alapján végzett kísérletek részletes, teljeskörű leírását később adjuk közre. A hőkezelt fémtárgyak vizsgálatát és értékelését Peter Reynoldssal, a Butser Ancient Farm vezetőjével a 16 évre tervezett kísérletsorozat eredményeként közösen tervezzük.

⁴¹⁸ Szabó 1993 202-203.

⁴¹⁹ Szabó 1993a; Nacsa 1993; Szabó 1993d.

⁴²⁰ Randsborg 1968a 131-133.; Randsborg 1968 DK19-20.; Randsborg 1972.

sajátították el a kalapálásos technikát, hanem végig kitartottak a bronztárgyak öntése mellett, s gyakran alkalmazták a ráöntést. Ezt a megoldást egyrészt az eszközök javítására, másrészt bonyolultabb szerkezetű bronztárgyak több részletben való elkészítésére alkalmazták. Maga a ráöntés technológiája a bronzkorban Európa-szerte ismert volt. Később a bimetál fémek készítésénél is ezt a módszert alkalmazták.⁴²¹ Az északi bronzkor területén az övkorongokat általában több részletben öntötték meg: először a korongot, majd a tövist és a hátoldalon lévő füleket készítették el.⁴²² A gondosan megtervezett övdíszek mintázásához feltehetően viaszt használtak. Erre utal például a dunaföldvári övkorong hátlapján megfigyelhető ujjlenyomat is./131. tábla 4. kép/ A viasz felületét 1-1,5 cm széles sávokra osztották, és felvitték rá a díszítő motívumokat. A tárgyak kivitelezése alaposról, magas szakmai tudásról tanúskodik. Az északi bronzkor területén az övkorongok készítésénél is alkalmazott ráöntés nyoma a földvári leleten is fellelhető, azonban itt nem csak a tövist és a felerősítő kis fület öntötték meg utólag a díszes koronghoz, hanem a megrepedt övkorong javításakor az egykori mester a repedést kijavítására az egész tárgy hátlapját megerősítette egy vékony bronzréteg ráöntésével. Az eredménnyel elégedetlen lehetett, mert újból megismételte a műveletet./131. tábla 2. kép/ A ráöntésre utaló számos adat között ez az egyetlen eset, ahol a javítandó tárgy egész felületére kiterjedő, többszöri ráöntést alkalmaztak. A fémanalízis vizsgálat az egyes rétegek fémösszetétele között nem túl nagy, de mérhető eltérést mutatott ki./124. tábla/ Ez azonban minden jel szerint elegendő volt ahhoz, hogy a ráöntéskor az eredeti tárgy ne menjen tönkre, ne olvadjon meg - bár a széle egy helyen a másodszori ráöntéskor beolvadt /131. tábla 3-4. kép/. A dunaföldvári övkorong amellett, hogy fontos bizonyítéka a Kárpát-medence és az északi bronzkor közötti kapcsolatoknak, a készítése során alkalmazott technikai eljárások egyben azt is tükrözik, hogy a korszak mesterei képesek voltak a legaprólékosabb mintát, formát megönteni, szükség esetén 0,6 mm-es falvastagsággal is, s a felhasznált bronz olvadáspontját úgy beállítani, hogy az lehetővé tegye akár a többszöri ráöntést - az eredeti tárgy lényegesebb sérülése nélkül. Ez mindenképpen - a mai gyakorlatot is meghaladóan! - magas szakmai ismereteket és az olvadáspont szabályozására az ötvözőanyagok adagolásának tudatosságát feltételezi. Ezek az adatok egyben azokra a kárpát-medencei tárgyra is, felhívják a figyelmet, amelyeknél a különböző szerkezeti egységekben az eddigi vizsgálatok eltérő arányban mutatták ki az ötvözőanyagok jelenlétét.

A mezőkövesdi és a hajdúböszörményi sisakoknál a paláston és a gombon mért eltérő anyagösszetétel jelzi, hogy a két rész nem egy anyagból készült./124. tábla/ A kárpát-medencei késő bronzkori sisakok szerkezeti szempontból alapvetően két csoportra oszthatók: az egyetlen részből álló darabokra - ide tartoznak a sisakcsúcs nélküli, többnyire bordázott díszű kalapsisakok (Magyarország, Palotabozsok, stb.), és a több részből - a félgömbös, kúpos vagy harang alakú palástból, valamint az öntött sisakcsúcsból - álló tárgyakra. H. Hencken összefoglaló művében röviden ismerteti az általa vizsgált sisakok készítésének technikai kérdéseit is. A lehetséges megoldások között egyaránt felmerül az egy munkafázisban a sík lemezből való kikalapálás, és a több munkafázisban, először az előforma megöntése, majd a kalapálással készre alakítás, illetve az egy menetben történő megöntés is.⁴²³ A csak egyetlen elemből álló kalapsisakok között az öntéssel készített és a kalapált darabok egyaránt megtalálhatók. Az e sisakok közé sorolt, 3-4 mm falvastagságú thonbergi darab például G. Raschke szerint viaszveszejtéses öntéssel készült,

⁴²¹ Drescher 1958.

⁴²² Drescher 1958. 8.T., 30-31.T.

⁴²³ Hencken 1971 15-16.

anyagát utólag belülről kalapálással edzették, keményítették.⁴²⁴ A magyarországi, közelebből ismeretlen lelőhelyű darab - a kalapált bronzedényekhez hasonló - bordázottsága készítési módjára is utal.⁴²⁵ Ugyanígy kalapálásról árulkodik a palotabozsoki és a bonyhádi töredék.⁴²⁶ A kúpos típus közé sorolt beitzschi sisakot vizsgáló Plenderleith megjegyzése szerint a tárgyat egy sík bronzlemezből kalapálták. Nem tartja valószínűnek, hogy a megöntött tárgyat kalapálással alakították volna tovább, amikor agyagba ágyazott viaszforma segítségével az egész tárgyat egyben megönthették volna.⁴²⁷ R. Bercé egy másik kúpos típusú darab, a Gorenje selo-i sisak alapján azonban úgy véli, a tárgyat először részben megöntötték, majd kalapálással alakították tovább.⁴²⁸ H. Drescher megfigyelése szerint a másik típusba sorolt, a hajdúböszörményihez hasonló, 2,5-2,7 mm falvastagságú sehlsdorfi sisak sima külső oldala egyértelműen öntésre utal, míg belső oldalán kalapálás nyoma látható. A jelenségek alapján a szerző arra következtet, hogy a sisakot először megöntötték, majd kalapálással alakították tovább.⁴²⁹ A Mozsolics A. által a félgömb alakú sisakokhoz sorolt kiskőszegi darab belső oldalán szintén kalapálás nyomai látszanak.⁴³⁰ A szerzők egyetértenek abban, hogy a palást elkészítése után a csúcsot egy újabb technológiai eljárással, ráöntéssel helyezték a sisakra.⁴³¹ Jól megfigyelhető ez a kárpát-medencei sisakon látható, többnyire gömb alakú, közepén lyukas csúcsok esetében is (Hajdúböszörmény, Endrőd, Sáros, Kiskőszeg, Mezőkövesd, stb.), s ez magyarázza fentebb említett két leletnél a palást és a gomb közötti összetételkülönbséget. A palást a többi európai harang alakú sisaknál is alacsonyabb, a gomb magasabb öntartalmú, ami jelzi, hogy a háttérben valami, inkább a használat praktikumát meghatározó dolog állhat.⁴³²

A megoldást a kalapálásos nyújtás, és az ezzel járó hőkezelés során megváltozó anyagszerkezet jelenti. Az egyszerűbb, egy lépésben, viaszveszejtéssel megöntött ridegebb, törékenyebb anyagú sisak kevésbé felelt volna meg a célnak. Miként a dunaföldvári sisakon is megfigyelhető, a viaszveszejtéssel öntött, két végén lyukas előforma anyagát belülről fokozatosan, a kívánt formának megfelelő ívben kalapálással alakították, s közben többször melegítették, hűtötték, folyamatosan rendezve rácsszerkezetét /133-134. tábla/. Így érték el azt, hogy a felső rész anyaga vékonysága ellenére is kellőképp erőssé, rugalmassá vált. A kalapálás során nyilván az alsó rész anyagszerkezetét is kicsit kedvezőbbé alakították, nyújtották./135. tábla/Valószínűleg az e rész kalapálásakor keletkezett túlnyúlásoktól hullámos egy kicsit a vizsgált darab mellett például a mezőkövesdi sisak széle.⁴³³ A nagyobb, felesleges részek eltávolítására utalnak a szélek élén lévő reszelésnyomok, és a rövid, egyenes síkok, feltehetően vésőnyomok. A sisak használatából és formájából következik, hogy a fejhez közel lévő részeknek merevebbnek kellett lenniük, hogy a fejre mért ütés esetén se horpadjanak be. A koponyától távolabbi részeknél inkább a rugalmasság lehetett a fő szempont, mert ezek a fej sérülése nélkül még behorpadva is felfoghatták az ütés erejét. A palást felső részének leggyengébb pontja a csúcs, ahol a sisakok lemeze elvékonyodik, s

⁴²⁴ Hencken 1971 16., 99.kép.

⁴²⁵ Patay 1990 39. kép 80, 82.

⁴²⁶ Mozsolics 1985 75.T. 31-32, 40.T. 13.

⁴²⁷ Hencken 1971 15.

⁴²⁸ Hencken 1971 15., 135-136. kép

⁴²⁹ Drescher 1958 52.

⁴³⁰ Mozsolics 1954 35.; Hencken 1971 16., 151., 12O.a-b kép.

⁴³¹ Hencken 1971 15.; Drescher 1958 52-53.; Born 1992.

⁴³² Born 1992 346.

⁴³³ Patay 1969 43. kép 2.

középen hiányos is /133. tábla 4. kép/. Ezért ezt a részt egy utólagos, viaszveszejtéssel készített csúccsal zárták le, amely (a bordákkal merevített, kalapált sisakok kivételével) minden esetben a Kárpát-medencei bronzsisakok jellegzetes szerkezeti eleme volt, s az anyagvizsgálatok tanúsága szerint ennek magasabb óntartalma biztosította a ráöntéshez szükséges alacsonyabb olvadáspontot, és egyben a nagyobb keménységet is.

A gomb óntartalma mindkét megvizsgált magyarországi sisak esetében magasabb, tehát a gomb alacsonyabb olvadáspontú bronzból készült, mint a palást. Ez azt bizonyítja, hogy a Kárpát-medencében készített sisakok - s nyilvánvalóan a többi tárgy esetében is - az őskori mesterek tudatosan, és nagy pontossággal adagolták az ötvözőanyagokat, állították be az olvadáspontot, befolyásolták az anyag tulajdonságait. Ehhez az alapvetően a tapasztalatokon alapuló pontos anyagismerethez a megszokott összetételű ingotok, és a szigorúan betartott hagyományok, rítusok pótolták a természettudományos háttérrel.

5. ÖSSZEGRÖZÉS

1. Az elmondottakból is kitűnik, hogy a mai országhatárok között a bronzkorban adottak voltak a bronzgyártáshoz szükséges természetföldrajzi tényezők. A geológiai tényezők közül a természetállapotú- és az érceiben előforduló réz, valamint az ón-, antimon- és ólomérc egyaránt jelen voltak. A régészeti adatok - a bányászszerszámok jelentős száma, a nagyméretű meddők, a salakhányók - hiánya azt bizonyítja, hogy hazánkban nem alakult ki jelentős ércbányászat és ipari méretű kohászat. A régészeti adatok egy része azonban arra utal, hogy egyes területeken, pl. a Mátrában, a természetállapotú réz, esetleg kisebb mennyiségű érc feldolgozásával is számolnunk kell. A velemi és a sághegyi műhely esetében bizonyítható, hogy rézkövet is feldolgoztak, s ez alapján feltételezhető, hogy ott az ötvözetek előállítására érckohászattal is foglalkoztak. Ez azonban a Kárpát-medencei bronztárgyak össz mennyiségét tekintve elenyésző volt. A bronzfeldolgozás szempontjából a kereskedelem révén területünkre áramoltatott nyersanyagoknak volt meghatározó szerepe. Különösen érvényes ez az urnamezős kultúra dunántúli területére, amely a ma ismert bronzkori ércbányák mindegyikétől meglehetősen messze esik.

2. A távoli kohászati központokból területünkre került öntőlepenyek egyrésze a hatalmi központok közelében működő nagy műhelyekbe áramlott, ahol az öntőlepenyeket vagy a rézkövet tovább feldolgozva, ötvözve meghatározott összetételű, több funkció ellátására is alkalmas ingotokat, továbbá speciális ismereteket és felszerelést követelő tárgyakat, s nagy tömegben széles körben elterjedt egyszerűbb eszközöket készítettek. A kereskedelem révén ezek a tárgyak a szét-szórtan elhelyezkedő urnamezős telepekre is eljutottak, ahol ezek egy részét közvetlenül felhasználták. A magasabb ötvözőanyagtartalmú ingotokból, s az alpi kohászati központokból beszerzett öntőlepenyekből a termelés mindennap használatos eszközeit gyártó kis műhelyek helyben készítették el a szükséges, egyszerűbb eszközöket.

3. A régészeti leletek és az ásatási megfigyelések alapján végzett kísérletek jól bizonyították, hogy a kisebb és nagyobb fémműves műhelyekben különböző típusú kohókat, és ezekhez eltérő eszközöket használtak. Ezekben az urnamezős kultúra településszerkezetéhez hasonlóan differenciált műhelyekben a különböző utakon beszerzett alapanyagból az eltérő társadalmi környezet miatt különböző igények kielégítésére más és más tárgyakat készítettek. A nyersanyag, és a

központi műhelyek speciális szaktudást igénylő, az előállítás helyét, idejét, korát és módját illetően is eltérő termékei a kereskedelem révén jutottak el a további megmunkálást végző helyi kovácsokhoz, vagy késztermékek esetében a felhasználóhoz. Ez a fémművesség minden területét, a nyersanyagforgalmat, a félkész- és késztermékek, illetve speciális segédanyagok beszerzését egyaránt átfogó, egész Európát behálózó kereskedelem már semmiképpen nem tekinthető egy szűk társadalmi réteg igényeit kielégítő luxuscikkek távolsági kereskedelmének, hiszen itt ipari nyersanyagok nagytömegű, jól szervezett, minden részletre kiterjedő, nagy távolságokat áthidaló kereskedelméről van szó. Megkönnyítette ezt a bronzeszközök tömeges elterjedése. A bronz újrahasznosíthatósága egyszerre biztosította ennek a fémnek a nagy és viszonylag állandó értéket, ami az általános egyenérték szerepének betöltésére tartósan alkalmas áru, különböző, például karika, karperec stb. formájú ingotok széleskörű megjelenéséhez vezetett a Ha A időszakban. E sajátos, több funkciójú áru, az ingotok nyersanyag és pénzhelyettesítő szerepe egyszerre oldotta meg a helyi műhelyek ötvözőanyagokban bővebb nyersanyagszükségletét, és mint a tárgyak elterjedése, mozgása mutatja, a pénzforgalmat is.

4. A metallurgiai vizsgálatok egyértelműen bizonyították, hogy a késő bronzkori tárgyak használhatóságának növelésében elsődleges szerepe a megfelelő szövetszerkezet kialakításának volt - melyet az eddigi kutatás alig vizsgált. A metallográfiai felvételek tanúsága szerint az eszközök felhasználása szempontjából a legmegfelelőbb rácsszerkezet elérésére a ma ismert eljárások mindegyikét alkalmazták (öntés, hűtési sebesség növelése-csökkentése, hideg-meleg megmunkálás, hőkezelés). Ez a tény a tapasztalatokon alapuló magasszintű anyagismeretet, a mesterségbeli tudást tükrözi. A mérhető magas keménységi értékek egyben azt is jelzik, hogy az urnamezős kultúra dunántúli területén előállított leletek európai viszonylatban is kiemelkedő minőségűek voltak, esetenként megközelítették, sőt meghaladták a vaseszközök használhatóságát.

5. A bronztárgyak tulajdonságainak alakításában csak másodlagos volt az ötvözés a szerepe. Ennek ellenére - mint azt különösen a ráöntéssel készített tárgyak mutatják - jelentősége nem elhanyagolható. A mért adatok egyben azt is bizonyítják, hogy a késő bronzkori fémművesek képesek voltak nagy pontossággal behatárolni, alakítani az ötvözetek összetételét és olvadáspontját. Sőt, mint az a magyar kutatás szempontjából különösen fontos, a hiánycikknek számító önt, a keménységet azonos mennyiségben kétszeresen növelő antimonnal helyettesítették.

6. A legutóbbi átfogó metallurgiai vizsgálatok során sikerült megfigyelni és rekonstruálni a késő bronzkori tárgyak tulajdonságainak megváltoztatására alkalmazott eljárásokat. Az új vizsgálatoknak és a korábbtól eltérő vizsgálati módszereknek köszönhetően sikerült kimutatni a hőkezelt tárgyak felületén azt az ötvözőanyagkiválást, amely a régészeti kutatások gyakorlatában az 1950-es évektől tömegesen alkalmazott röntgenemissziós eljárások során következetesen mért látszólagosan magas óntartalomra magyarázatot ad. Ezek a mérési eredmények különösen a magyarországi késő bronzkori tárgyak esetében olyan magas óntartalmat mutattak, amely téves módon az ötvözőanyagok tekintetében lassan már az európai leletektől elkülönülő, külön Kárpát-medencei csoportot rajzolt ki. E felvázolt csoport nem állt összhangban a metallurgiai törvényszerűségekkel, nem alkotott a készítés vagy a felhasználás szempontjából értékelhető logikus rendszert, és lehetetlenné tette a tipológiailag összetartozó hazai leletek reális összehasonlítását a környező régészeti kultúrák tárgyaival. A régi, századfordulós, és a legújabb, illetve a korrigált hazai adatok birtokában már pontosabban megrajzolható az urnamezős kultúra széles területén az eljárások tekintetében egységes hagyományokat mutató, de a nyersanyagellátás, a műhelyek működése- és a készítmények szempontjából mégis számos helyi sajátosságra valló

fémművesség szerkezete, amely a település- és termékszerkezeti összefüggéseiben összhangban állva a metallurgiai törvényszerűségekkel az európai átlagot meghaladó minőségű árukkal látta el a Dunántúlt, de termékei a távolabbi területekre is eljutottak.

Az urnamzós kultúra fémművességének kutatása során az évtizedek alatt felhalmozódott adatok, régészeti megfigyelések és a legújabb kutatási eredmények alapján a legfontosabb jellemzők egységes rendszerbe foglalása a továbbiakban a mind célirányosabb, az egyes tárgak, tárgytípusok szintjére lebontott vizsgálatok elvégzése révén lehetőséget nyújt a jelenleg felvázolt kép további pontosítására, differenciálására. A hiteles adatsorok növelésével és a kellően megválasztott vizsgálati módszerekkel megteremtődik a környező régészeti kultúrák leleteivel történő összehasonlítás lehetősége. Az ötvöző- és szennyezőanyagok pontos meghatározása, az egyes műhelyek színvonalára jellemző, a használhatóságot leginkább jelző keménységi érték, valamint az egyes speciális technikai, technológiai jellemzők értékelése a hagyományos módszerekkel már nem követhető esetekben elősegítheti az egyes műhelyek, műhelykörzetek felvázolását, s hozzájárulhat a történeti, időrendi problémák megoldásához is.

SUMMARY

THE METALLURGY OF THE TRANSDANUBIAN URNFIELD CULTURE IN LIGHT OF ARCHAEOLOGICAL INVESTIGATIONS

Archaeological metallurgical studies on objects from Late Bronze Age Studies of the Urnfield Cultures resulted in many reports dealing with the tool set and products of metal processing, and general problems of the production of bronze articles, basically from historical, typological points of view. Less opportunity has been there and less attention was paid, however, to the study and evaluation of bronze articles on interdisciplinary background. The present paper is aimed at approaching the subject from this less studied aspect.

In reported work beside the studies of the object of late Bronze Age characterised to some extent as individual, e.g. the belt disc coming from the north, or helmets, pots and rings that may be attributed to particular class, the bronze articles of Regöly-Veravár representing mainly the generalities, has been studied in detail. Complex and specially detailed analysis of this treasure find containing strongly varied articles from the aspect of both manufacture and use gives opportunity to control the research results accumulated so far, and due to the use of most up-to-date methods give basis to outline the technical and technological knowledge of metal processing in the Late Bronze Age. In addition to the existing research results, the new methods used scarcely or not at all, in the Central European archaeological practice, offer further means to the use of earlier data, too. For instance during the investigation of the material not only the composition (in percentage) but also the microstructure, the type of the appliances, the way of their use, etc. were assessed together, and the solutions guessed on the basis of observations, were modelled in a foundry workshop, moreover they were tested in the experimental archaeological camps under conditions essentially analogous to the original ones. For demonstrating the serviceability of articles in addition to the practical tests, hardness studies also were performed firstly in the domestic practice of Bronze Age studies.

One of the basic problems of Bronze Age metal processing is the kind and place of origin of the base metal, and the way of obtaining it. It is not yet cleared up that where and who the bronze articles had been manufactured and how they arrived to the end users. Additional problem is the high tin content revealed in the investigations of last decades considerably exceeding the European average, and this fact rendered more difficult to integrate the domestic data into the international system of archaeometallurgical researches. The possibilities of metal processing of late Bronze Age were strongly limited by the natural environment, the places of occurrence, and the metallurgical properties of the processed metal, i.e. the bronze, what is, sorry to say, often neglected in the practice of archaeological researches. Phenomena observed during the complex study of treasure find of Regöly-Veravár containing strongly varied articles from the aspect of both manufacture and use, offer an opportunity to more realistic evaluation of the existing measurement results, and for outlining on interdisciplinary basis the technical and technological knowledge of Urnfield Culture, its raw material supply and its structure.

Studied articles of the finds at Regöly-Veravár on the base of polished surface analysis are the following:

I. Cast articles

- sand cast articles
- chill cast articles
- ingots
- II Cast and cold-worked articles
- III. Worked, annealed articles
- cold-worked annealed articles
- annealed after cold-working articles

I. CAST ARTICLES

In most cases of the objects observed also with microscope, the original cast structure could be revealed, but the microstructure remained intact during the processing only in a part of the cases. The original cast texture could be observed also in the case of two small pieces of plate. For the rounded-end, punched plate stripe (No. 154) polygonal grains show the cast origin, whereas the other plate fragment of irregular form and melt-dented on three sides (No. 168) show some traces of dendritic crystallisation, the most usual form for the prehistoric objects: between the dendrite branches in alpha phase one can find considerable alpha+delta eutectoid isles./Fig. 58.2/ Particularly interesting is the fact, that at the dendritic structures appearing also on the surface, along the boundaries of crystallites one can also observe some tin abundant precipitations./Fig. 58.1/ This phenomenon is supposedly related to the essentially faster cooling of the surface of pieces in the moulding process as it is demonstrated also by the found edge of the plate, which did not perfectly mould up to the form.

For the articles where the polished surfaces show unambiguously the casting, one single case of relatively fast cooling could be identified. On the cut surface of ring (No.111) of Veravár find the small dendrite arms in a characteristic dendritic structure are of rather small size, and the alpha+delta eutectoid among them is also rather scarce./Fig. 55.2/ The unusually fast cooling of the ingot could be the result of intentional or unintentional intervention. Fast cooling could be produced e.g. by a ceramic-, sand- or sand stone- mould, which was not sufficiently warmed up, or by the use of metallic mould.

As a rule, the boundaries of relatively small grains can hardly be observed inside the cast articles on the cut surfaces of ingots.(No.174, 178, 181, 184, 185, 186) Mostly several minor coloured areas, and the dark grey stains of the iron show the presence of impurities. Casting of discs should be usually performed under peculiar circumstances and not in closed forms, as it is demonstrated by strongly blistered surface on their more strait side and their porous structure.

II. CAST AND COLD-WORKED ARTICLES

As the studied samples show, among the cast articles those cold processed occur more frequently. This kind of processing is applied only on a part of the object, mostly on its edge. One can observe this method in the case of dagger (No. 9), cased hatchet and particularly of sickle (No. 46-47, 54). At these polished surfaces one can observe in almost all cases that on the broader parts of the cross sections of the object, e.g. at the back side of the blade, at the edge the socket or at the stiffener rib of the sickle /Fig. 35.2/, the original dendritic or polygonally

crystallised texture remained, in the proximity of the edge, however, very prolonged, more strongly corroded crystallites can be seen./Fig. 30.2, 35.1/ The small quantity of alpha+delta eutectoid among the dendritic arms is always an indication of low tin content (one can see on a single object that crystallisation often took place in different ways: dendritic on thicker parts and rather polygonal on thinner ones./Fig. 31.1, 35.1-2/

Beside the compaction of the traces of cold working can be observed in cases where, obviously, the aim was not the modification of the microstructure and the material properties. Often this texture change can be regarded as a secondary collateral phenomenon of another work process. It is frequently observed with the sickles that at the joining of the arched blade and the handle prick there is a protruding section, the upper part of which, together with a part of the sickle back, has been flattened. On the flattened part one can mostly observe lentil-shaped dimples, and at the edges cracked protruding over the plan of the material.

On the picture of the sample taken from this area one can clearly observe the compacted texture. Its modification is considerable in the neighbourhood of the surface, but gradually decreases toward inside.

III. WORKED, ANNEALED ARTICLES

Most part of studied bronze _ objects consisted of worked, annealed objects. Among the objects worked again after the annealing one can find knife (No. 10, 17), needle (No. 77), fragments of the tip (No. 79), fibula fragments (No. 88) and bronze pins alike.

Particularly the small-size twinned grains /Fig. 30.2, 43.1-2/ indicate that the bronze material of the articles was extended to the intended size often after several annealing and the relatively soft material produced by annealing and fast cooling down, was hammered on its tip or edge only, up to a fairly hard state. Applying this process with a annealing and an end compacting, in spite of the low tin content a material of ideal structure had been obtained consisting practically of homogeneous alpha crystals, showing excellent hardness without being brittle (No. 10, 17, 87)./Fig. 38.2/ It can be observed particularly on the cuts of bronze pins, that the samples taken from various places show different pictures. Particularly on the articles made of bronze pin one can observe that the samples taken from different places show various pictures. E.g. at the side of a needle along characteristic straight lines one could observe split twinned crystallites indicating, that after the annealing it was not processed any more. The prolonged crystallites on the flattened head, however, clearly show processing after the annealing of this part. It is a frequent collateral effect with the annealed objects, that a characteristic tin-rich segregation is formed along the crystallite boundaries covering in a net-like manner nearly the whole surface /Fig. 40.1-2/.

At the articles which were annealed after working, the strain annealing process is indicated by the split twinned crystallites appearing along straight lines and observable on the cut surfaces. (No. 63, 82, 89, 112, 124, 130, 149) Efficiency of the homogenisation, as it can be concluded observing the cuts, is rather various. E.g. on a saw-blade (No. 63) with a magnification of 400 sporadic and distant distribution of twinned crystallites indicate that the recrystallisation was not complete during the annealing, homogeneous alpha texture was not obtained. Due to the

rather low temperature and its short period, a soft half-product was produced suitable to further processing. It was very important in the case of bronze pins. The texture, characteristic for bronze pins can fairly be traced on a polished surface of a wire spiral fragment (No. 130)./Fig. 57.2/ At a magnification of 400 one can clearly see the twinned crystallites along straight lines, and at the edge a yellowish layer of different structure abundant with tin. The twinned crystallites with sizes changing between 40 to 100 micron indicate a relatively soft material suitable to further processing. In a case of a melted fibula the fact, that the boundary of twinned crystallites, in spite of intense later thermal impact, remained slightly wavy, indicates that the recrystallisation was not everywhere complete. This can be attributed presumably to the short-period high temperature annealing followed by fast cooling. This "annealing" was not enough to melt the remainder of the alpha+delta residue between the alpha crystals and to fully soften the material of bronze pin. This process can be observed with other objects, too. In the structure of a cast bronze ring (No. 90), beside the small polygonal crystallites indicating fast cooling of the mould, several twinned crystallites can also be observed. The pattern of the cut surface shows, that the casting mould was not warmed up or quickly cooling form had been used. The scarcely appearing twinned crystallites probably point to an applied force producing grain strain in the article and this was subject to heat, or the warmed ring was processed. On the outer edge the flattened part of 1.1 cm, bending of the object near the fracture boundary and the fracture edge is thicker and sharper protruding from the original plan of the material; all this indicate the same. The homogenisation, however, should have been very short and at a low temperature, so as the complete rearrangement could not be realised. According to the observed phenomena and the missing piece one can conclude that the cast ring originally was warmed up before cutting, and the missing part was broken away.

Particular picture is represented by the cut of the plate-backed fibula (No. 87), which shows a strongly formed prolonged texture, and one can clearly follow also the direction of the extension.

This texture is unique in the studied material and it indicates that during manufacturing the bronze pin serving as basic material for the fibula, the usual transformation process was prevented by extraordinary quick water cooling from the beta phase temperature range. The pattern of the alloy on the cuts of studied objects in every case shows a bronze with low tin content along with presence of some metals which can be regarded as impurities.

EVALUATION OF STUDIED FINDS BASED ON THE ALLOYING CONTENT

Micro-spectrum analyses of the Veravár treasure find performed with roentgen-fluorescence method support the conclusion about the low tin content drawn also from the microscopic patterns. In every case tin content is much below the resolution threshold (i.e. 14%) that means at the same time, that the objects were made of alloys suitable to further processing. According to the results of XRF analyses, for most objects, particularly for simpler ones, the tin is present in an order of magnitude of per cent, but one can also see on the curve, that the peak is quite small, mostly below the limit value of 3 to 4 per cent. This observation is supported also by the data of SEM analyses.(No. 47, 77) One can observe little higher values for the tin content, at about 7 per cent in the case of the simple cast ring, and, frequently with the objects manufactured from worked, annealed bronze pins, too.(No. 112, 130, 87) The similarity of the problem of relation

between the raw material used to manufacture the bronze pins and the ring-shaped casts common in the Late Bronze Age.

For the annealed bronzes one can often observe textures of different structure in the interior and the exterior of the bronze and also near the surface /Fig. 57.2/. Using a microscope, one can often observe a tin-rich net covering the whole surface /Fig. 40.1/. For a more accurate evaluation of the phenomenon the percentage of alloying material has been measured in the inside and on the surface. Cuts of a needle (No. 77) and a wire spiral fragments (No. 130) were intentionally prepared for the SEM study so, that the samples from the surface and from the cross section could be studied under the same conditions. Our objective was to see if there is any instrumentally measurable material composition difference behind the phenomena appearing under the microscope, if one studies the same article using the two basic methods simultaneously. In the practice of archaeology the most frequently used method is the non-destructive study limited mainly to the surface. In the metallurgical practice the preferred method is the destructive study of the samples taken from the articles.

In the process of sample preparation particular care was taken to keep both samples, embedded in plastic casing, accurately at the same height facilitating the study of internal parts at perfectly identical parameters, in the same space, with the same focal length. When the surface was studied the fragment of needle manufactured of a bronze pin with about 3 per cent of tin content, showed nearly 20 per cent i.e. about six times higher than the actual value of tin content. In the case of wire coil fragment, the surface segregation of tin was lower than with the needle, but the measured values indicated many times higher tin content than the actual value. So the studies unambiguously justified the microscope observations concerning the tin-rich surface. At the same time it means, that the results of microspectrum analyses aimed at the surface or at near-surface layers of archaeological finds, particularly of annealed objects, should be taken with reservation.

The impurities observed in the studied archaeological finds, Fe, Zn, As, Pb, Sb, Ni in quantities of several tenth per cent and the results of analyses of plate-backed fibula (No. 87) show unambiguously the sulphide origin of the basic material used.

Sb occurred in a per cent order of magnitude in the case of handle fixtured sickle (No. 47) only and this is not characteristic for the other appliances (neither is the unusual high, 1,23 per cent nickel content) therefore it can be rather regarded as casual. Presumably, a fragment recycled for the casting of sickle had a higher antimony content.

Lead is mostly present also in an order of magnitude of tenth per cents, but as it can be seen also in microscopic pictures, it appears in form of small bluish-grey stains separated of the texture of the alloy./Fig. 35.1/ Data measured inside a twinned crystallite of a wire spiral fragment clearly show, that there is no solved lead in the alpha-phase grains.(No. 130) In case of annealed Object the small quantity of unsolved lead migrates, sometimes completely, up to the surface as e.g. in the case of plate-backed fibula (No. 87) where it can be observed in a proportion of 25 per cent. In other cases enrichment of lead show a factor of 15 (No. 77) or even nearly 100.(No. 130) At the same time this means, that because of lead segregation on the surface, particularly in the case of annealed articles, the data from microspectrum analyses aimed, at the archaeological study of

surface and near-surface layers- similarly to the tin segregation - can be taken with reservation only.

In investigated objects the iron is present mostly in an order of magnitude of tenth of per cent, too, but one can observe some enrichment of the iron on the surface of annealed bronzes.(No. 77, 130) Major segregation of iron, about 6 per cent, can be measured only in the single case of plate-backed fibula.(No. 87) In the analyses of texture the plano-convex ingots formed a particular group with their higher iron content of per cent magnitude.(No. 174, 177-178, 181, 184.186) On the XRF patterns of these articles one can clearly see the distinct iron peaks showing an iron content of about 4 per cent and the curve, completely smooth in other regions, clearly show the extraordinary low tin content present in not higher quantities than tenths of per cent.

The alloying metal content of analysed objects, in accordance with the microscopic picture of polished surfaces, showed a low tin content in every case, along with other components present in a ratio of tenths of percent and so regarded as impurities. Only the ingots show a different composition: their iron content is higher, about 4 per cent, while their tin content is quite low. The experiences reported above show, that the study of archaeological bronze finds revealed significant differences in the material compositional, depending on processing, on the method of study used and also on the place of taking particular samples.

EVALUATION OF STUDIED OBJECTS BASED ON THE MEASUREMENTS OF HARDNESS

The measured values covered an extremely wide range beginning from the very low value of 31,9, 32,5 Hv (No. 89, 168) up to the multiple of that 303 Hv (No. 17).

The metal properties including hardness can be influenced by alloying and/or changing its texture. Those afore mentioned show that in the composition of studied articles there are no such significant differences which could explain the multiple changes of hardness. This fact leads to the conclusion, that for the studied objects the hardness determining the serviceability was obtained by changing the texture with annealing and consecutive processing. Regarding the measured Hv-values the data show definite groups which are observable also in the analyses of polished surfaces.

Hardness of cast articles varies from 63,9 Hv to 102,5 Hv. According to texture and material composition studies, the diversity can be explained mainly with the speed of cooling and less with the type of crystallisation. Hardness of dendritically crystallised plate fragment amounted up to 32,5 Hv, while the hardness of a more quickly crystallised texture shown on the cut of the ring (No. 111) containing rather small alpha-dendrite arms and a few alpha+delta eutectoid is as much as 102.5./Fig. 41.1/ The hardness of a polygonally crystallised plate stripe (No. 154) is near to that, and amounts to 95,9 Hv. Hardness of ingots, forming a particular group of moulds varies in a fairly narrow range from 63,9 to 97,96 Hv.

Processed objects offer good opportunity to study on a single article the difference of hardnesses of basic material and of the processed parts. For objects with cold processing e.g. the sickle (No. 47) the hardness of the mould basic material of 92,3 Hv was increased by compacting the edge

up to 126,3 Hv, while one could measure 112,6 Hv on the back which was also hammered. On the edge of cased axe (No. 21) the original hardness of 68,1 has been increased to 168,1 Hv. The serviceability could be most strongly enhanced in the case of a dagger at which the hardness of the stiffener is 78,4 compared to that of 177 Hv at the very edge. Based on the measured values one can conclude that with the cold-worked articles the upper limit of hardness amounts to about 180 Hv.

Highest differences of the hardness values occurred with the annealed articles. The lowest value (31.9 Hv) has been measured on the disc of a melt fibula (No. 89), while the highest value, 303 Hv, has been found at the edge of a splendidly heat-treated and then also processed knife (No. 10). As it is demonstrated by the data, the bronzes softened to 75-100 Hv during the annealing were upgraded by strong compacting during the following processing. The hardness of annealed and worked bronzes falls over the upper limit of cold-worked articles, i.e. over 300 Hv. The hardness 234 Hv and 303 Hv for excellently annealed and worked knives proves a very high value in use. As for a small sharp tool, its hardness of 271 Hv should have made it suitable to engrave or punch with its edge most of articles, not only the cast but also the cold-worked ones. On the articles studied so far one can follow with both unaided eyes and instrumental observation - as it is unambiguously indicated also by tool prints and texture changes showing the way of processing, and occurring within similar conditions - that these phenomena occur within narrow frames and in accordance with the metallurgical rules. Many particularities observed in the Regöly-Veravár treasure finds of mixed composition, taking into account the properties of base material, completed with the data of material investigation, archaeological observations and with experiments, along with using the research results of past few decades, offer a possibility to outline on an interdisciplinary basis the metallurgical technical and technological knowledge of Urnfield Culture.

METALLURGY OF THE TRANSDANUBIAN URNFIELD CULTURE AS REFLECTED IN THE ARCHAEOLOGICAL RESEARCHES AND ARCHAOMETALLURGICAL STUDIES

Comparing the data ever obtained on domestic bronze articles in the frames of archaeological studies with those observed for finds of Regöly-Veravár selected as standard for first complete domestic archaeometallurgical studies, it is striking, that tin contents obtained at the turn of the century with wet analytical processes are in agreement with the newest results, and at the same time one set of data linked steadily to the same laboratory and to the same methodology, show considerable differences compared with them. The question arises whether the different measurement results are due in fact to different tin content, or the reason for the differences should be revealed in the method of measurements or in the measuring instrument itself.

We regard unavoidable to raise the problem, because:

1. Relying on the alloying content gives an opportunity to distinguish the various groups of domestic articles of late Bronze Age according to place of manufacturing and ways of use only by having authentic set of data.
2. This is the primary condition to comparing our results with foreign ones.
3. It is also the prerequisite for studying the international relations of the metallurgy of late Bronze Age beyond the traditional typological methods.

Plotting the graphs of the compositions measured on the surfaces and cut polished surfaces of articles from Regöly-Veravár find one can clearly see, that the data measured at various places

differ considerably. High enrichment on the surface of some alloying materials is particularly striking. Leaving the normal practice of metallurgical investigations and observing through optical microscope not only the cut surfaces but also the surface itself, we could also visually unambiguously distinguish the alloying material, the tin, segregated on the surface /Fig. 40.1-2, 46.1, 53.1, 58.2/.

These data, together, offer an explanation to the extremely high tin values detected on the surface with X-ray spectrometry down to depth of 0.1 mm. As it has been demonstrated by studying the polished surface of wire spiral of Regöly-Veravár finds and SEM analyses on various places, thickness of tin aggregates is considerable and using the methodology described above, or a similar one, the real composition of archaeological object could be distorted /Fig. 57.2/.

Evaluating the results of his studies L. Költő also remarked, that the results did not allow any classification as for a territorial distribution nor based on article types. One could distinguish group of higher tin content and another one with lower tin content. From one point of view this observation is in accordance with metallurgical pictures of the surfaces of archaeological objects and also with measured results: data demonstrate the tin segregation to be in relation with the heat treatment of articles. On the articles that are cast only, tin segregation could not be observed. Relying on the above described facts, conclusions drawn from the cluster analyses using mere data of X-ray emission methodology could not be taken as substantiated and acceptable. Due to the delimitations of the methodology, X-ray emission methods can be used also in the archaeological researches only for fast, orientating analyses, like all composition measurements which, for avoiding destruction, study only the surface or use several gram samples from a near-surface layer. Therefore, in what follows, for evaluation of archaeological finds the old data from conventional measurements and the new, variously controlled data shall be used.

Our objective is that, after the necessary filtration of data and repeated evaluation, we would try to outline the raw material circulation of the late Bronze Age along with dividing into groups the main products according to place of their manufacturing and the way of using as well.

RAW MATERIAL SUPPLY, COMMERCE

Ingots studied in the Hungarian archaeological researches in almost all cases showed a rather low tin content amounting to several tenths of per cent. Only 2 ingots found at Velem showed a considerably higher tin content, 9.9 and 3.41 per cent, respectively. These ingots, however are marked among the finds of Carpathian Basin not with their tin content, but with extraordinary high Sb content in several cases more than 18 per cent. Data plotted on graph clearly show, that the higher antimony content characterise exclusively the Velem ingots in the two ingots with higher tin content mentioned above, disparately to the other St.Vid ingots, the quantity of antimony is inversely proportional and is unusually low. Among the ingots, however, one can find items with low content of both alloying metal. These phenomena demonstrate, that the metallurgists of Velem playing a central role from both power and economic aspects, practised as their speciality the manufacturing of the alloys and semi-finished products with antimony content, and this production was realised with the help of ready-delivered low-tin ingots or of

copper stones enriched with antimony. In the areas far from big industrial ones, the metallurgists working in smaller workshops got the ingots in raw form, as it can be demonstrated beside the low alloying content by the particularly high, more than 4 per cent, iron content of ingots from Nagykálló and Regöly. With these mould ingots, not only their composition but also the blistered structure reveals at first sight that they became suitable for further processing after due refining only. The blistered structure also indicates that the ingots were not moulded in closed forms, but they got their form from the small hole wherein the liquid was directed during the casting. This is the reason for one can find wood-fibre traces on the moulds, as it is the case with Regöly finds, indicating, that when casting smaller ingots or circle sectors, part of hole was covered by wood or charcoal pieces. Blisters always condense towards the flattest part determining by this the upper side of the ingot, since the gases left it in this direction. In the archaeological literature, in spite of clear-cut indications, the ingots are presented mostly incorrectly, laying on their flatter side. Refining the raw ingots of blistered structure and with high iron content was performed by poring sand onto the melt during the refounding.

The fayalitic dross floating on the melt, which had been formed from iron adhered to the quartz grains, can be easily removed with a stick along with the iron bound to it. Purified bronze mould in a closed form supplied with slag catcher was pure enough and of homogeneous structure suitable for tool manufacturing. Composition and texture studies of Regöly treasure find along with practical considerations indicate that these refound ingots were used mainly to manufacture cast articles. Raw material supply of late Bronze Age metallurgy in addition to the ingots was ensured also by many other objects which could be used as raw material and also for other aims. Above the simplest loaf, tongue and bar-shaped raw material pieces, in the domestic find sets one can find pieces of particular forms and destinations.

For archaeological investigations pieces with easily traceable territorial occurrence (due to their ornaments for which special manufacturing knowledge was needed) are of particular importance. Recently a ring-shaped piece of particular ornaments and appearance, and of multifunctional destination was studied in detail. Due to its area of occurrence and multiple serviceability it was particularly important raw material for articles made of bronze pins. Rewieving the positions shaped out in the past nearly one and a half century concerning the Hungarian ring finds, one can conclude, as it was remarked also by A. Mozsolics, that they also belong to the class of enigmatic articles. Solution of this puzzle has been facilitated by two ring finds at Szakály-Fütyülös and Kisdorog-Hegyzsántók, respectively. Among the articles there are lots of pieces with circular cross section and a spiral-shaped ornament consisting of 9 nearly parallel lines engraved very slightly. The ornament is missing in the proximity of the end of ring. The engravers seem smeared even on the outer side, but on the inner side they can be hardly notices. At the ends of the rings one can observe a fracture surface with uneven, slurred edge on one side, and a rounded end on the other. Similar forms often occur in the Transdanubian treasure finds but one can observe them also in finds of the Great Plain, both in the environment of large metallurgical centres and in small settlements consisting of several buildings alike. On the decorated rings one can often clearly observe the traces of hammering, forming or cutting, which indicate consecutive processing. During the analysis of the texture of archaeological finds it was already striking that the hammering technique was very important means in shaping out late Bronze Age articles and enhancing their serviceability. The same can be seen on find sets where beside the hammers one found also the hammered articles and

mostly tools of agriculture: sickles and sacketed axes. For their sharpening, compacting of their materials was indispensable. International measurement data show that hardness of pure cast copper begins at 30 HB and the low alloyed material with 0-1,5% additive content, which practically can yet be regarded as copper, the hardness amounts up to 180 HB depending on processing method. Among the additives studied particularly the arsenic has an advantageous effect on the hardness. With merely tin addition the speed of cooling of the cast influences considerably the hardness. In the case of slow cooling the hardness can hardly be raised to double of its original value, whereas with fast cooling it can rise up to four or five times, amounting to 150 HB. Naturally this material also could be annealed to some extent. Theoretically, with 14 per cent of tin content cold-working can result in a hardness of nearly 300 HB. In the archaeological material, however, with prevailing agricultural tools (sickles, sacketed axes) of a consecutively low tin content of several per cent, the theoretical limit of hardness is not more than 180 HB. For bronzes of similar composition but heat treated and processed bronzes limit of hardness is higher, 220 HB, but with high tin content it can exceed also 300 HB, though Scott puts this limit to 220 Hv with 12 per cent tin content. Data measured on the articles of Transdanubian Urnfield Culture reach these values at an essentially lower additive value in every category, or even exceed them in many cases. Moreover, the edge of cold hammered tools well spread over our territory, with its value of 126 to 168 Hv exceeds for example the hardness of a grooving chisel made of ferritic iron amounting to 129 Hv and that of perlitic and ferritic iron sickle which is equal to 171 Hv. Hardness of 303 Hv at a heat-treated knife exceeds e.g. the value 269 measured on a perlitic-ferritic iron axe, and approximates 323 Hv, the hardness of the steel with 0.93 per cent.

Comparison of hardness values measured on bronze articles found in Hungary with those of data of European studies and with serviceability level of several iron appliances one can see clearly the outstanding grade of metallurgy of the Transdanubian Urnfield Culture, and the high efficiency of manufactured objects.

CONCLUSIONS

Data of researches performed so far demonstrate that within the today's country border natural geographical factors necessary for bronze manufacturing were available in the Bronze Age. Among the geological factors the native copper and its ores along with tin, antimony and lead ores were present as well. The archaeological data - absence of considerable number of mining tools, absence of large waste-rocks and ash heaps - prove that no significant ore mining and metallurgy on industrial scale was developed in our country. A part of the archaeological data, however, indicate, that in some areas, for example in the Mátra mountains we should take into consideration the processing of native copper or even a smaller amount of ore. For the Velem and Sághegy workshops one can prove that also copper stone was processed, therefore one can suppose, that also ore metallurgy was practised there with the aim of alloy production. This activity, however, was insignificant as compared to the quantity of bronze articles in the Carpathian Basin. From the point of view of bronze processing, decisive factor was the raw material quantity delivered commercially to our territory. This is particularly valid for the Transdanubian territory of Urnfield Culture, which lays rather far from every Bronze Age mines known in our days.

Part of ingots arrived to our territory from distant metallurgical centres got into big workshops near the power centres. In these workshops continuing processing and alloying of ingots or copper stone multifunctional ingots of definite composition were manufactured further more articles which needed special knowledge and tools for their manufacturing and widely used mass articles were also produced. These articles were commercially transmitted also to scarcely spread urnfield settlements where some of them were directly used. The ingots of higher alloying content and ingots acquired from Alpine metallurgical centres were used to produce on the site simpler appliances by small workshops which produced articles for everyday use.

Experiments performed on the base of archaeological finds and excavation observations duly proved that in smaller and larger metal processing workshops furnaces of various types and various appliances were used. In these workshops diversified according to the settlement structure of the Urnfield Culture, from the materials acquired on different ways, various articles were manufactured, to satisfy the various demands shaped out on the basis of various social environments. Raw material and products of central workshops demanding special knowledge and produced in a large variety as for place, time, age and method of production were forwarded to local smiths performing the further processing, or, in case of finished products, to the use. This commercial activity extending over all territory of Europe and covering all fields of metal industry, including the raw material circulation, acquisition of half and finished products and special auxiliary materials can by no means be regarded as a long-distance trade for supplying luxurious articles to satisfy the demands of a narrow social layer, as here one encounters a well organised commerce of mass industrial raw materials in great distances covering all the details of the activity. All this was facilitated by spread of the mass use of bronze articles. The recyclable character of the bronze ensure the high and relatively constant value of this metal, what made it suitable to become the general value exchange measure in form of ingots or in form of various goods, rings, bracelets etc. which appeared in large quantities in Ha A period. The money-substituting role of this peculiar multifunctional good and of the ingots, solved simultaneously the need of local workshops for raw material which was more rich in alloying materials as the occurrence and movement of articles show, also the circulation of money.

Metallurgical investigations unambiguously proved, that enhancing the serviceability of objects of late Bronze Age, shaping of the suitable texture played a primordial role though this factor was scarcely investigated so far. According to the evidence of metallographic pictures all the methods known in our days were applied for obtaining the most suitable microstructure (casting, increasing/decreasing the cooling speed, cold-working/annealing) and this fact reflects high level of material knowledge achieved in the practice, and of expertise. High hardness values measured are at the same time indication of the particularly high quality of Transdanubian articles as compared to any European finds, and sometimes they reached or even exceeded the serviceability of iron articles. In forming the properties of bronze article, alloying process played a secondary role. In spite of this, as it can be particularly seen on objects made by additive overcasting, its importance can not be neglected. At the same time measured data proved also that the late Bronze Age metal workers were able to define with a high accuracy, and form, the composition and melting point of alloys. Moreover, as it is particularly important for the researches, tin being a short supply, it was substituted with antimony increasing twice the hardness if added in the same quantity.

In the recent thorough metallurgical studies we succeeded in observing and reconstruct the processes used to change the material structure of articles in the late Bronze Age. Due to new studies and methods different from those used earlier, one could demonstrate the segregation of alloying material on the surface of annealed objects, what give an explanation to the consequently appearing high tin content measured since 1950 with the mass use of X-ray emission method. These measurements showed, particularly for Hungarian late Bronze Age articles such a high tin content, that from the aspect of alloying material, spuriously the idea was getting recognised about a find group of Carpathian Basin separate of European ones. This outlined group was not in accordance with metallurgical regularities, it did not form a logical system from the point of view of manufacturing or use, and it made impossible a real comparison of the typologically coherent domestic finds with articles of surrounding archaeological cultures.

Data, archaeological observations gathered during the decades of researches of metal working of the Urnfield Culture and using the recent research results, unifying the most important results in a unique system, continuing the studies in a more and more expedient way, developed onto the level of individual objects and object categories, will make possible further refining the picture just depicted. Increasing the trustworthy data series and duly choosing the research methodology will make possible comparison with the finds of surrounding cultures. Exact determination of alloying metals and impurities, the hardness value showing the level of a particular workshop and characteristic to the serviceability and evaluation of technological characteristics in cases where the traditional methods fail already, all this could facilitate outlining particular workshops and workshop regions and could contribute to the solution of historical and chronological problems, too.

6.1. J E G Y Z E T E K

A bronz és alkotóelemei régészeti kutatások szempontjából legfontosabb tulajdonságainak áttekintése, a késő bronzkori rézötvözetekben használt legfontosabb fémek érceinek ásvány-előfordulásai a Kárpát-medencében és Európában

A késő bronzkori fémművesség jobb megismeréséhez elengedhetetlenül szükséges a korszakban használt fémmötvözet, a bronz legfontosabb összetevői tulajdonságainak, előfordulási formáinak és érclelőhelyeinek rövid áttekintése. Az eddigi anyagvizsgálatok tanúbizonysága szerint a vizsgált területen és időszakban a fő alkotóelem, a réz mellett a régészeti tárgyakban az ón, az antimon és az ólom fordul elő nagyobb százalékban, ezért ezúttal ezen fémek legfontosabb tulajdonságainak ismertetésére vállalkozunk. Munkánk keretei között nem térünk ki például a korábbi időszakban gyakran használt arzén-, vagy a későbbi századokban alkalmazott cinkötvözetek összetevőire sem.

A réz

Vegyjel:	Cu
Rendszám:	29
Olvadáspont:	1083 °C
Forráspont:	2595 °C
Sűrűség:	8,96 g/ml
Atomsúly:	63,54
Oxidációs szám:	2,1
Rácsszerkezet:	felületen középpontos kockarács

A réz latin "cuprum" nevét egyik legfontosabb őskori érclelőhelyéről, Ciprusról kapta. Vöröses színű, jó hő- és elektromos vezető, a felületen kialakuló patina miatt a régészeti gyakorlatban oxidációnak viszonylag ellenálló.

A réz, mint félnemes fém természetesen is előfordul, azonban főként ércek rendkívül változatos formáiban, mintegy kétszázféle ásványban található. A réztartalmú ásványok egyik csoportja - a tiosók és a szulfidok - hidrotermális úton, másrésze pedig - az oxidok valamint az oxisók - mállási folyamatok révén dúsulnak fel és képeznek érctelepeket. A réztartalmú ásványok a kísérő meddő kőzetben néha a 24-25 %-os arányt is elérhetik, de általában messze ez alatt maradnak. A mai gyakorlatban például a bányászati eljárástól függően 0,7-0,4 % réztartalomig gazdaságos az érc kitermelése.⁴³⁴

A hazánkban előforduló legfontosabb rézércek közül a Mátrában Recsk térségében található kalkopirit/rézkovand, enargit, továbbá a Recsk és Rudabánya környékén egyaránt megtalálható azurit, illetve malachit bír gyakorlati jelentőséggel.⁴³⁵

⁴³⁴Pásztor-Szepessy-Kékesi 1990. 57-58.

⁴³⁵Pásztor-Szepessy-Kékesi 1990. 81-82.

A termérszéz eléggé elterjedt ásvány, üledékes kőzetekben, mészkőekben és agyagos kőzetekben egyaránt előfordul, nagyobb mennyiségben azonban csak ritkán halmozódik fel. Ismereink szerint a legnagyobb termérszéz-tömböt az USA-ban, a Felső-tó környékén találták, melynek tömege 420 t volt.⁴³⁶ Hazánkban Rudabányán a barnavasérc, a limonit üregeiben található különböző formájú és méretű darabok. Irodalmi adatok szerint a Mátrában még a közelmúltban is nagyobb rézrögöket találtak a Baj-patak völgyében,⁴³⁷ a Felső-Tisza vidékéről, Barabásról pedig kisebb termérszéz darabokat említene.⁴³⁸

Vastagh G. és Kiszely Gy. feltételezése szerint a mai Magyarország területén az őskorban mindössze a Mátrában Rudahegyen és a recski Lahóca-hegyen található oxidos rézérceket, valamint a Baj-pataknál gyűjthető termérszéz használták réz- és bronztárgyak előállításához.⁴³⁹

Az ón

Vegyjel:	Sn
Rendszám:	50
Olvadáspont:	231,9 °C
Forráspont:	2270 °C
Sűrűség:	7,3 g/ml
Atomsúly:	118,69
Oxidációs szám:	4,2
Rácsszerkezet:	gyémántrács (alfa-ón) tetragonális (béta-ón)

Az ón, latinul "stannum", ezüstszínű, könnyen alakítható fém. Levegőn és vízben nem oxidálódik, de savakban és lúgokban oldódik. Sajátossága, hogy az úgynevezett szürke-, vagy alfa-ón - melynek sűrűsége 5,75 g/ml - gyémántrács-szerkezete 13,2 °C-on a térfogat 25 %-os változása mellett tetragonális rácsszerkezetű, 7,3 g/ml sűrűségű fehér-, vagy másnéven β-ónná alakul át. A gyakorlatban a β-ón szobahőmérsékletéről 13,2 °C alá való hűtésekor a rácsszerkezet átalakulása során fellépő fajtérfogat- változással együttjáró feszültségek miatt törések, repedések jönnek létre a tárgyakon. Ezt a folyamatot a köznyelv ónpestisnek nevezi.

Az ónércek viszonylag ritkán, a rézérc-lelőhelyektől általában távoleső lelőhelyeken, gyakran a gránit kísézőjeként megtalálható ásványok. Legismertebb európai lelőhelye Anglia (Cornwall, Wales, Man, Cumbria, Skócia), Írország, az Ibériai-félsziget északnyugati része (Portugália és Spanyolország), Franciaország (Massziv-centrál), Olaszország (Monte Valerio, de főként a szigeteken: Korzika, Elba, Szicília, Szardínia, stb.) és Németország. Az Érchegeységben általában oxidos kasszeterit (SnO₂) formájában fordul elő, de a legfontosabb lelőhelyeken jelen vannak a legkülönbözőbb ásványok is (kalkopirit, szfalerit stb.), egyes lelőhelyeken pedig a stannit, az ón-réz-vas szulfidos érce is megtalálható.⁴⁴⁰ Egyes feltételezések szerint a késő bronzkorban Európa jelentős részének népei ónszükségletüket kétirányú kereskedelem révén szerezték be a mai

⁴³⁶Pásztor-Szepessy-Kékesi 1990. 80.

⁴³⁷Vastagh-Kiszely 1962, Bakos-Borszéki 1989. 9. jegyzet.

⁴³⁸Koch 1985. 327.

⁴³⁹Vastagh-Kiszely 1962.

⁴⁴⁰Penhallurick 1986. 57-224.

Olaszország területéről - részben magyarázva ezzel a Kárpát-medencével fennálló szoros kapcsolatot is.⁴⁴¹

Antimon

Vegyjel:	Sb
Rendszám:	51
Olvadáspont:	630,7 °C
Forráspont:	1635 °C
Sűrűség:	6,69 g/ml
Atomsúly:	121,75
Oxidációs szám:	3,5
Rácsszerkezet:	romboédes

Az antimon, a latin "stibium" ásványai többnyire szulfidos formában, gyakran antimonit (Sb_2S_3), vagy az ólomot is nagymennyiségben tartalmazó jamesonit ($\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$), s főként a rezet is tartalmazó fakóércekben fordulnak elő. A szfalerit szerkezeti típusú, kettős szulfid fakóércek szabályos rendszerben kristályosodnak, s ez egyes esetekben elnevezésükben is tükröződik. A 25-45 % rezet és 25-30 % antimont tartalmazó tetraedrit (antimonfakóérc, $(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) mellett antimon található a freibergitben (ezüstfakóérc, $(\text{Cu,Ag})_3\text{SbS}_{3-4}$) is.

Az antimont tartalmazó bronzkori tárgyaknak - Miske Kálmán munkásságának is köszönhetően - bőséges irodalma alakult ki az elmúlt közel száz évben. A Kárpát-medencei anyagot is feldolgozva jelenleg P. I. Maclean foglalozik behatóan e kérdéskörrel, így a továbbiakban csak a kutatásunk szempontjából szükséges mélységben tárgyaljuk e problémát.⁴⁴²

Az ólom

Vegyjel:	Pb
Rendszám:	82
Olvadáspont:	327,4 °C
Forráspont:	1725 °C
Sűrűség:	11,4 g/ml
Atomsúly:	207,19
Oxidációs szám:	4,2
Rácsszerkezet:	felületen középpontos kockarács

A föld színesfém-készleteit tekintve az ólom az egyik legkisebb mennyiségben előforduló fém, amely tulajdonságai révén a legnagyobb mértékben képes a dúsulásra, így érctelepeink ólom-tartalma magas: 3-25% közé esik. Ércsei leggyakrabban az enyhén vöröses, ólomszürke, fémfényű galenit formájában fordulnak elő.⁴⁴³ A késő bronzkori fémtárgyakban az ólom mennyisége általában jelentéktelen. Azonban - különösen az utóbbi évtizedekben végzett elemzések során -

⁴⁴¹Penhallurick 1986. 80-82.

⁴⁴²Maclean 1993. Ezúton is szeretnék köszönetet mondani a szerzőnek szakmai tanácsaiért, személyes barátságáért, valamint hogy bepillantást engedett számomra megjelenésre váró kéziratába.

⁴⁴³Pásztor-Szepessy-Kékesi 1990. 59-60.

néhány esetben szokatlanul magas százalékban mértek ólmot, ezért e jelenség értékelésére a továbbiakban még visszatérünk.

A késő bronzkor egyik gazdasági alapját jelentő fémötvözet, a bronz főbb tulajdonságainak ismertetése

A főbb alkotóelemek jellemzőinek ismertetése után a késő bronzkori fémművesség jobb megértéséhez szükségesnek tartjuk magának az ötvözetnek, a bronz tulajdonságainak áttekintését. Fontos ez azért is, mert a felhasznált alapanyag nagymértékben meghatározza a korszak fémművességének lehetőségeit, a rendelkezésre álló ismeretek, eszközkészlet mellett a lehetséges technológiai eljárásokat.

A bronz látszólag egyszerű, könnyen előállítható alapanyag - az őskorban ezért is lehetett az első, nagytömegben szerszámkészítésre használt fém. Ha azonban tulajdonságait alaposabban szemügyre vesszük, kiderül, hogy az egyik legbonyolultabb, részleteiben a legkevésbé ismert ötvözet. A világszerte folyó metallurgiai kutatások eredményeként évente megjelenő újabb és újabb fázisdiagrammokat a régészeti gyakorlatban például alig lehet használni.⁴⁴⁴ A laboratóriumi körülmények között előállított és vizsgált két- vagy háromalkotós bronzötvözetek helyett az őskori leletek között minden esetben valójában sokalkotós ötvözetekkel találkozunk, melyek tulajdonságait az egyes alkotóelemek akár tized vagy század százalékos jelenléte is nagymértékben befolyásolja./63., 64. tábla/ (Gondoljunk itt például a bizmutra, melynek megengedett mennyisége a mai gyakorlatban is sokszor csak ezred százalékban mérhető.

A folyékony fémötvözetek hűtésük során folyadékként viselkednek, ahhoz hasonlóan kristályosodnak ki belőlük az egyes fázisok, melyeket a valódi oldatoktól megkülönböztetve nem kristályoknak, hanem krisztallitoknak neveznek.

A fémolvadék kristályosodása általában görbe felületekkel záródva poliéderelesen, vagy a fához hasonló ágas-bogas növekedéssel dendritesen történik. Különösen nagy hűtési sebességnél, fémöntőformák használatánál szferolitosan is képződhetnek krisztallitok, amelyek sugár irányú nyalábjai mindig az öntvény lassabban hűlő közepe felé mutatnak.⁴⁴⁵ Ez az őskori fémek esetében ritkán fordul elő, bár néhány ingotnál megfigyelhető a szferolitós krisztallitképződés is.⁴⁴⁶

Az őskori öntött bronztárgyakra a dendritszerkezet a jellemző, a hűtés sebessége azonban nagymértékben befolyásolja a krisztallitok méretét és szerkezetét. Normál krisztallitképződés esetén hűléskor a szegregáció a dendritek közepén a magasabb olvadáspontú, 1083 °C-on kiváló rézzel indul meg, s az alacsonyabb olvadáspontú, ónban egyre bővebb külső részek felé tart. Inverz krisztallitképződés esetén az alacsonyabb olvadáspontú ötvözőelemek az öntőminta felszíne felé lökődnek - különösen a Cu + As, Sb, Sn ötvözetek esetében.⁴⁴⁷ Inverz szegregáció néhány ezüst- és antimon tartalmú régészeti tárgy esetében is megfigyelhető.⁴⁴⁸

⁴⁴⁴ A.S.M. 1973., A.S.M. 1979, B.S.I. 1986.

⁴⁴⁵ Verő 1973. 29-35.

⁴⁴⁶ Scott, 1991. 6.

⁴⁴⁷ Scott, 1991. 5.

⁴⁴⁸ Scott, 1991. 6.

Több fém, vagy különböző elemek egynemű olvadékából szilárd fémoldat, eutektikum és vegyület kristályai képződhetnek. Ezek a kristályos fázisok az ötvözetben egyúttal szövetelemként is megjelennek, kétfázisú, heterogén szövetelemet - eutektikumot és eutektoidot - is alkothatnak. A több fázist - vegyületeket vagy oldatokat is - tartalmazó eutektikum az olvadékból képződik, míg az eutektoid - mely szintén több fázist, szilárd oldatot, vegyületet, oldatot is tartalmazhat - már az ötvözet kristályos állapotában bekövetkező változások eredményeként alakul ki.⁴⁴⁹

Intersztíciós - közbeékelődő - szilárd oldat akkor jön létre, ha az oldandó fém atomja el tud helyezkedni az oldó fém térrácsának hézagaiban. Ez csak akkor lehetséges, ha az oldó és oldandó fémnek is igen kicsi az atomsugara, mint például a C, N, H, O atomok esetében.

Szubsztitúciós - helyettesítő - szilárd oldat esetén az oldandó fém atomja a rácsban helyettesíti az oldó fém atomjait. Ezért ilyen esetekben korlátlan oldódás csak akkor lehetséges, ha a két fémnek azonos a rácsszerkezete, és atomjaik mérete is közel azonos (a maximális megengedett méretkülönbség mindössze 14%), valamint a két elem nem áll túl messze egymástól az elektrokémiai sorozatban - ellenkező esetben ugyanis ionvegyület képzésére lesznek hajlamosak. A szubsztitúciós oldódás feltétele továbbá, hogy a rácsban lévő atomok, illetve vegyértékelektronok száma ne haladjon meg egy meghatározott arányt. Az urnamezős kultúra bronztárgyainak anyaga is ilyen szubsztitúciós fémoldat.⁴⁵⁰

Két fém ötvözése esetében az oldódás mértékének elméletileg három lehetősége van.

1. Az alkotók arany és ezüst ötvözése esetén például teljes egészében oldják egymást. A folyékony ötvözet hűtéskor a folyékony oldat -- folyékony oldat + alfa-fázis -- szilárd alfa-fázis folyamat játszódik le, melynek az eredményeként létrejövő egyetlen fázis hexagonális kristallitokat tartalmaz majd.

2. Ha két fém folyékony állapotban minden arányban, szilárd állapotban pedig csak részben oldja egymást, akkor hűtésük során háromféle szövetszerkezet alakulhat ki: eutektikus-eutektoid-peritektikus.

a.) Eutektikus szerkezet jön létre, ha az alkotók olvadáspontja hasonló. Ezen fémek fázisdiagrammján jól látható, hogy egy adott hőmérsékletnél, az eutektikus pontnál az egész ötvözet folyékonyból szilárd halmazállapotba megy át. Ilyen ötvözetek mikroszerkezetében csak alfa dendritok és alfa+beta eutektikum lesz. Ilyen kétfázisú fém például a réz és az ezüst, továbbá a ón és az ólom ötvözete is.

Az eutektikumot tartalmazó ötvözeteknél a primer kristallitokat tisztán eutektikumból való szegély veszi körül. Ha az eutektikumban az egyik fázis aránya túl magas - 70-80 % -, vagy túl kevés az eutektikum, akkor előfordulhat az eutektikum elfajulása. Őn-ólom ötvözet esetében például ilyenkor az eutektikum ón-fázisa rákristályosodik a primer ónra, és így az eutektikum helyén csak primer ólom-fázis található. Az ilyen eutektikumot elfajultnak (degeneráltak) szokás nevezni.⁴⁵¹

⁴⁴⁹ Verő-Káldor 1977. 77.

⁴⁵⁰ Giellemot 1976. 66-68.

⁴⁵¹ Verő 1973. 69.

b.) Az eutektoid szerkezet a régészeti anyagban az ónbronzokra és a szénacélra jellemző. Az eutektoid az ónbronzoknál két fázisból áll: az ón rézben bő alfa- és a delta-fázisából. Ez a szerkezet 5-15 % óntartalomnál kezd kialakulni, s nagymértékben függ a hűtés sebességétől is. Ebben az esetben a szövetszerkezet kristallitok szélénél lévő delta-fázisa gyakran tartalmazza az alfa-fázis kis szétszóródott szigeteit. Ha sok a delta eutektoid-fázis mennyisége, akkor a bronzot nehéz megmunkálni. A fázisdiagrammról jól leolvasható, hogy kb. 14 % óntartalomig munkálható meg a bronz, mert eddig a határig lehet a kemény és törékeny eutektoidot átalakítani homogén alfa fázissá. Az eutektoid fázis az eutektikus szerkezethez hasonló, a szilárd fázis azonban a hűlés idején a szobahőmérséklet eléréséig még az átalakulások során megy át.⁴⁵²

c.) Két fém szilárd oldatának teljes peritektikus rendszere ritkán fordul elő, azonban gyakori, hogy ezzel a folyamattal bonyolultabb diagrammú fémötvözetek részleteként találkozunk – mi-ként az réz és az ón esetében is.

Ha az ötvözet alkotóinak olvadáspontja nagyon eltérő, akkor peritektikus folyamat játszódik le. Ennek egyik látható jele, hogy a likviduszgörbe két ága a két fém olvadáspontja közötti hőmérsékleten metszi egymást. A peritektikus kristályosodás egyik jellemzője, hogy a kristallit-határon történő kiválás lezárja az egyes fázisok közötti koncentráció-kiegyenlítődés lehetőségét. A gyakorlatban ezzel magyarázható, hogy olyan ötvözetekben is heterogén szövet alakul ki, amelyeknek százalékos arányukat tekintve egyébként homogéneknek kellene lenniük. Ezek az ötvözetek öntött állapotukban sincsenek egyensúlyban, hőkezeléssel azonban homogenizálhatók.⁴⁵³

3. Ritkán ugyan, de előfordul, hogy két, egymást egyáltalán nem oldó fémet olvasztanak össze. A régészeti tárgyak esetében elsősorban a soha nem teljesen tiszta ötvözetek szennyezőanyagai között találkozunk nem oldódó fémekkel. Az ónbronzok gyakran ólmozottak, és ezeknél a tipikusan öntött, alacsony óntartalmú tárgyaknál az ólom nem képez ötvözetet a rézzel és az ónnal, hanem gömbökben elkülönül, vagy a gravitáció miatt leül a bronztárgy aljára.⁴⁵⁴

Amint már fentebb is említettük, a régészeti gyakorlatban sokszor a nem szándékosan adagolt, de az ötvözetben oldott fémeknek is fontos szerepe lehet. Az egyik ilyen elem a vas, amelyből a réz 1084,5 °C-nál - tehát alig az olvadáspontja feletti tartományban - 4 %-ot képes oldani.⁴⁵⁵ (E tény fontosságára a továbbiakban még visszatérünk.)

A bronzok az oldott ötvözőanyag mennyiségét tekintve két csoportra oszthatók: alacsony és magas óntartalmúakra. Alacsony óntartalmúnak nevezzük azt, amelyben az ón kevesebb, mint 17%. Ez az érték az ón rézből szilárd oldatban való oldódásának maximális elméleti határa. A gyakorlatban azonban ez az oldódási határ 14 % körül van, de ilyen óntartalomnál az egyetlen homogén fázis (alfa-fázis) igen ritka.⁴⁵⁶

A Cu-Sn ötvözetek olvadákaiból hat likviduszgörbe ágnak megfelelő hőmérsékleten hat fázis kezd kristályosodni: alfa, béta, gamma, epsilon, éta, théta.

⁴⁵² Scott, 1991. 11-15.

⁴⁵³ Verő-Káldor 1977. 113.

⁴⁵⁴ Scott, 1991. 27.

⁴⁵⁵ Scott 1991. 24.

⁴⁵⁶ Scott 1991. 25.

Az alfa-fázis az ónnak rézben való szilárd oldata, melynek telítési határa 798 °C-on 13,5 %, 520 °C-on 15,8 %, 520 °C alatt pedig lecsökken 14 %-ra. Ha a hidegen erősen alakított alfa-fázisú ötvözeteket 200-300 °C-on hosszú ideig, több napig hevítik, akkor a szilárd oldatból az ón epszilón fázisként majdnem maradéktalanul elkülönül.⁴⁵⁷

A béta-fázis Cu₅Sn elektronvegyület, mely hűlés közben 586 °C-on eutektoidosan alfa+gamma-fázisokká alakul át. A gamma-fázis még pontosan nem ismert, feltehetően a béta-fázis rendezett rácsú változata, amely hűlés közben 520 °C-on alfa+delta-fázisokká alakul át. Az átalakulás termékeként megjelenő delta-fázis Cu₃₁Sn₈ elektronvegyülete az olvadákból nem kristályosodik közvetlenül, hanem a gamma fázisból képződik 600 °C-nál kisebb hőmérsékleten.⁴⁵⁸

A delta-fázisnak a mikroszkóp alatt feltűnő világos szürkés-kék Cu₃₁Sn₈ elektronvegyülete kb. 32,6 % ónt tartalmaz.⁴⁵⁹ A delta-fázis 350 °C-on még átalakul ugyan alfa+epszilón-fázisok elegyévé, azonban ez az átalakulás rendkívül lomha, a gyakorlatban nem megy végbe, így a legfeljebb 30-32 % óntartalmú ötvözetek 520 °C-on kialakuló szövete változatlanul megmarad.⁴⁶⁰ Ezért a régészeti gyakorlatban használatos bronzokban is általában az alfa+delta-eutektoid az egyetlen, az alfa fázison kívül található szövetelem.

Az epszilón fázis soha nem figyelhető meg 28 %-nál alacsonyabb óntartalmú bronzoknál. Ezer órák kellenek ahhoz, hogy ezt az átalakulást hőkezeléssel el lehessen érni. Az epszilón-fázis sötét szürkés-kék Cu₃Sn elektronvegyülete kb. 38,2 % ónt tartalmaz.

Az éta fázis kb. 61 % ónt tartalmazó, kékesszürke Cu₆Sn₅ elektronvegyület. Mint arra D. A. Scott felhívja a figyelmet, egyes modern metallurgiai szakkönyvek szerint 2% óntartalomnál a szokásos alfa+delta régiók helyett tévesen alfa+éta régiót említenek - ami lehetetlen.⁴⁶¹

A théta-fázis rézben való szilárd oldata, a gyakorlati életben nem bír különösebb jelentőséggel.

A gyakorlatban az őskori fémeknek nincs teljes equilibrium, azaz nem pontosan a fázisdiagrammban meghatározott értékeket mutatják. Különsen igaz ez a késő bronzkori tárgyak esetében.⁴⁶²

Az ónbronzoak öntésekor az ötvözetben a szegregáció erős, általában dendrites kristallitok és a dendritágak között elhelyezkedő alfa+delta eutektoid formájában jelentkeznek. A dendritágak közepében rézbő, magasabb olvadáspontú részek vannak, és a növekedés során a külső részekben a magasabb óntartalom mellett egyre alacsonyabb az olvadáspont.⁴⁶³ Ez a jellemző eutektoid fázis hasonló az eutektikus szerkezethez, azonban, mint említettük, a szilárd fázis a hűlés idején a szobahőmérséklet eléréseig még átalakulások során megy át. Az óntartalom növelésével növe-

⁴⁵⁷ Verő 1973. 159.

⁴⁵⁸ Verő, 1973. 159.

⁴⁵⁹ Scott, 1991. 26.

⁴⁶⁰ Verő 1973. 159-160.

⁴⁶¹ Scott, 1991. 25.

⁴⁶² Scott, 1991. 5.

⁴⁶³ Scott, 1991. 25.

kedik a dendritek közötti eutektoid mennyisége is.⁴⁶⁴ Alacsony, 2-5 %-os óntartalomnál az is előfordulhat, hogy a dendritágak növekedése során az összes ón felszívódik a dendritágakban. Ez a variáció nagymértékben függ a hűtési sebességtől és a használt öntési eljárástól. Ha a hűtési sebesség nagyon lassú, akkor nagyobb az esélye a gazdagabb equilibrium kialakulásának, s a dendritek közötti delta-fázis mennyisége erősen csökken, vagy teljesen megszűnik.⁴⁶⁵

Mindezek magyarázzák, hogy az eutektoid mikroszkóp alatt megjelenő képe - az eltérő hűtési sebesség és hőmérsékletek révén is - meglehetősen változatos.⁴⁶⁶ A legtöbb alacsony óntartalmú bronz a következőket mutatja:

- homogén bronz, amelyben az összes ón oldódott a rézben, és nem különül el az öntés során;
- a réz és ón eloszlása nem egyenletes, de nem mutat eutektoid fázist;
- az alfa és az eutektoid fázis is jelen van;
- az alfa fázis erőteljes kiválása miatt a dendritágak közepén rézben bő területek alakultak ki, és ahol az eutektoid fázis is jelen van.⁴⁶⁷

Ha az óntartalom a fent említettnél magasabb, 10 % körüli, az őskori öntéseknél nem ritka, hogy az összes ón a delta-fázisban szívódik fel, és a dendriteket általában jól láthatóan alfa+delta eutektoid határolja.⁴⁶⁸

A legtöbb őskori ötvözetben az ón 17 % alatt van. Ennél az értéknél a bronz még hidegen megmunkálható és hőkezelt. A bronz anyaga 17 % és 19 % közötti óntartalomnál hidegen és melegen egyaránt megmunkálhatatlan. Az ilyen tárgyaknál a törekenységet a krisztallitok határán elhelyezkedő rideg delta fázisú réteg okozza. A tárgyak 19 % óntartalom felett pedig csak melegen munkálthatók meg. A harangok és az antik tükrök gyakran készültek 20-25 % ón és 2-10 % ólom felhasználásával. Ezeknek az ötvözeteknek az öntése és feldolgozása évezredek óta szinte alig változik: a béta-fázis 17-23 % óntartalom mellett, 586 °C feletti régióban végbemenő peritektikus átalakulásán alapul. A béta régióban, 586 °C felett a bronz könnyen megmunkálható, azonban miközben lassan szobahőmérsékletre hűl, s alfa és delta régióba kerül, lehetetlen lesz a megmunkálása. A béta bronzok egyik előnye, hogy a béta fázis hirtelen hűtéssel megtartható. Ezek a hirtelen hűtött béta bronzok nagyon kemények, de sokkal kevésbé törekenyek, mint azok, melyeknél a lassú hűtés következtében lezajló átalakulás nagymennyiségű, rideg alfa+delta-eutektoidot hoz létre. (Ez az átalakulás viszont jó lehetőséget nyújt például az ilyen tömbök egyszerű darabolására: a rideggé vált ötvözet egyetlen kalapácsütéssel apró darabokra lehet törhető.) A béta bronzok jellegzetesen aranyszínűek, melyeket gyakran hangszereknél is használnak. A Kárpát-medence késő bronzkori leleteire nem jellemzőek e tárgyak, inkább India és Thaiföld területén gyakoriak, s ehhez a csoporthoz tartozik az iszlám fehérbronz, a "safidruy" is. A még magasabb, 35 % körüli óntartalmú "speculum" pedig a tükrök kedvelt alapanyaga volt a római korban.⁴⁶⁹

⁴⁶⁴ Scott 1991. 25.

⁴⁶⁵ Scott 1991. 25.

⁴⁶⁶ Scott 1991. 103.

⁴⁶⁷ Scott 1991. 25-26.

⁴⁶⁸ Scott 1991. 25.

⁴⁶⁹ Scott 1991. 26.

Az öntés során előállított termékek gyakran még csak félkész állapotúak, további feldolgozásuk szükséges. Ennek során minden esetben a tárgy alakjának vagy jellemzőinek megváltoztatása a cél. Homogén ötvözeteknél a rácsfeszültségek csökkentése, az ötvözet tulajdonságainak javítása - a krisztallitok átalakítása - érdekében hőkezelní kell a fémét.⁴⁷⁰

Ha a homogén réz-ón ötvözetet kalapálással munkálják meg és hőkezelní, megmutatkozik tipikus lapközepes szerkezet jellemvonása. Az átalakulás eredményeként egyenes vonalak mentén kialakuló ikerkrisztallitok, finomabb szövetszerkezet jön létre. Hasonló kép mutatkozik akkor is, ha az ötvözet kétfázisú, bár a meglehetősen törékeny eutektoid egy értéken túl eltörík. Ezt a hőkezelní többszörí ismétlésével, a szövetszerkezetben keletkezett rácsfeszültségek oldásával lehet kiküszöbölni.⁴⁷¹ A megmunkált, hőkezelt bronzoknál a mikrostruktúra általában kis alfa+delta eutektoid szigeteket mutat az alfa fázis szilárd oldatának rekrisztallizált krisztallitjai között.⁴⁷² A szennyezőanyagoktól viszonylag tiszta réz, arany és ólom lassú hűtésénél nem látható dendrites szerkezet - ezen feltételeknél a fém szövetszerkezetében poliéderezen képződött krisztallitok lesznek. Ez lenne az ideális szerkezet a fémek számára. Hőkezelníssel az eredeti dendrit szerkezet is átalakítható poliédere szerkezetűvé, de ez fordítva nem igaz: a poliédere szerkezet hőkezelníssel soha nem alakítható át dendritessé.

A hideg megmunkálás és a hőkezelní melegmegmunkálás formájában kombinálható. Ilyenkor a tárgyat közel a vörös izzás állapotára melegítve rögtön megmunkálják. Az utólagos szövetszerkezeti vizsgálatok során nem dönthető el, hogy miként munkálták meg a fémét, a magas hőmérsékleten azonnal megtörtént, vagy újramelegítés során ment végbe a krisztallitok átalakulása.⁴⁷³

Mint már többször említettük, a krisztallitok mérete a hűtés sebességével befolyásolható. A hidegalakítás, a rekrisztallizáció, a szekunder rekrisztallizáció folyamata során keletkező új krisztallitok, az újrakristályosodás jelentős mértékben megváltoztathatja az ötvözet eredeti tulajdonságait.⁴⁷⁴ A régészeti tárgyaknál e folyamat eredménye a szövetszerkezeten látható elváltozások mellett különösen jól mérhető az eszközök használhatóságát meghatározó keménységmérési adatokkal.

A hőkezelní jellemző hőmérséklete a rézötvözeteknél 500-800 °C - ami a régészeti kísérletek tanúsága szerint az égő fánál magasabb -: a nem frissített (fújtatott) faszén izzási hőmérsékletének felel meg. Az újrakristályosodás során a hőmérséklet mellett a hőkezelní ideje is rendkívül fontos tényező. Ha a tárgyat túl hosszú ideig tartják magas hőmérsékleten, a megnövekedő krisztallitok mérete miatt gyengébb szövetszerkezet alakulhat ki. Túl rövid ideig tartó hőkezelní esetén pedig a heterogén, feszültségekkel teli szerkezet nem tud kellő mértékben átalakulni, homogenizálódni. A túl sokáig, túl magas hőmérsékleten történő hőkezelní során az oxidáció erőssége is hátrányosan befolyásolhatja a tárgy tulajdonságait.⁴⁷⁵

⁴⁷⁰ Scott 1991. 6.

⁴⁷¹ Scott 1991. 25.

⁴⁷² Scott 1991. 25.

⁴⁷³ Scott 1991. 7.

⁴⁷⁴ Gillemot, 1976. 168-170.

⁴⁷⁵ Scott 1991. 7.

A hőkezelés menetét azonban már az alapanyag is nagymértékben befolyásolja. Ha például az eredeti öntvény hűtése erőteljes volt, előfordulhat, hogy a megmunkált ötvözetben a dendritok mintázata gyenge, elmosódott lesz, az átalakult krisztallitok egymásra nyomódnak. A vaskloriddal maratott bronz csiszolatán ilyenkor is láthatóvá válnak az ötvözet összetevői, míg a dendritok külső vonala sokszor alig látható. Nem ritka, hogy több kísérletre is szükség van a különböző színek és egyéb eltérések értelmezéséhez.⁴⁷⁶

A réz- és óntötvözetek metallurgiai jellemzőinek áttekintése után jól látható, hogy gyakorlati célra zömében csak az alfa- és a béta-fázis területébe tartozó, legfeljebb 20 % ónt tartalmazó ötvözetek használhatók. A nagyobb óntartalmú ötvözetekben megjelenő és bonyolult átalakulásokon átmenő elektronvegyületek nagyon ridegek, ezért ezeket csak kivételes esetekben alkalmazzák (mint például a római kori tükröknél).

Az alfa fázis tág hőmérsékleti közben kristályosodik a legfeljebb 13 % ónt tartalmazó olvadékból, s emiatt erősen réteges kristályok fejlődnek. A 13%-nál jóval kisebb, pl. 8% óntartalmú ötvözetekben a kristályosodás során 798 °C-on a végbemenő peritektikus reakció termékeképpen béta-fázis is képződik, amely a további hűlés során alfa+delta-eutektoiddá alakul át.⁴⁷⁷ Ezért a további feldolgozás alapanyagául szolgáló - rúd, szalag, lemez, stb. - ónbronzoznál ma is csak a 2-6 % óntartalmú egyensúlyi állapotukban homogén alfa-fázisú ötvözetek használatosak. A 10-12 % óntartalmú ötvözetek öntött, heterogén szövetű állapotukban a kopással szemben ellenállóak, ezért ezeket főként öntvények esetében alkalmazzák.⁴⁷⁸

Az ónbronzo tulajdonságait meghatározó metallurgiai törvényszerűségek rövid áttekintése lehetőséget nyújt számunkra az urnamezős kultúra konkrétan vizsgált régészeti leletei és az eddigi régészeti kutatások adatainak pontosabb, a metallurgiai törvényszerűségeket is figyelembe vevő értelmezésére.

⁴⁷⁶ Scott 1991. 25.

⁴⁷⁷ Verő-Káldor 1977. 167.

⁴⁷⁸ Verő-Káldor 1977. 169.

6.2. IRODALOM

- Aitchison 1960 - L. Aitchison: A history of metals. I-II. London.
- Allen-Britton-Coghlan 1970 - I.M. Allen-D. Britton-H.H. Coghlan: Metallurgy Reports on British and Irish Bronze Age Implements and Weapons in the Pitt Rivers Museum. Oxford.
- A.S.M. 1973 - American Society for Metals: Metallography, Structures and Phase Diagrams. Metals Handbook, 7. kiadás, 8. kötet, Ohio.
- A.S.M. 1979 - American Society for Metals: Properties and Selection: Non-ferrous Alloys and Pure Metals. Metals Handbook, 9. kiadás, 2. kötet, Ohio.
- Bader 1970 - T. Bader: Fibule cu scut dintr-un singur fir. SCIV 21 209-224.
- Bader 1982 - T. Bader: Die Fibeln in Rumänien. PBF XIV/6. München.
- Bakos-Borszéki 1989 - Bakos M.-Borszéki J.: Későbronzkori fémleletek lézer-mikrospektrokémiai vizsgálatának eredményei. Acta Musei Papensis 2 33-37.
- Bamberger 1985 - Bamberger, M.: The working conditions of the ancient copper smelting process. In.: Furnaces and smelting technology in antiquity. (Ed.: Craddock, P. T. - Hughes, M. J.) British Museum Occasional Paper No.48, London. 151-158.
- Barth 1987 - F.E. Barth: Vierrädrige Wagen der Hallstattzeit. Mainz.
- Bath-Bilková 1973 - B. Bath-Bilková: K problemu puvoddu hriven. Zur Herkunftsfrage der Halsringbaren. PA 64, 24-41.
- Bernus-Echard 1985 - S. Bernus-N. Echard: Metal working in the Agadez region (Niger): An ethno-archaeological approach. In.: Furnaces and smelting technology in antiquity. (Ed.: Craddock, P. T.-Hughes, M. J.) British Museum Occasional Paper No.48, London. 71-79.
- Bill 1985 - J. Bill: Das Schwerdepot von Oberillau. Helvetia Archaeologica 57/60.
- Biró 1995 - T. Biró K.: Lithic implements of Górn, NW Hungary; evidence of stone casting moulds production: preliminary results. ASMOSIA 3, 51-56.
- Biró 1991 - T. Biró K.: A kései neolitikum kőeszközei és nyersanyagforgalma a magyar Alföldön. Kandidátusi disszertáció tézisei. Bp.
- Biringuccio é.n. - V. Biringuccio: The Pirotechnika. London.
- Blick 1991 - C.R. Blick (ed): Early metallurgical sites in Great Britain. Institute of Metals
- Bodgál 1959 - Bodgál F.: A rézöntés technikájához. (Az edelényi juhászkampó). Ethnographia LXX. 369-391.
- Bodgál 1965 - Bodgál F.: A BAZ megyei cigányok fémművészete. Ethnographia (LXXXVI) 521-545.
- Born 1992 - H. Born: Zu den Herstellungstechniken der Armringe aus dem Bronzefund von Lengyeltóti/Ungarn. APA 24, 289-294.
- Born-Hansen 1992 - H. Born-S. Hansen: Antike Herstellunstechniken: ein urnenfelderzeitlicher Bronzehelm aus der Waffensammlung Zschille. APA 24, 339-356.
- Bossert 1923 - H.Th. Bossert: Altkreta. Kunst und Handwerk in Griechenland, Kreta und auf den Kykladen während der Bronzezeit. Berlin, Wasmuth.
- Bossert 1928-35 - H.Th. Bossert: Gesichte der Kunstgewerbes. Bd. 1-6.
- Bossert 1930 - H.Th. Bossert: Geschichte des Kunst gewerbes aller Zeiten und Völker. Berlin-Zürich.
- Bossert 1937 - H.Th. Bossert: Altkreta. Kunst und Handwerk in Griechenland, Kreta und auf den Kykladen während der Bronzezeit. 3. vermehrte Auflage. Berlin, Wasmuth.

- Bossert 1942 - H.Th. Bossert: Altanatolien. Kunst und Handwerk in Kleinasien von den Anfängen bis zum völligen Aufgehen in der griechischen Kultur. Berlin, Wasmuth.
- Bossert 1951 - H.Th. Bossert: Altsyrien. Kunst und Handwerk in Cypern, Syrien, Palästina. Berlin, Wasmuth.
- Bottini 1988 - A. Bottini: Antike Helme. Mainz.
- Bouzek 1985 - J. Bouzek: The Aegean, Anatolia and Europe: Cultural Interrelations in the Second Millennium BC. Praha.
- Bölönyi 1873 - Bölönyi S.: A szent-péterszegi bronzlelet. AÉ 7, 79-81.
- Bronsted 1962 - J. Bronsted: Bronzezeit in Dänemark. In: Nordische Vorzeit. II. Neumünster.
- Buchholz-Drescher 1987 - H.G. Buchholz-H. Drescher: Einige frühe Metallgeräte aus Anatolien. Acta praehistorica et archaeologica 19, 37-70.
- B.S.I. 1986. - British Standards Institution: British Standard International thermocouple reference tables. 8. kötet.
- Bünker 1914 - Bünker R.: Hasfalvi bronztárgy. MKÉ 8, 105-113.
- Cassola-Guida 1973 - P. Cassola-Guida: Le armi difensive dei Micenei nelle figurazioni. Róma.
- Coghlan 1951 - H.H. Coghlan: Notes on the Prehistoric Metallurgy of Copper and Bronze in the Old World. Oxford.
- Coghlan-Butler-Parker 1963 - H.H. Coghlan-J.R. Butler-G. Parker: Ores and Metals. London.
- Charles 1985 - J.A. Charles: Determinative mineralogy the origins of metallurgy. In.: Furnaces and smelting technology in antiquity. (Ed.: P.T. Craddock-M.J. Hughes) British Museum Occasional Paper No.48, London. 21-28.
- Chernykh 1992 - E.N. Chernykh, E. N.: Ancient metallurgy in the USSR. Cambridge.
- Childe 1956 - V.G. Childe: Notes on the chronology of the Hungarian Bronze Age. AAH 7, 291-292.
- Coles 1981 - J.M. Coles: Metallurgy and Bronze Age Society. In: Studien zur Bronzezeit. Festschrift für Wilhelm Albert von Brunn. (Szerk.: Lorenz, Herbert) Mainz. 95-107.
- Craddock 1980 - P.T. Craddock (ed): Scientific studies in early mining and extractive metallurgy. British Occasional Paper No. 20, London.
- Craddock 1985 - P.T. Craddock-M.J. Hughes (eds): Furnaces and smelting technology in antiquity. British Museum Occasional Paper No.48, London.
- Craddock 1995 - P. Craddock: Early Metal Mining and Production. Edinburgh.
- Crew 1990 - P. Crew-S. Crew (Ed): Early Mining in the British Isles. Plas Tan y Bwlch.
- Csallány 1939 - Csallány G.: A Szentes-nagyhegyi koravsakori bronzlelet. - Frühhallstattzeitlicher Hortfund von Szentes-Nagyhegy. FA 1-2, 58-67.
- Czajlik 1993 - Czajlik Z.: Exploration géoarchéologique du mont Szent Vid. AAH 45, 317- 347.
- Czajlik-Molnár-Solymos 1995 - Czajlik Z.-Molnár F.-Solymos K.: Angaben zu der spätbronzezeitlichen Metallrohmaterialversorgung am Velem/St.-Veit-Berg, Westungarn. ARCHÖST 6/2, 30-35.
- Dabrowski 1981 - J. Dabrowski: Beiträge zur kulturbindenden Rolle der Bronze. In: Studien zur Bronzezeit. Festschrift für Wilhelm Albert von Brunn. (Szerk.: Lorenz, Herbert) Mainz. 109-117.
- Darnay 1897 - Darnay K.: A kisapáti bronzkincs. AÉ 17, 116-127.
- Darnay 1899 - Darnay K.: Sümegh vidékének őskora. AK 22, 19-66.
- Darnay 1908 - Darnay K.: Kelta pénzverő- és öntőműhely Szalacsán (Somogy megye). AÉ 28, 137-148.
- Darnay 1910 - Darnay K.: Az uzsavölgyi bronzkincs. AÉ 30, 426-431.
- Davies 1935 - O. Davies: Antimony-Bronze in Central Europe. Man 35 (1935) 86-89.
- Dennis 1963 - W.H. Dennis (Ed.): A Hundred Years of Metallurgy. London.

- Dickinson 1994 - O. Dickinson: The Aegean Bronze Age. Cambridge.
- Dömötör 1902 - Dömötör L.: A pécskai őstelepről származó öntőmintákról. *ÁÉ* 22, 271-274.
- Drescher 1958 - H. Drescher: Der Überfangguss. Mainz.
- Ecsedi 1931 - Ecsedi I.: Csengőöntés ősi módon Hajdúböszörményben. Debrecen.
- Ecsedy 1982 - Ecsedy I.: Ásatások Zók-Várhegyen (1977-1982). *JPMÉ* 27, 59-105.
- Egloff 1985 - M. Egloff: A l'aube du "design": les manches des faucilles du Bronze final. *Helvetica Archaeologica* 57/60. 51-66.
- Egg-Pare 1995 - M. Egg-Ch. Pare: Die Metallzeiten in Europa und im Vorderen Orient. Mainz.
- Eibner 1982 - C. Eibner: Kupfererzbergbau in Österreichs Alpen. (In.: Südosteuropa zwische 1600 und 1000 v. CHR. Berlin.)
- Érdy 1847 - Érdy /Luczenbacher/ J.: A' dánországi régi sírhalmokról. *Magyar Akadémiai Értesítő* 7, 216-221.
- Érdy 1847a - Érdy J.: A pogány magyar sírok körül tett felfedezések. *Magyar Akadémiai Értesítő*. 282-289.
- Érdy 1861 - Érdy J.: Kelenföldi pogány sírok. *Arch.Közl.* 2, 29-45.
- Fansa 1990 - M. Fansa (red.): *Experimrimentelle Archäologie*. Beiheft 1-5. Oldenburg.
- Fekete 1985 - Fekete M.: Adatok a koravaskori ötvösök és kereskedők tevékenységéhez. *ÁÉ* 112, 68-91.
- Fekete 1986 - Fekete M.: A celldömölk-izsákfai késő bronzkori raktárlelet röntgendiffrakciós vizsgálata. *IRAMTO V/1.* 5.
- Foltiny 1955 - Foltiny I.: Zur Chronologie der Bronzezeit des Karpatenbeckens. Bonn.
- Ford-Willies 1994 - T.D. Ford-L. Willies: (ed) *Mining Before Powder*. Matlock.
- France-Lanord 1994 - A. France-Lanord: *Metaux Anciens - Ancient Metals*. h.n.,
- Freestone-Craddock-Hedge-Hughes-Valiwal 1985 - I.C. Freestone-P.T. Craddock-K. T.M. Hedge-M.J. Hughes-H.V. Paliwal: Zinc production at Zawar, Rajasthan. In.: *Furnaces and smelting technology in antiquity*. (Ed.: P.T. Craddock-M.J. Hughes) *British Museum Occassional Paper No.48*, London. 229-242.
- Frey 1905 - Frey I.: A kiskőszegi bronzlelet. *ÁÉ* 26, 189-191.
- Frey 1905a - Frey I.: A kiskőszegi és a mátészalkai leletekről. *ÁÉ* 26, 257-260.
- Gabrovec 1966 - S. Gabrovec: Zur Hallstattzeit in Slovenien. *Germania* 44, 1-47.
- Gale-Papastamatakai-Stos-Gale-Leonis 1985 - N. H. Gale-A. Papastamataki-Z. A. Stos-Gale-K. Leonis: Copper sources and copper metallurgy in the Aegean Bronze Age. In.: *Furnaces and smelting technology in antiquity*. (Ed.: Craddock, P. T. - Hughes, M. J.) *British Museum Occassional Paper No. 48*, London. 81-102.
- Garland-Bannister 1927 - H. Garland-C.O. Bannister: *Ancient egyptian metallurgi*. London.
- Gill 1993 - M.C. Gill: *The Grassington Mines*. (British Mining 46.) *Nothern Mine Research Society*.
- Gömöri 1976 - Gömöri J.: IX-X. századi vasolvasztó helyek Sopron környékén. *SSz* 30, 239-255.
- Great Orme Mine é.n. - Early mining and smelting. (kézirat) H.n., é.n.
- Great Orme Mine 1995 - (British Mining 52.) *Nothern Mine Research Society*, 1995.
- Great Orme Mine 1996 - *Current Archaeology* 130, 404-409.
- Hamlin 1996 - A.G. Hamlin: *The Discovery and Exploitation of Metals*. Butser Ancient Farm.
- Hampel 1864 - Hampel J.: Marosmegyei aranylelet *ÁÉ* 14, 29-32.
- Hampel 1880 - Hampel J.: Óskori öntőminták. *ÁÉ* 14, 211-214.
- Hampel 1880a - Hampel J.: Pilini öntőminta. *ÁÉ* 14, 158.
- Hampel 1886-1896 - Hampel J.: *A bronzkor Magyarhonban*. I-III. Budapest.
- Hampel 1887 - Hampel J.: *Alterthümer der Bronzezeit in Ungarn*. Budapest.

- Hampel 1896 - Hampel J.: A biharmegyei bronzlelet. *AÉ* 16, 383-384.
- Hampel 1908 - Hampel J.: A hajdúsámsoni bronzkincs. *MKE* 2, 127-133.
- Hänsel 1967 - B. Hänsel: Ein Hortfund der älteren Mittelbronzezeit aus Hodonin (Göding) in Mähren. *Mitt. der Anth. Gess. Wien* 16-17, 275-289.
- Hänsel 1990 - A. Hänsel: Der Hortfund von Crévic, ein urnenfelderzeitliches Handverkerdepot aus Lothringen. *Acta prehistorica et archaeologica* 22. 57-81.
- Hansen 1991 - S. Hansen: Studien zu den Metalldeponierungen während der Urnenfelderzeit im Rhein-Main-Gebiet. Bonn.
- Hartmann 1968 - A. Hartmann: Spektralanalytische Untersuchungen bronzzeitlicher Goldfunde des Donauraumes. *Germania* 46, 19-27., 63-73.
- Hartmann 1970 - A. Hartmann: Prähistorische Goldfunde aus Europa. Spektralanalytische Untersuchungen und deren Auswertung. Berlin. (Mitteleuropa und Donauraum: 32-45.)
- Heckenast 1962 - Heckenast G.: A vaskohászat története Magyarországon a honfoglalástól a XVIII. század közepéig. *Kohászati Lapok* 7.sz. 330-334.
- Hegedűs 1991 - Hegedűs Z.: Bronzkori kemencében történő olvasztás, olvasztókemencék a Kárpát-medencében. *Bányászati és Kohászati Lapok-Öntöde különszám* 42, 213-217.
- Hegedűs-Nováki 1961 - Hegedűs Z.-Nováki Gy.: Adatok a Sopron-Magashídi vasolvasztó telepről. *Kohászati Lapok* 8. sz. 372-378.
- Hellebrandt 1986 - Hellebrandt M.: A II. sárospataki bronzlelet. *ComArcHung.* 5-15.
- Hellebrandt 1989 - Hellebrandt M.: A pácini IV. bronzlelet. *ComArcHung.* 98-117.
- Helm 1895 - O. Helm: Chemische Untersuchung vorgeschichtlicher Metall-Legierungen aus Siebenbürgen und Westpreussen. *ZfE* 762-768.
- Helm 1895a - O. Helm: Chemische Zusammensetzung einiger Metall-Legierungen aus der altdakischen Fundstätte von Tordosch in Siebenbürgen. *ZfE* 619-627.
- Helm 1900 - O. Helm: Über die Bedeutung der chemischen Analyse bei vorgeschichtlichen Untersuchungen. *MAG* 30-34.
- Helm 1900a - O. Helm: Chemische Analyse vorgeschichtlicher Bronzen aus Velem St. Veit in Ungarn. *ZfE* 25, 359-365.
- Hencken 1971 - H. Hencken: The earliest European helmets Bronze age and iron age. Cambridge.
- Henriksen 1991 - M.B. Henriksen: Et forsøg med forhistorisk ligbraending. In.: *Eksperimentel Arkaeologi. Lejre.* 50-60.
- Henszlmann 1876 - Henszlmann I.: A történelem előtti és embertani VIII. nemzetközi kongressusnak Budapesten tartott ülési és kirándulásai. *AÉ* X, 237-267.
- Herdits 1993 - H. Herdits: Zum Beginn experimentalarchäologischer Untersuchungen einer bronzzeitlichen Kupferverhüttungsanlage in Mühlbach, Salzburg. *Archaeologia Austriaca* 77, 31-38.
- Higham 1996 - Ch. Higham: The Bronze Ages of Southeast Asia. Cambridge.
- Holste 1951 - F. Holste: Hortfunde Südosteuropas. Marburg/Lahn.
- Honti 1992 - Honti Sz.: Késő bronzkori kincslelet Nagyberki-Cseh-rétről. *SOMÉ* 9, 41-48.
- Horst 1986 - F. Horst: Die jungbronzezeitlichen Kannelurensteine des mitteleuropäischen Raums - Werkzeuge für die Bronzeverarbeitung? *Helvetica Archaeologica* 17/67, 82-91.
- Hosler 1994 - D. Hosler: The Sound and Colors of Power. Massachusetts.
- Hostmann 1875 - C. Hostmann: Zur Geschichte und Kritik der nordischen Systems der drei Culturperioden. *Arch. f. Anthr.* 8, 281-314.
- Hostmann 1876 - C. Hostmann: Zur Kritik der Culturperioden. *Arch. f. Anthr.* 9, 185-218.
- Hostmann 1877 - C. Hostmann: Zur Bronzealter-Frage. *Arch. f. Anthr.* 10, 27-41.

- Hostmann 1877a - C. Hostmann: Schlussbemerkungen zu den vorstehenden Erörterungen der Bronzefrage. Arch. f. Anthr. 10, 63-73.
- Hostmann 1890 - C. Hostmann: Studien zur vorgeschichtlichen Archäologie. Braunschweig.
- Iconomu 1995 - C. Iconomu: Archaologische Funde aus Bradicesti, Kreis Iasi. (In.: Bronzefunde aus Rumänien. Szerk: Tudor Soroceanu) Berlin. 245-254.
- Ilon 1989 - Ilon G.: Adatok az Északnyugat-Dunántúl késő bronzkorának bronzművességéhez. Acta Musei Papensis 2, 15-32.
- Ilon 1990 - Ilon, G.: Keftubarren/Ingot melting form. IRAMTO 7, 12.
- Ilon 1991 - Ilon G.: A tudományok együttműködése a góri feltáráson (Interdisciplinary collaboration of sciences at the Gór excavations). IRAMTO 9, 12.
- Ilon-Biró 1991 - Ilon G.-Biró K.: A góri régészeti feltárás későbronzkori öntőformáiról (On the Late Bronze Age casts of the Gór archaeological excavations). IRAMTO 9, 12-14.
- Ilon 1992 - Ilon G.: A településszerkezet és a fémművesség kapcsolatáról az Északnyugat-Dunántúl késő bronzkorában. (In.: A Dunántúl településtörténete IX. Szerk.: Solymosi L. - Somfai B.) Veszprém. 9-21.
- Ilon 1992b - Ilon G.: Keiftubarren ingot from an Urn-grave Culture settlement at Gór-Kápolnadomb (C. Vas) AAAH 44, 239-259.
- Indrenko 1956 - R. Indrenko: Steingeräte mit Rille. Stockholm, 1956.
- Ipolyi 1861 - Ipolyi A.: Magyar régészeti krónika. ArchKözl 2.
- Jackson 1980 - J.S. Jackson: Bronze Age copper mining in Counties Cork and Kerry, Ireland. (In.: P.T. Craddock (ed): Scientific studies in early mining and extractive metallurgy. British Occasional Paper No. 20, London) 9-30.
- Jobba 1987 - Jobba Gy.: Mi okozhatta Hephaistos sántaságát? Orvostörténeti Közlemények 33, 137-140.
- Jockenhövel 1982 - A. Jockenhövel: Zu den ältesten Tüllenhammern aus Bronze. Germania 60, 459-467.
- Jósa 1902 - Jósa A.: A takta-kenézi bronzleletről. AÉ 22, 274-280.
- Jósa 1910 - Jósa A.: Hallstatti vagy "nyíri" kultúra. MKÉ 4, 109-117.
- Jovanovic 1971 - B. Jovanovic: Metalurgija eneolitikog perioda Jugoslavije. Beograd.
- Junghaus-Sangmeister-Schröder 1975 - S. Junghaus-E. Sangmeister-M.Schröder: Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Katalog der Analysen Nr. 1-22000. Berlin, 1960-1975.
- Kárpáti 1896 - Kárpáti K.: A velemi bronzlelet. AÉ 16, 295-304.
- Kemenczei 1983 - Kemenczei T.: A Tatabánya-bánhidai bronzlelet. AÉ 110, 61-67.
- Kemenczei 1984 - Kemenczei T.: Die Spätbronzezeit Nordostungarns. Budapest.
- Kemenczei 1988 - Kemenczei T.: Der Pferdegeschirrfund von Fügöd. AAAH 40, 65-81.
- Kemenczei 1988a - Kemenczei T.: Die Schwerter in Ungarn I. PBF IV/6. München.
- Kemenczei 1995 - Kemenczei T.: A bronzkor kincsei Magyarországon (In: A bronzkor kincsei Magyarországon. Szerk.: Maráz Borbála.) Pécs.
- Kiss 1869 - Kiss F.: A karikapéz. ArchKözl 1, 174-215.
- Knauth 1994 - P. Knauth: The metallsmiths. Time-Life Books.
- Koch 1966 - Koch S.: Magyarország ásványai. Budapest.
- Kohlbach 1900 - Kohlbach B.: A simonfai bronzleletről a Kaposvári Állami Főgymnasium gyűjteményében. AÉ 20, 79-84.
- Komoróczy 1983 - Komoróczy G.: "Fénylő ölednek édes örömében". A sumer irodalom kistükre. Budapest.
- Komoróczy é.n. - Komoróczy G.: Baal és Anat. Ugariti eposzok. Budapest.
- Kovács 1977a - Kovács T.: A bronzkor Magyarországon. Budapest.

- Kovács 1994 - Kovács T. (Ed.): *Tresasures of the Hungarian Bronze Age*. Budapest.
- Kovács 1995 - *Bronzművesek, harcosok, kincsleletek*. (In: *A bronzkor kincsei Magyarországon*. Szerk.: Maráz Borbála.) Pécs.
- Kovács 1996 - *Studien zur Metallindustrie im Karpatenbecken und den benachbarten Regionen*. Ed.: Tibor Kovács. Budapest
- Költő-Kis Varga 1992 - Költő L.-Kis Varga M.: A Pápai Helytörténeti Múzeum néhány későbronzkori leletének röntgenemissziós analitikai vizsgálata. *Acta Musei Papensis* 3-4, 81-84.
- Kószegi 1993 - Kószegi F.: A Regöly-Veravár késő bronzkori leletegyüttes tipológiai és időrendi kérdései. *SzeKMÉ* 18, 225-235.
- Kretzschmer 1958 - F. Kretzschmer: *Bilddokumente römischer Technik*. Düsseldorf.
- Kröhke 1897 - O. Kröhke: *Chemische Untersuchungen an vorgeschichtlichen Bronzen Schleswig-Holsteins*. Kiel.
- Kröhke 1900 - O. Kröhke: *Untersuchungen vorgeschichtlicher Bronzen Schleswig-Holsteins*. Hamburg.
- Kubinyi 1861 - Kubinyi F.: Magyarországon talált kő- és bronzkori régiségek. *ArchKözl* 2, 81-113.
- Kuzmina 1991 - E. Kuzmina: *Die urgeschichtliche Metallurgie der Andronovo-Kultur*. Bergbau, Metallurgie und Metallbearbeitung. *ZfA Z. Archäol.* 25, 29-48.
- Kuzsinszky 1920 - Kuzsinszky B.: *A Balaton környékének archaeológiája*. Budapest.
- Lázár 1941 - Lázár J.: A sághegyi I. és II. számú bronzleletek ismertetése. Szombathely.
- Lázár 1943 - Lázár J.: A sághegyi őskori telep bronzművessége. - *Die Bronzeindustrie der urzeitlichen Siedlung am Ságberg*. *DuSz.* 280-287.
- Lehoczky 1873 - Lehoczky Tivadar: Karikával ellátott bronz-szekerce. *AÉ* 7, 257-258.
- Lindenschmit 1876 - L. Lindenschmit: *Entgegnung auf die vorstehenden Bemerkungen des Herrn Sophus Müller zu meiner „Beurtheilung der nordischen Bronzekultur und des Dreiperiodensystems.“*. *Arch. f. Anthr.* 9, 141-155.
- Loczka 1885 - Loczka J.: A kurdi etruszk bronzkazan vegyelemzése. *AÉ* 149.
- Loczka 1885a - Loczka J.: Kurdi ciszták vegyelemzése. *AÉ* 280-281.
- Loczka 1889 - Loczka J.: Hazai bronzkori tárgyak vegyelemzése. *Math. Tt. Ért.* 1889. 275-291.
- Lorenz 1981 - H. Lorenz: (Red.) *Studien zur Bronzezeit*. Festschrift für Wilhelm Albert von Brunn. Mainz.
- Maclean 1993 - P. Maclean: *A Metallurgical Investigation Into Antimonial Bronze And Its Archaeological Occurrence*. Bradford (kézirat)
- Maclean 1996 - P.I. Maclean- J.G. McDonnell: *New archaeometrical investigations of the bronzes in the Carpatian basin*. *Pápai Múzeumi Értesítő* 6., 77-82.
- Majláth 1870 - Majláth B.: A liptói szép kard. *AÉ* 4, 17-18.
- Majláth 1870a - Majláth B.: Két bronztű Liptó megyében. *AÉ* 4, 112-114.
- Majláth 1870b - Majláth B.: Még egyszer a liptói szép kard. *AÉ* 4, 271-272.
- Majláth 1871 - Majláth B.: A bronz korszak. *AÉ* 5, 153-157.
- Majláth 1872 - Majláth B.: A sztrechnói öblöny. *AÉ* 7, 269-272.
- Majnaric-Pandzic 1992 - Majnaric-Pandzic: *Ljevaonica broncanih predmeta u kasnobroncanodobnom naselju na Kalniku kod Krizevaca*. *Opuscula Archaeologica* 16, 57-73.
- Mangin 1994 - M. Mangin (ed): *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen*. Paris.
- Maráz 1989 - Maráz B.: Az őskori bronzművesség virágkora a Dél-Dunántúlon. *Baranya*, 2/1-2, 7-25.

Márton 1930 - Márton Lajos: Bronzkardjaink markolatának és hüvelyének csontdízítményei. AÉ 49, 14-27.

Medelet 1995 - F. Medelet: Ein urnefelderzeitlicher Depotfund von bronzenen Werkzeugen in Fratelia bei Timosoara, Kr. Timis. (In.: Bronzefunde aus Rumänien. ed: Tudor Soroceanu) Berlin. 229-236.

Merhart 1941 - G. Merhart: Zu den ersten Metallhelmen Europas. BRGK 4-14.

Mészáros 1971-72 - Mészáros Gy.: A nagyvejkei késő bronzkori kincslelet, SzekMÉ 2-3(1971-1972) 19-66.

Mészáros 1975-76 - Mészáros Gy.: Későbronzkori kincslelet Regöly-Kesziszállás dűlőből. SzekMÉ 6-7, 61-72.

Mészáros 1975-76a - Mészáros Gy.: Szkíta kori sírlelet Bonyhádról. SzekMÉ 6-7, 73-77.

Mészáros 1977-78 - Mészáros Gy.: Későbronzkori kincslelet Dombóvár-Szarvasd pusztán. SzekMÉ 8-9, 3-22.

Miske 1897 - Miske K.: Edények és brozemplékek a velem-szentvidi őstelepről. AÉ 17, 290-304.

Miske 1899 - Miske K.: A felső-szentlászlói(?) bronzleletről. AÉ 19, 60-62.

Miske 1901 - Miske Kálmán analízisei. Jelentés OL VKM 736 547/1901.

Miske 1904 - Miske K.: Die ununterbrochene Besiedlung Velem St. Veits. AfA 29-41.

Miske 1904a - Miske K.: Die Bedeutung Velem - St. Veits als prähistorische Gussätte mit Berücksichtigung der Antimon-Bronzefrage. AfA 124-138.

Miske 1907 - Miske K.: Velem Szt.vidi őstelep. I. Wien.

Miske 1908 - Miske K.: Die prähistorische Ansiedlung Velem St. Vid, Wien.

Miske 1910 - Miske K.: A Hallstatt-kor hazai és egyéb európai nevezetesebb kapcsolótűi. MKÉ 4, 66-77.

Miske 1912 - Miske K.: Bronzkori typologia. I. MKÉ 6, 77-97.

Miske 1913 - Miske K.: Bronzkori typologia. II. MKÉ 7, 8-24.

Miske 1924 - Miske K.: St Vid, ein Mittelpunkt des prehistorischer Bronzehandels AfA 22 (1924) 66-71.

Miske 1928 - Miske K.: A történelem előtti idők fémkohászata. TtK 41-53, 366., 476-480.

Miske 1929 - Miske K.: Bergbau, Verhüttung und Metallbearbeitungswerkzeuge aus Velem - St. Veit (Westungarn). WPZ 81-94.

Mithay 1941 - Mithay S.: Bronzkori kultúrák Győr környékén (Bronzezeitliche Kulturen in der Umgebung von Győr. Győr.

Mohen 1990 - J.P. Mohen: Métallurgie préhistorique. Paris.

Mozsolics 1939 - Mozsolics A.: Egy korahallstatti kincslelet Celldömölkéről. - Ein Depotfund der frühen Hallstattzeit aus Celldömölk. FA 1-2, 1-6.

Mozsolics 1941 - Mozsolics A.: A második velemi kincslelet. - La seconde trouvaille de bronze de Velemszentvid. DuSz 5, 257-263.

Mozsolics 1943 - Mozsolics A.: Báró Miske Kálmán irodalmi munkássága. DuSz 262-263.

Mozsolics 1945 - Mozsolics A.: Őskori bronzkalapácsok. - Marteaux préhistoriques en bronze. MM 53-57, 95.

Mozsolics 1949 - Mozsolics A.: Két dunántúli bronzlelet a hallstattkorból. ArchÉrt 71, 26-29

Mozsolics 1954 - Mozsolics A.: Adatok a magyarországi hallstattkori kisplasztikához. ArchÉrt 81, 165-167.

Mozsolics 1956 - Mozsolics A.: Azurnüe povozocsnüe nakladki pozdnebronzovoj epohi. AAAH 7, 1-16.

Mozsolics 1963 - Mozsolics A.: Der Bronzefund von Ópályi. AAAH 15, 65-82.

Mozsolics-Hegedűs 1963a - Mozsolics A.-Hegedűs Z.: Két nagykállói bronzlelet és a telekoldali bronzlelet vizsgálata. - Zwei Depotfunde von Nagykálló (Kom. Szabolcs-Szatmár) und die spektographische Untersuchung einiger Bronzen von Telekoldal. AÉ 90, 252-262.

Mozsolics 1971 - Mozsolics A.: Some Remarks on "Peschiera" Bronzes in Hungary. The European Community in Later Prehistory, Studies in Honour of C.F.C. Hawkes. 57-76.

Mozsolics 1972 - Mozsolics A.: Újabb kardleletek a Magyar Nemzeti Múzeumban II. AÉ 99, 188-205.

Mozsolics 1973 - Mozsolics A.: Somogy megyei bronzleletek I.SMMK 2, 5-21.

Mozsolics 1975 - Mozsolics A.: Somogy megyei bronzleletek, SMK 2, 5-21.

Mozsolics 1984 - Mozsolics A.: Ein Beitrag zum Metallhandwerk der ungarischen Bronzezeit. BRGK 65, 19-72.

Mozsolics 1985 - Mozsolics A.: Bronzefunde aus Ungarn. Budapest.

Mozsolics 1987 -

MRT 1966 - Magyarország Régészeti Topográfiája 1. Veszprém megye Régészeti Topográfiája, A Keszthelyi és Tapolcai járás. Budapest.

MRT 1979 - Magyarország Régészeti Topográfiája 5. Komárom megye Régészeti Topográfiája, A dorogi járás. Budapest.

Müller 1876 - S. Müller: Dr. Hostmann und das nordische Bronzealter zur Beleuchtung der Streitfrage. Arch. f. Anthr. 9, 127-139.

Müller 1877 - S. Müller: Zur Bronzealter-Frage. Arch. f. Anthr. 10, 27-41.

Müller 1972 - Müller R.: A pötrétei késő bronzkori kincslelet. VMMK 11, 59-74.

Müller-Karpe 1959 - H. Müller-Karpe: Beiträge zu Chronologie der Urnenfelderzeit nördlich und südlich der Alpen. RGF 22.

Much 1893 - M. Much: Die Kupferzeit in Europa. Jena.

Muhly 1973 - J.D. Muhly: Copper and tin. Connecticut.

Nacsa 1993 - Nacsa M.: Korong alakú bronzkori övdísz készítési technológiája. Tisicum 115-126.

Neugebauer 1994 - J-W. Neugebauer: Bronzezeit in Ostösterreich. Wien.

Nováki 1960 - Nováki Gy.: Jelentés a Velem-Szt Vid hegyi mágneses mérésekről. MNMRA III. 1960/118.

Nováki 1961 - Nováki Gy.: Velem-Szent Vid-hegyi (Vas m.) próbaásatás. MNMRA II. 1961/44.

Nyáry 1870 - Nyáry J.: A pilini régiségekről. AÉ 3, 125-129.

Nyáry 1885 - Nyáry J.: A bronzcultura Magyarországon. AÉ 5, 281-282.

Nyáry 1885a - Nyáry J.: A bronzcultura Magyarországon. MTAÉ 1885 40-41.

O'Brien 1996 - W. O'Brien: Bronze Age copper mining in Britain and Ireland. (Shire archaeology 71.)

Oddy 1985 - W.A. Oddy: Illustrations of metallworking furnaces on Greek vases. In.: Furnaces and smelting technology in antiquity. (Ed.: P.T. Craddock-M.J. Hughes) British Museum Occasional Paper No.48, London. 43-58.

Olsen 1988 - S.L. Olsen (ed): Scanning Electron Microscopy in Archaeology. BAR Int.Ser. 452.

Orvos 1989 - Orvos E.: Plinius a bronzművészegről. Egyetemi szakdolgozat. Debrecen.

Otto-Witter 1952 - H. Otto-W. Witter: Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa. Leipzig.

Paksy 1989 - Paksy László: Pácin IV. lelet Fe tartalmának vizsgálata. ComArccHung 114-117.

Patay 1968 - Patay P.: Utóbronzkori bronzedényekről. - On the Bronze Vessels of the Urnfield Age. AÉ 95, 66-81.

Patay 1969 - Patay P.: Der Bronzefund von Mezőkövesd. ActaArchHung 21, 167-216.

Patay 1985 - Patay P.: A tamási bronzcsésze lelet. ArchÉrt 112, 210-214.

Patay 1990 - Patay P.: Die Bronzegefäße in Ungarn. PBF II/10 München.
 Patek 1968 - Patek E.: Die Urnenfelderkultur in Transdanubien. Budapest.
 Pásztor-Szepessy-Kékesi 1990 - Pásztor G.-Szepessy A.-Kékesi T.: Színesfémek metallurgiája. Budapest.
 Pásztor 1990 - Pásztor G.: A színesfémek metallurgiájának története. (In: Színesfémek metallurgiája.) Budapest. 11-51.
 Penhallurick 1986 - R.D. Penhallurick: Tin in Antiquity. The Institute of Metals, London, 1986.
 Petersic-Cobal 1988-89 - M. Petersic-Cobal: Metalografska preiskava bronastih prazgodovinskih predmetov iz Ormoza. Arheoloski vestnik 39-40, 323-332.
 Petres 1982 - F. Petres É.: Neue Angaben über die Verbreitung der spätbronzezeitlichen Schutz Waffen. Savaria 16, 57-80.
 Pietzsch 1964 - A. Pietzsch: Zur Technik der Wendelringe. Berlin, 1964.
 Pittioni 1958 - Pittioni, R.: Der Schmelzplatz Nr. 13 des Bergbaugesbietes Jochberg bei Kitzbühel, Tirol. ArchA Bei. 3, 1-19.
 Plinius 1985 - Plinius: Plinius der ältere über Kupfer und Kupferlegierungen. Düsseldorf.
 Plinius é.n. - Plinius: Naturkunde. Metallurgie. Buch XXXIV. (Ford: Roderich König) München-Zürich.
 Pollard-Heron - M. Pollard-C. Heron: Archaeological Chemistry. Cambridge.
 Primas-Ruoff 1981 - M. Primas-U. Ruoff: Die urnenfelderzeitliche Inselsiedlung "Grosser Hafner" im Zürichsee (Schweiz). Germania 59, 31-50.
 Primas 1985 - M. Primas: Bronzezeitlicher Schmuck aus Zinn. Helvetia Archaeologica 57/60, 33-42.
 Primas 1986 - M. Primas: Die Sichel in Mitteleuropa I. PBF XVIII/2.
 Primas 1987 - M. Primas: Siedlungsstrukturen und Handwerk der Spätbronzezeit (Urnenfelderzeit) (In.: Eschenz, Insel Werd. Hansjörg Brem, Sabine Bolliger, Margarita Primas) Zürich. 113-168.
 Raistrick 1975 - A. Raistrick: The Smelting Mills. Buxton.
 Raistrick 1983 - A. Raistrick: Mines & Miners in Malham Moor. Hn.
 Raistrick 1995 - A. Raistrick: Early Grassington. Hn.
 Rajtár 1992 - S.S. Rajtár: Spätbronze- und früheisenzeitliche Fundgruppen des mittleren Donauebietes. BRGK 73 (1992) 29-179.
 Randsborg 1968 - K. Randsborg: Inventaria Achaeologica. Copenhagen.
 Randsborg 1972 - K. Randsborg: From period III to IV. Copenhagen.
 Rómer 1866 - Rómer F.: Műrégészeti Kalauz I. Óskori művészet. Pest.
 Rómer 1868 - Rómer F.: A liptó sz.-Ivánban... AÉ 1, 148-149.
 Rómer 1869 - Rómer F.: A czakói bronz-edény. AÉ 2, 290-292.
 Rómer 1870 - Rómer F.: A czakói bronzedény ügyéhez. AÉ 3, 114-115.
 Rómer 1878 - Rómer F.: Résultats généraux du mouvement archéologique en Hongrie avant la VII. session du congrés international d'anthropologie et d'archéologie préhistoriques á Budapest 1876. Compte-Rendu Bp., II. 1-187.
 Ronne 1991 - P. Ronne: Forsogsarkaeologi og bronzealderens ornamentik. In.: Eksperimentel Arkaeologi. Lejre. 29-49.
 Rosenberg 1918 - M. Rosenberg: Geschichte der Goldschmiedekunst. Frankfurt a. M.
 Rothenberg 1990 - B. Rothenberg (ed): The Ancient Metallurgy of Copper. London.
 Rusu 1981 - M. Rusu: Bemerkungen zu den grossen Werkstätten- und Giessereifunden aus Siebenbürgen. In: Studien zur Bronzezeit. Festschrift für Wilhelm Albert von Brunn. (Szerk.: Lorenz, Herbert) Mainz. 375-402.

- Sandars 1978 - N.K. Sandars: The Sea Peoples. London.
- Schaaffhausen 1876 - Schaaffhausen, H.: Der internationale prähistorische Congress in Budapest am 4. bis 11. Septemer 1876. AfA 1876, 277-294.
- Schedel 1964 - Schedel A.: A kohászat és a fémművesség ősi szókincse. Öntöde 7.sz. 158-161.
- Schuber 1963 - E. Schuber-F. Schuber: Spektralanalytische Untersuchungen von Hortfunde von Ópályi und Nyírbéltelek. AAH 19, 82-83.
- Schuber 1967 - E. Schuber-F. Schuber: Spektralanalytische Untersuchungen von Hort- und Einzelfunden der Periode B III. In: Mozsolics A.: Bronzefunde des Karpatenbeckens. Bp. 185-203.
- Scott 1991 - D. A. Scott: Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals.
- Scott-Cleere 1984 - B.G. Scott-H. Cleere (ed): The chrafts of the blacksmith. Belfast.
- Sennovitz 1902 - Sennovitz Gy.: Geszti leletekről. AÉ 22, 281-283.
- Smith 1960 - C.S. Smith: A history of metallography. Chicago.
- Smith 1963 - C.S. Smith (ed): The Sorby centennial symposium on the history of metallurgy. New York-London-Paris.
- Somogyi 1871 - Somogyi R.: 27 font bronz régiség... AÉ 5, 18.
- Sprockhoff 1926 - E. Sprockhoff: Helm. ERV V. 290-297.
- Sprockhoff 1928 - E. Sprockhoff: Schwert. ERV XI. 412-439.
- Sprockhoff 1930 - E. Sprockhoff: Zur Handelsgeschichte der germanischen Bronzezeit. Berlin.
- Sprockhoff 1931 - E. Sprockhoff: Die germanischen Griffzungenschwerter. Berlin-Leipzig.
- Sprockhoff 1934 - E. Sprockhoff: Die germanischen Vollgriffschwerter der jüngeren Bronzezeit. Berlin.
- Sprockhoff 1949-50 - E. Sprockhoff: Das Lausitzer Tüllenbeil. PZ 76-132.
- Sprockhoff 1956 - E. Sprockhoff: Jungbronzezeitliche Hortfunde der Südzone der nordischen Kreises. /Periode V./ 1-2. Mainz.
- Szabó 1990 - Szabó G.: Északi bronztárgyak - vagy technológia a Kárpát-medencében. Tudományos felolvasó ülés, Wosinsky Mór Múzeum.
- Szabó 1992 - Szabó G.: A Dunaföldvár-Kálvária tell-település kora bronzkori rétegsora. SzekMÉ 17, 31-182.
- Szabó 1993 - Szabó G.: Fémmegmunkálási nyomok a Regöly-Veravár késő bronzkori leletegyüttes tárgyain. SzekMÉ 18, 169-224.
- Szabó 1993a - Szabó G.: Új adat a Kárpát-medencei és az északi bronzkor kapcsolatához (Ein neuer Beitrag die Beziehungen des Karpatenbeckens zur nordischen Bronzezeit). Tisicum 105-114.
- Szabó 1993d - Szabó G.: Északi bronztárgyak - vagy északi technológia a Kárpát-medencében? - Nördliche Bronzegegenstände - oder nördliche Technologie im Karpatenbecken? AÉ 121 – 122, 79-87. (1995)
- Szabó 1993e - Szabó G.: Régészeti kísérletek Regölyben. Duanatáj 16/1, 70-75.
- Szabó 1994 - Szabó G.: A kárpát-medencei késő bronzkori sisakok készítésének problémái egy újabb lelet alapján. Probleme der Herstellung Spätbronzezeitlichen Helme im Karpatenbecken. (In: A kőkortól a középkorig. Szerk.: Lőrinczy Gábor) Szeged. 219-227.
- Szabó 1994a - Szabó G.: Modern technika - régi tárgyak. In: Tolnai Megyei Kalendárium. Szekszárd. 50.
- Szabó 1995a - Szabó G.: Bronzkarikák - őskori pénzek? In: Tolna Megyei Kalendárium. Szekszárd. 36-37.
- Szabó 1995b - Szabó G.: Gróf Apponyi Sándor és Wosinsky Mór szekszárdi múzeumalapítása. (In: Magyarország és Európa az Apponyi-gyűjtemény tükrében. Szerk.: W. Salgó Ágnes) Budapest. 81-90.

- Szabó 1995c - Szabó G.: Adatok a késő bronzkori pénzforgalom kérdéséhez. (In.: Tanulmányok és Közlemények. Szerk.: Ujváry Zoltán) Debrecen-Szolnok. 49-56.
- Szabó 1995d - Szabó G.: Kísérleti régészeti tábor Regölyben. Honismeret 23/3. 72-74.
- Szabó 1996 - Szabó G.: The manufacture and usage of Late Bronze Age rings: two new ring hoards. In: Studien zur Metallindustrie im Karpatenbecken und den benachbarten Regionen. Festschrift für Amália Mozsolics zum 85. Geburtstag (Ed.: T. Kovács) Budapest. 207-230.
- Szabó 1996b - Szabó G.: A szolnoki kincslelet sarlóíróról. Múzeumi Levelek. 75/1. 45-51.
- Szabó-Kőhegyi 1996 - Szabó G.-Kőhegyi M.: Wosinsky Mór szakfelügyelői tevékenysége és a századforduló vidéki múzeumai. SzekMÉ 19, 9-47.
- Szabó-Oszvald 1996 - Szabó G.-Oszvald F.: Késő bronzkori karikaleletek Kisdorogról és Szakályból. Wosinsky Mór Múzeum Évkönyve XIX. Szekszárd, 1996. 89-113.
- Szabó 1996c - Szabó G.: Az urnamezős kultúra fémművessége a régészeti kísérletek tükrében PÁPAI MÚZEUMI ÉRTESÍTŐ 6, 265-276. (1996)
- Szabó 1996c - Szabó G.: Evaluation of Late Bronze Age Carpathian tinbronzes based on the alloying content. In: Költő L, Bartosiewicz L (szerk.) Archaeometrical Research in Hungary II Budapest: Hungarian National Museum, 1998. pp. 159-173.
- Szabó 1998 - Szabó G.: Adatok a velemi késő bronzkori ónbronozok archaeometallurgiai vizsgálatához. Beiträge zu den archäometallurgischen Untersuchungen der spätbronzezeitlichen Zinnbronzen von Velem. SAVARIA 329-357. (1998)
- Szabó 1996c - Szabó G.: Die diffuse Beziehung unter den Regionen Europas im 18-19. Jh.: Hafneröfen von deutschen Typ aus Südtransdanubien. Európai régiók közötti diffúziós kapcsolat a 18-19. században: német típusú fazekaskemence a Déldunántúlról.
- Szabó 1999 - Szabó G.: Késő római pénzek archaeometallurgiai vizsgálata. NUMIZMATIKAI KÖZLÖNY 98-99, 57-72. (1999)
- Szabó 2003 - Szabó G.: Újabb eredmények és módszerek a Kárpát-medence késő bronzkori tárgyainak archaeometallurgiai vizsgálataiban = New Results and Methods in the Archaeometallurgical Investigation of the LBA Objects in the Carpathian Basin. Dani János, Hajdú Zsigmond, Nagy Emese Gyöngyvér, Selmeczi László (szerk.) ΜΩΜΟΣ I, Debrecen. 225-250.
- Szabó 2003b - Szabó G.: A Csepel MAHART-kikötő késő bronzkori leletgyűjtemény 95.4.1D. számú karikájának archaeometallurgiai vizsgálata. COMMUNICATIONES ARCHAEOLOGICAE HUNGARIAE 2003, 77-81.. (2003)
- Szabó 2009 - Szabó G.: Archaeometallurgiai adatok a technológiai ismeretek és a nyersanyagok áramlásához a Kárpát-medence késő bronzkorában. In: Ilon Gábor (szerk.) ΜΩΜΟΣ VI.: őskoros kutatók VI. összejövetelének konferenciakötete : nyersanyagok és kereskedelem. Szombathely 2009, 353-368.
- Szabó 2009 - Szabó G.: Az archaeometallurgiai kutatások gyakorlati és etikai kérdései. Practical and ethical issues of archaeometallurgic research. ARCHEOMETRIAI MŰHELY 6/2, 111-122. (2010)
- Szabó 2012 - Szabó G.: A Kárpát-medencei archaeometallurgiai kutatások eredményei, aktuális kérdései a 21. század elején, különös tekintettel a bronz- és vasgyártás társadalmi háttérének változásaira. Recent advances and new questions of archaeometallurgical research in the Carpathian Basin at the beginning of the 21st century, with special emphasis on the change in the social background of bronze and iron artefacts. ARCHEOMETRIAI MŰHELY IX/2, 75-96. (2012)
- Szabó 1942 - Szabó Gy.: A korondi bronzlelet. Közl. az Erdélyi N. M. Érem- és Régiségtárából. 78-80.
- Szántai 1878 - Szántai A.: Az őskori bronzgyártás hazánk területén. Nagyvárád.

Szegedy 1954 - Szegedy E.: Laboratornűj analiz bronzovűh vtulok kolesz galstatsszkovo vremeni. Spektralanalytische Untersuchung spätbronzezeitlicher Radnabenverkleidungen. AAA 7, 15-16.

Szegedy 1957 - Szegedy E.: Die Metalltechnologie der Depotfunde von Alsónémedi und Pusztaszentkirály. AAA 8, 157-163.

Szegedy 1963 - Szegedy E.: A bronzkor sarlója. Kohászati Lapok 1-8.

Téglás 1888 - Téglás G.: Öntőminta a csáklyai telepről. AÉ 8, 93-94.

Theophilus 1986 - P. Theophilus: A különféle művességekről. Budapest.

Thomsen 1837 - C.J. Thomsen: Leitfaden zur nordischen Alterthumskunde. Kopenhága.

Tompa 1923-26 - Tompa F.: Velemszentvid bronzöntő ipara. - Das Bronzegussgewerbe von Velemszentvid. MRTÉ 41-53, 366.

Tompa 1934-35 - Tompa F.: 25 Jahre Urgeschichtsforschung in Ungarn. BRGK 24/25, 27-127.

Tompa 1943 - Tompa F.: Báró Miske Kálmán. DuSz 257-261.

Török 1940 - Török Gy.: A Lengyeltőtiban előkerült bronzlelet. Dolgozatok 16. 57-65.

Tylecote 1962 - R.F. Tylecote: Metallurgy in archaeology. London.

Tylecote-Merkel 1985 - R.F. Tylecote-J.F. Merkel: Experimental smelting techniques: achievements and future. In.: Furnaces and smelting technology in antiquity. (Ed.: Craddock, P. T. - Hughes, M. J.) British Museum Occasional Paper No.48, London) 151-158. 3-20.

Tylecote 1986 - R.F. Tylecote: The Prehistory of Metallurgy in the British Isles. Institute of Metals.

Tylecote 1987 - R.F. Tylecote: The early history of metallurgy in Europe. London-New York.

Tylecote 1991 - R.F. Tylecote: A History of Metallurgy. Institute of Metals.

Varga 1992 - Varga I.: Késő bronzkori üveggyöngy Bakonyjákóról. Acta Musei Papensis 3-4, 97-99.

Varga-Molnár-Nagyné-Ilon 1989 - Varga I.-Molnár Zs.-Nagyné Czakó I.-Ilon G.: Németszánya későbronzkori kerámiái a természettudományos vizsgálatok tükrében. Acta Musei Papensis 2, 39-48.

Vastagh-Kiszely 1962 - Vastagh G.-Kiszely Gy.: Magyarország kohászati emlékei. Kohászati lapok, 1962/5, 231-237.

Verő-Káldor 1977 - Verő J.-Káldor M.: Fémtan. Budapest.

Vidovic 1988-89 - J. Vidovic: Bronzanoi doba Medimurja. Arheoloski vestnik 39-40, 453-474.

Vrdoljak 1992 - S. Vrdoljak: Nalazki kalupa s lokalitete Kalnik-Igrisce kao primjer metalurske djelatnosti kasnog bronzanog doba u Sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Opusc. arhaeol. 16, 75-76.

Werner 1991 - A. Werner: Versuche zu prähistorischen Bronzegusstechniken. (In: Experimental Arcäologie in Deutschland. Red. M.Fansa) Oldenburg, 299-316.

Williams 1995 - C.J. Williams: Great Orme Mines. (British Mining 52.) Northern Mine Research Society.

Wosinsky 1886 - Wosinsky M.: Etruskische Bronze-Gefässe in Kurd. Budapest.

Wosinsky 1888 - Wosinsky M.: Karczolatok dán- és svédországi utamból. Szegzárd.

Wosinsky 1888 - Wosinsky M.: Keleti utam emlékei. Szegzárd.

Wosinsky 1888-91 - Wosinsky M.: Das prähistorische Schanzwerk von Lengyel, seine Erbauer und Bewohner. I-III. Budapest.

Wosinsky 1889 - Wosinsky M.: Funde und Bestattungsweise in Lengyel. Mitt. der Anthrop. Gesellschaft in Wien 19/1889. 153-156.

Wosinsky 1890 - Wosinsky M.: A bonyhádvidéki bronzlelet. AÉ 10, 29-42.

Wosinsky 1896 - Wosinsky M.: Tolnavármegye története I-II. Budapest.

Wosinsky 1896a - Wosinsky Mór: A Casinóban tartott előadás jegyzőkönyve. Tolnamegyei Közlöny 1896. július 10.

Wosinsky 1904 - Wosinsky M.: Az őskor mészbetétes díszítésű agyagművessége. Budapest.

Wosinsky 1904a - Wosinsky Mór: Die incrustierte Keramik der Stein- und Bronzezeit. Berlin.

Wurmbrand 1877 - Wurmbrand, G.: Bericht über den VIII. Congress für Anthropologie und vorgeschichtliche Archäologie in Pest. MAG 1877. 15-35.

Wyss 1967 - R. Wyss: Bronzezeitliches Metallhandwerk. Bern.

Wyss 1967a - R. Wyss: Bronzezeitliches Gusstechnik. Bern.

Zoltai 1927 - Zoltai L.: A debreceni látóképi bronzkincs. Debrecen. 33-37.

Zwicker-Greiner-Hoffmann-Reithinger 1985 - U. Zwicker, H. Greiner, K.H. Hoffmann-M. Reithinger: Smelting, refining and alloying of copper and copper alloys in crucible furnaces during prehistoric up to Roman times. In.: Furnaces and smelting technology in antiquity. (Ed.: P.T. Craddock-M.J. Hughes) British Museum Occasional Paper No.48, London) 103-116.

Zsák 1958 - Zsák V.: A fémöntés története a legrégebb kortól a vasöntés bevezetéséig. Öntőde 12-21.

Zsák 1960 - Zsák V.: A formaöntés lényege és története. Budapest.

Zshocke-Preuschen 1932 - K. Zshocke- E. Preuschen: Das urzeitliche Bergbaugebiet von Mühlbach-Bischofshofen. Mat.Öst.Urgesch. 6.

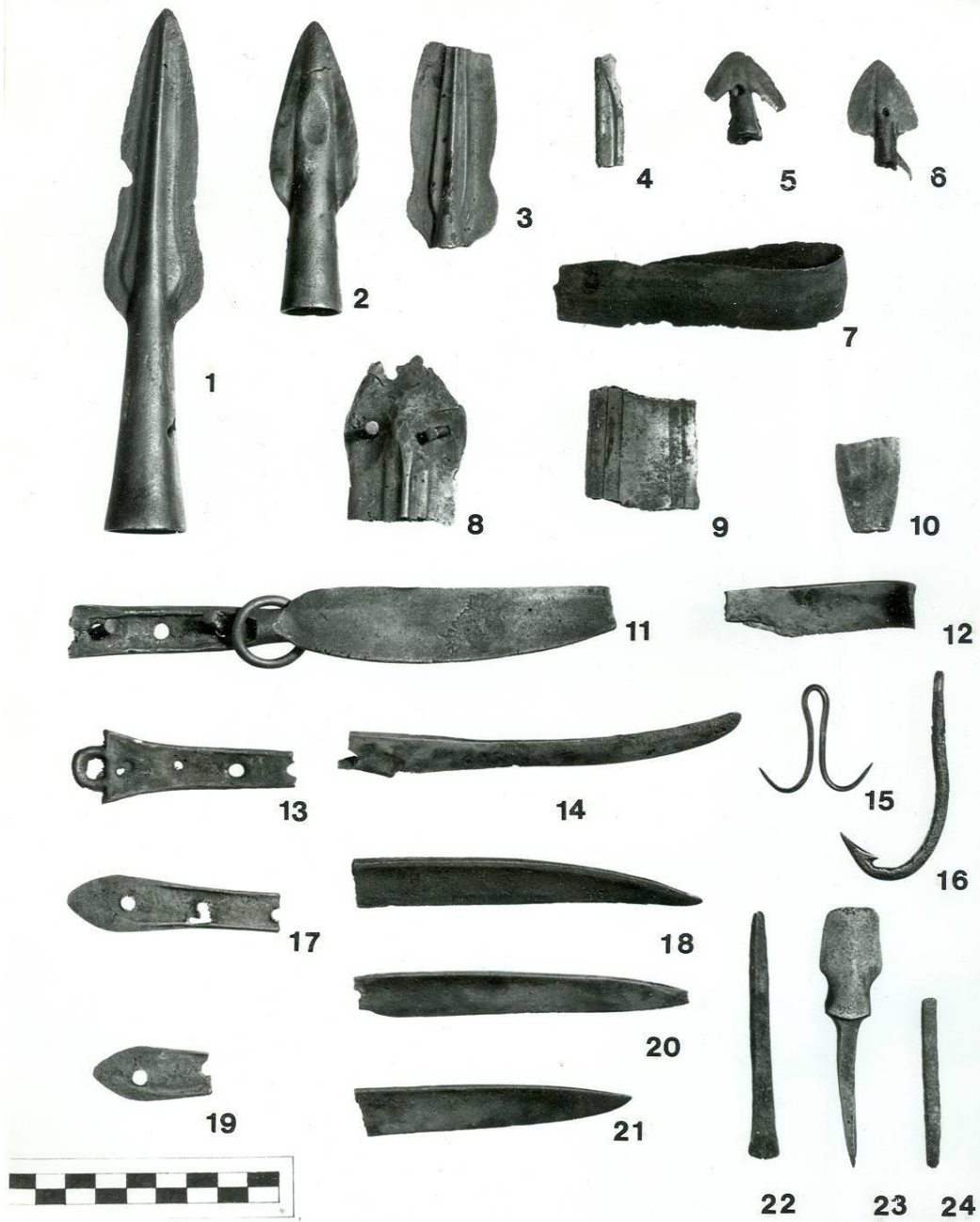
6.3. K É P J E G Y Z É K

Regöly-Veravár leletegyüttes tárgyai	1-18. kép
Kalapácsok Magyarországi lelőhelyekről	19-21. kép
Archaeometallurgiai felvételek	22-62. kép
Cu-Sn ötvözet olvadásgörbéje	63-64. kép
Mikrospektrumanalizisek diagramjai	65-85. kép
Keménységmérések felvételei	86-89. kép
Őskori rézbánya (Great Orme)	90. kép
Régészeti kísérletek felvételei	91-101. kép
Grafikonok, táblázatok	102-126. kép
Öntőműhely leletei Bölcске Sziget lelőhelyről	127-130. kép
Északi eredetű övkorong Dunaföldvállról	131. kép
A tamási edénylelet öntött és kalapált csészéje	132. kép
Bronzsisak Dunaföldvállról	133-134. kép

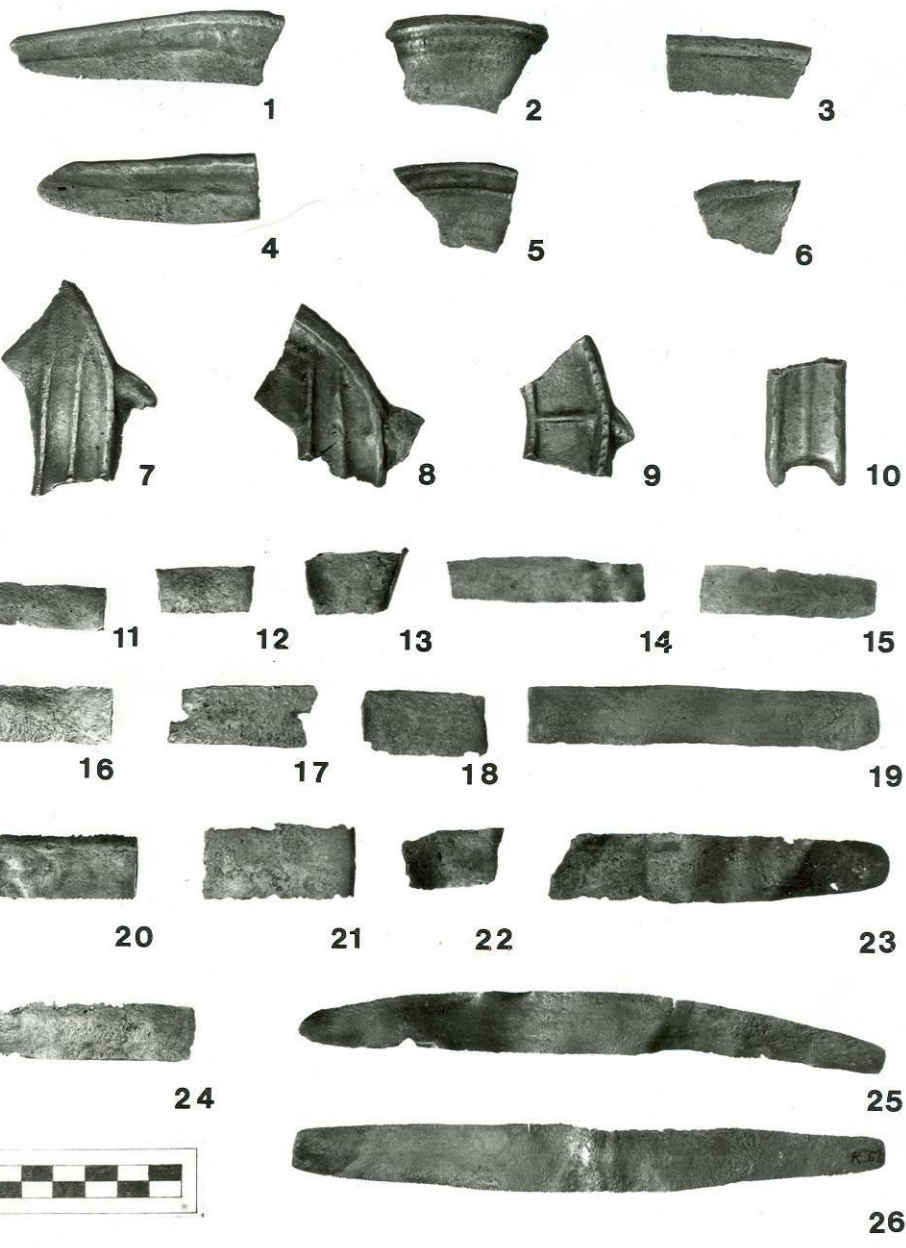
Dr. Szabó Géza Ph.D kaladea@freemail.hu

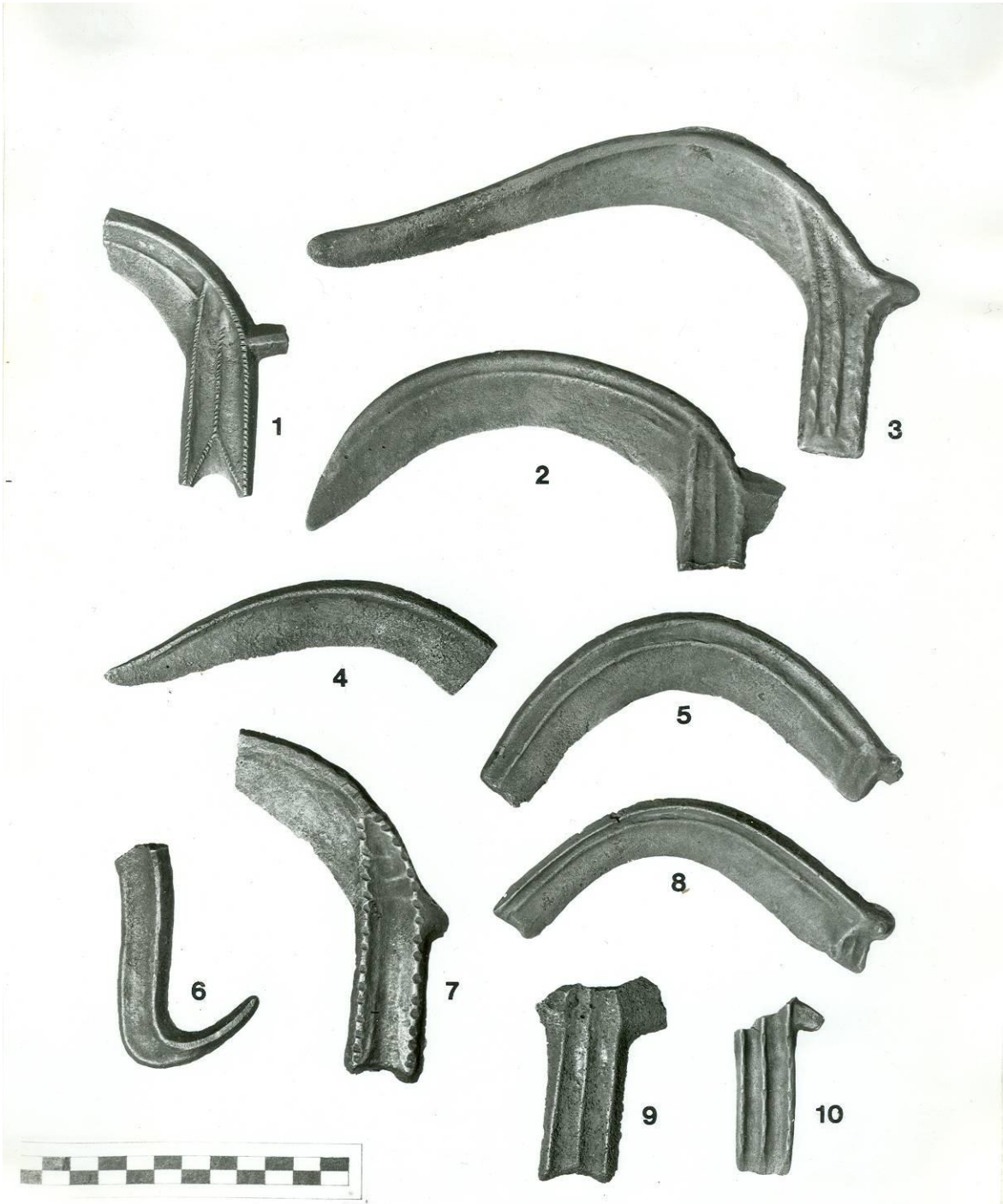


6.4. KÉPEK, TÁBLÁZATOK, ÁBRÁK

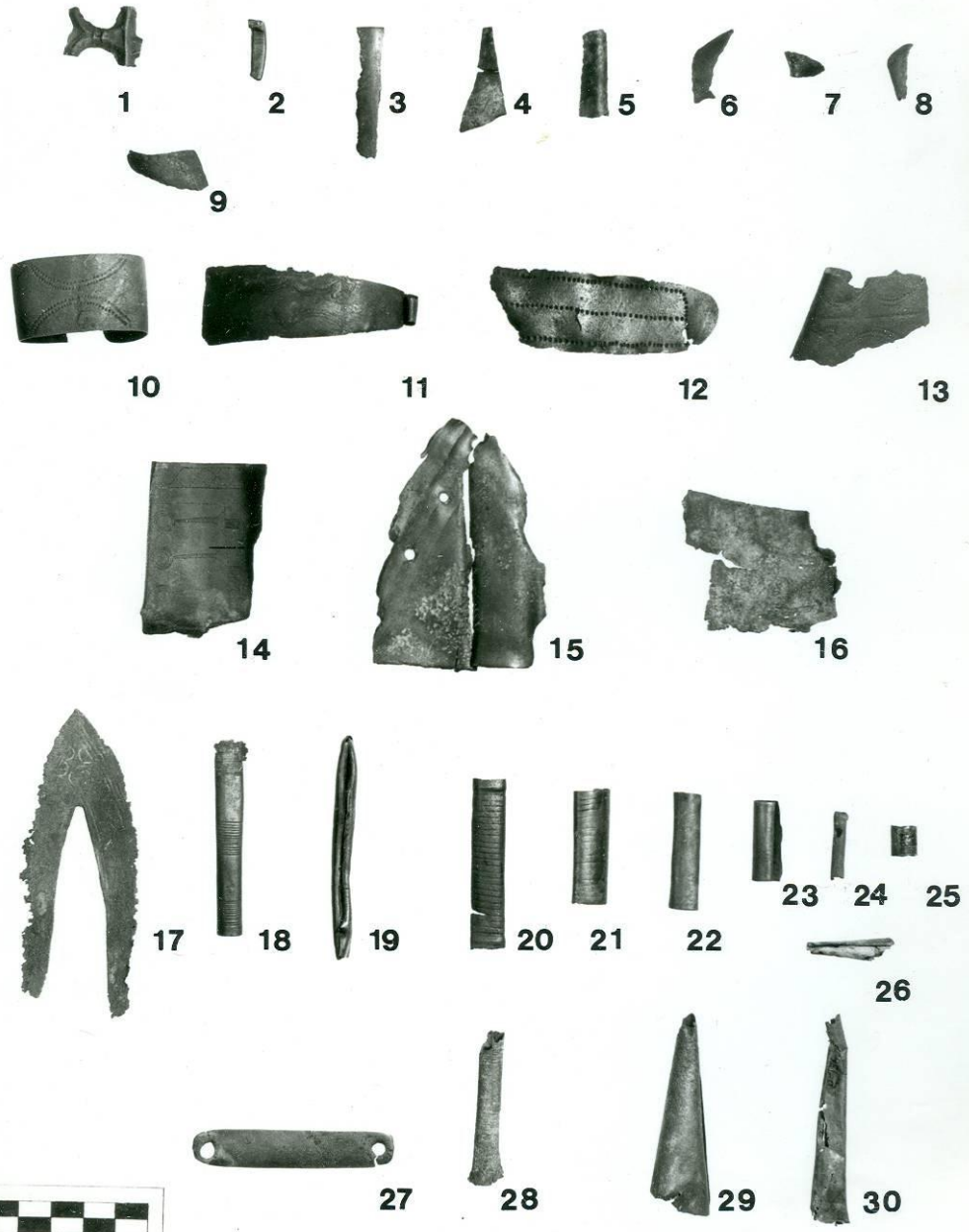


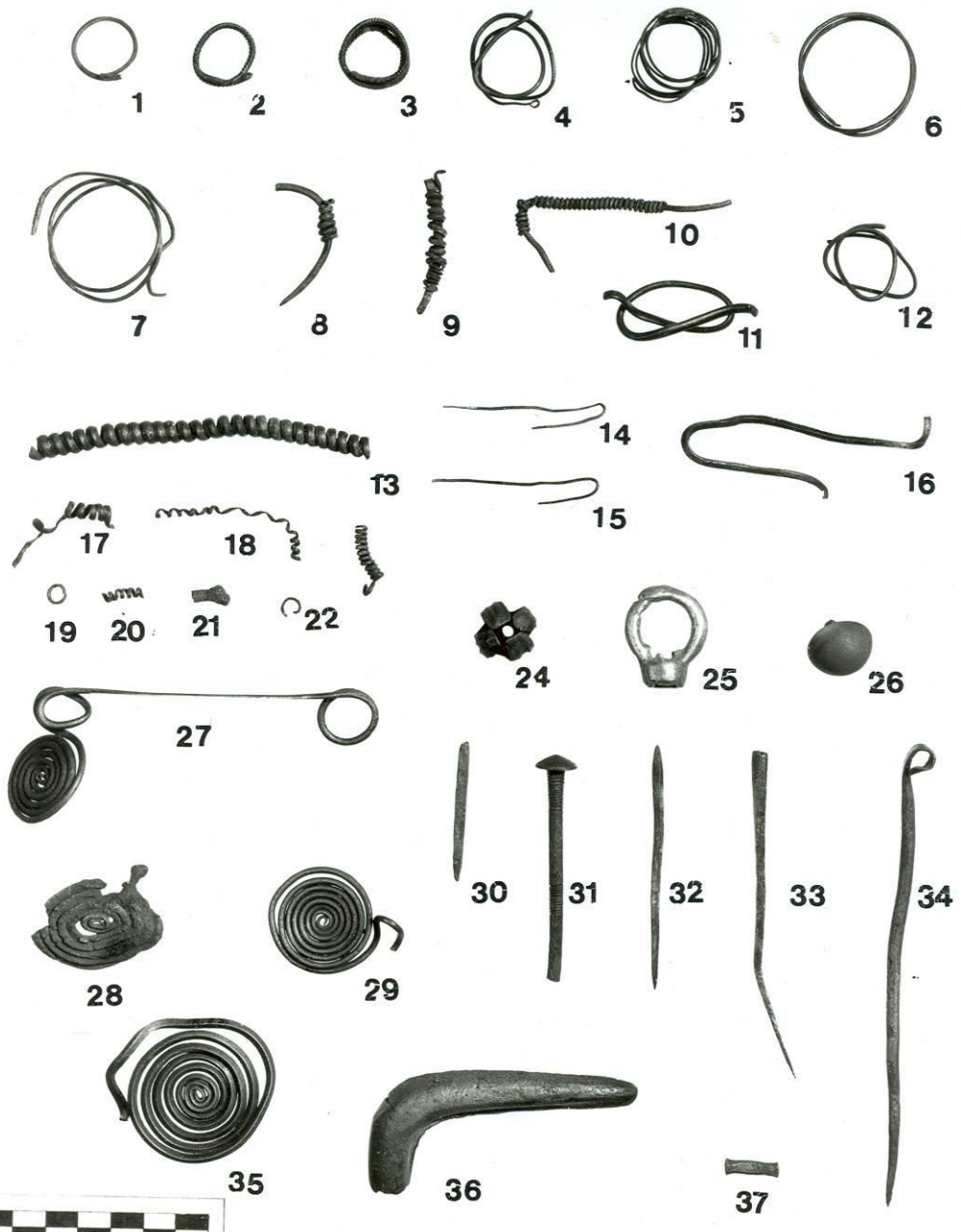
1

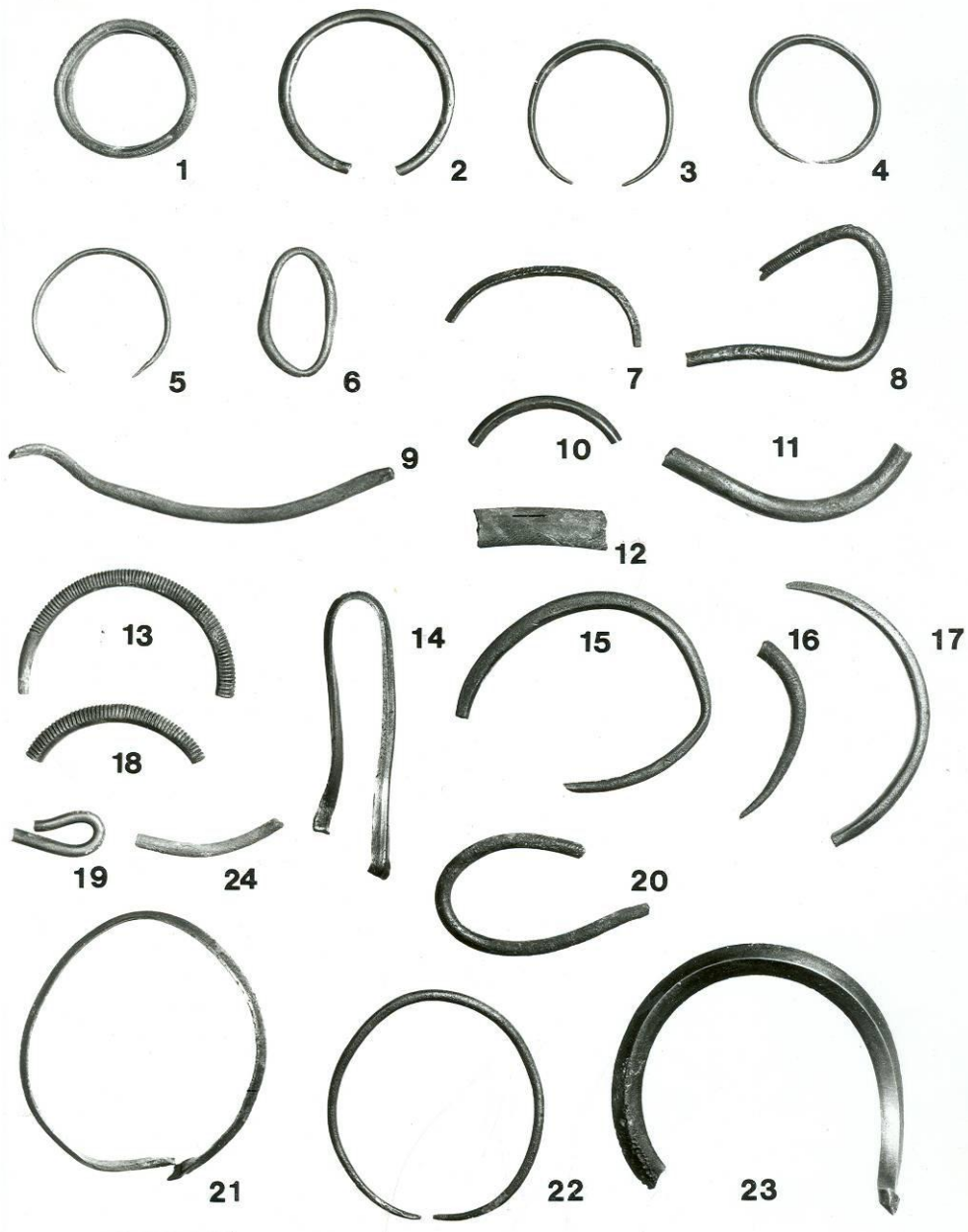




3









1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14



15



16



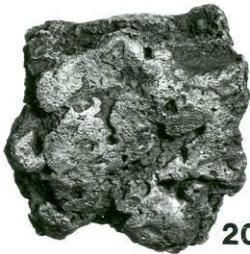
17



18



19



20



21



7



1



2



3



4

8



1



2



3



4



1



2



3

10



1



2



3



4



5

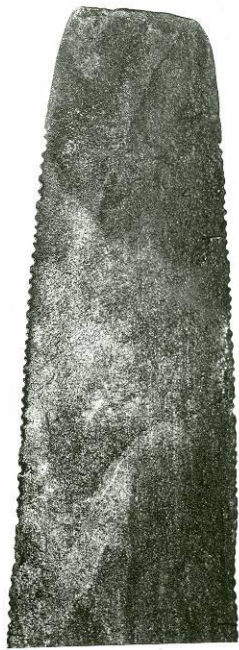


6



7

11



1



2



3

12



1

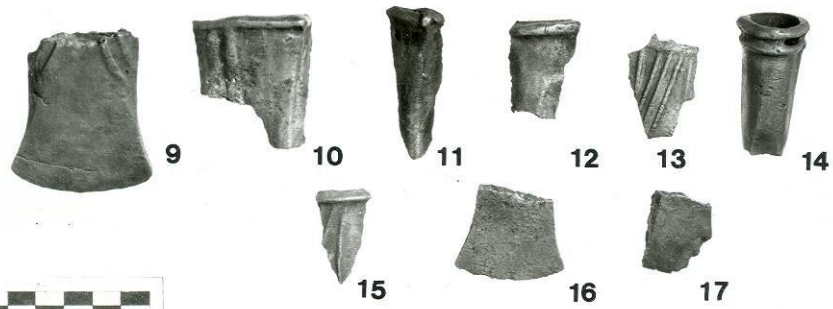


2

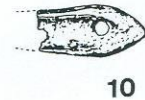
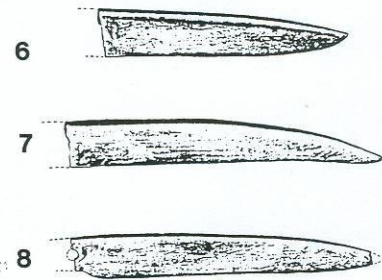
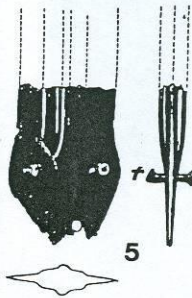
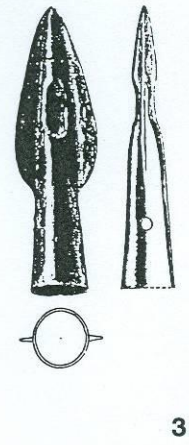
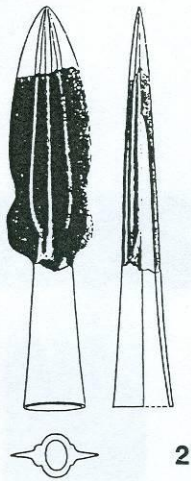
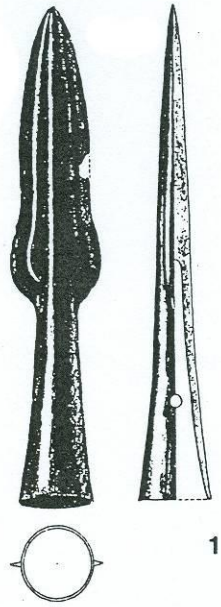


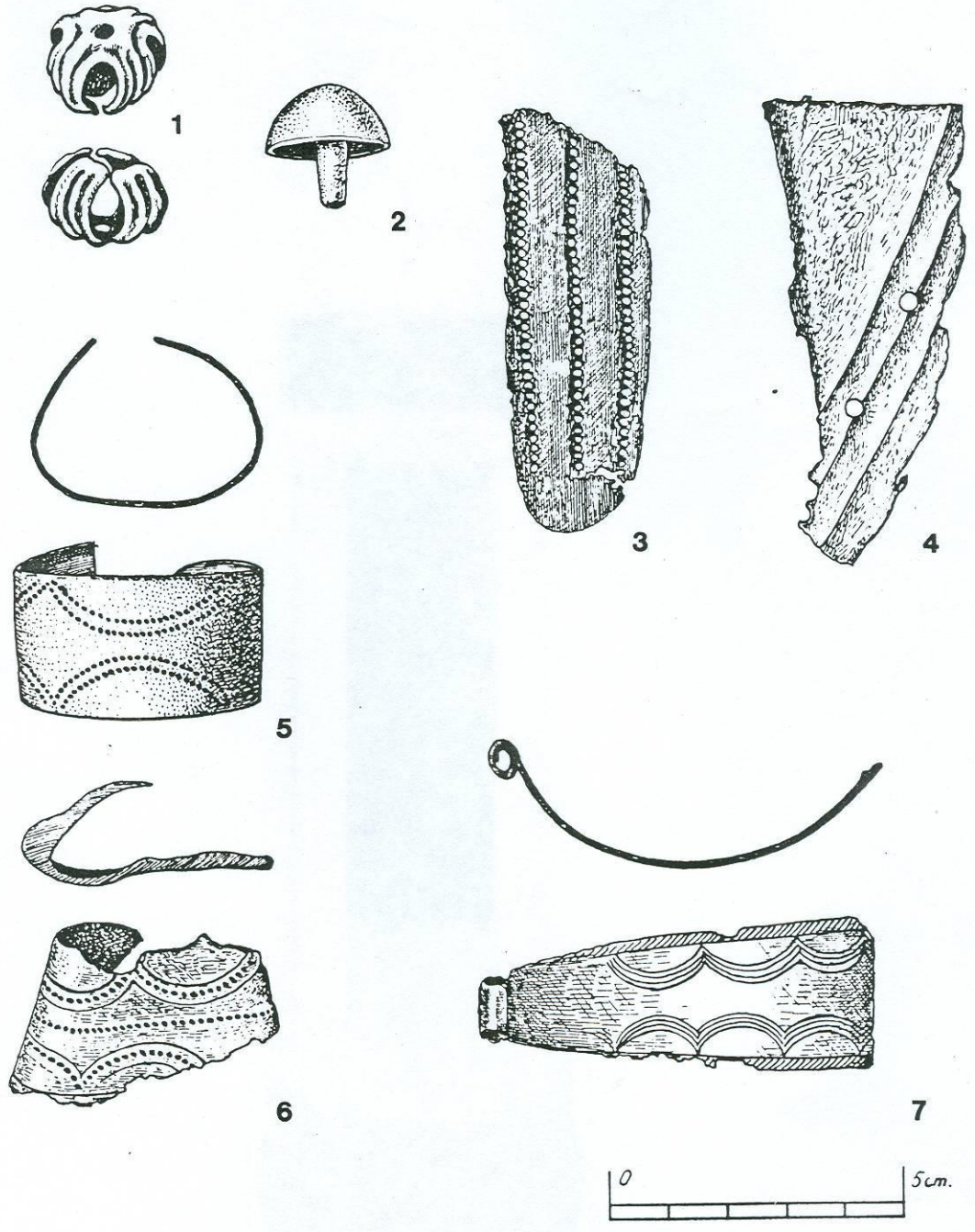
3

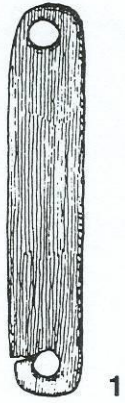
13



14



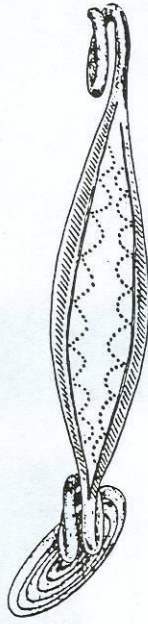




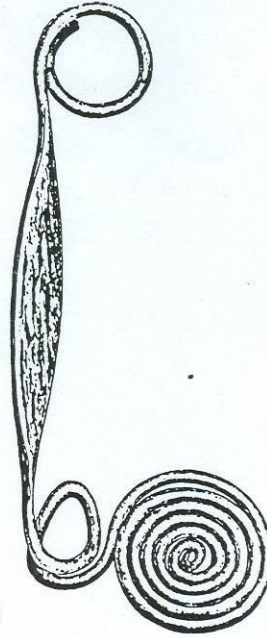
1



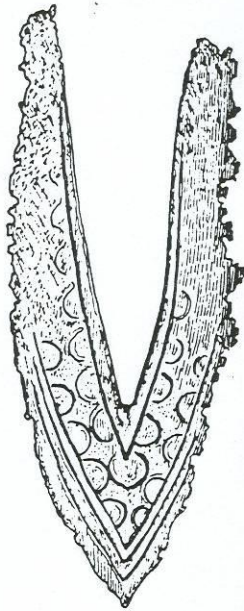
2



3



4



5



6



7



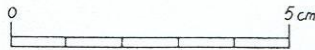
8

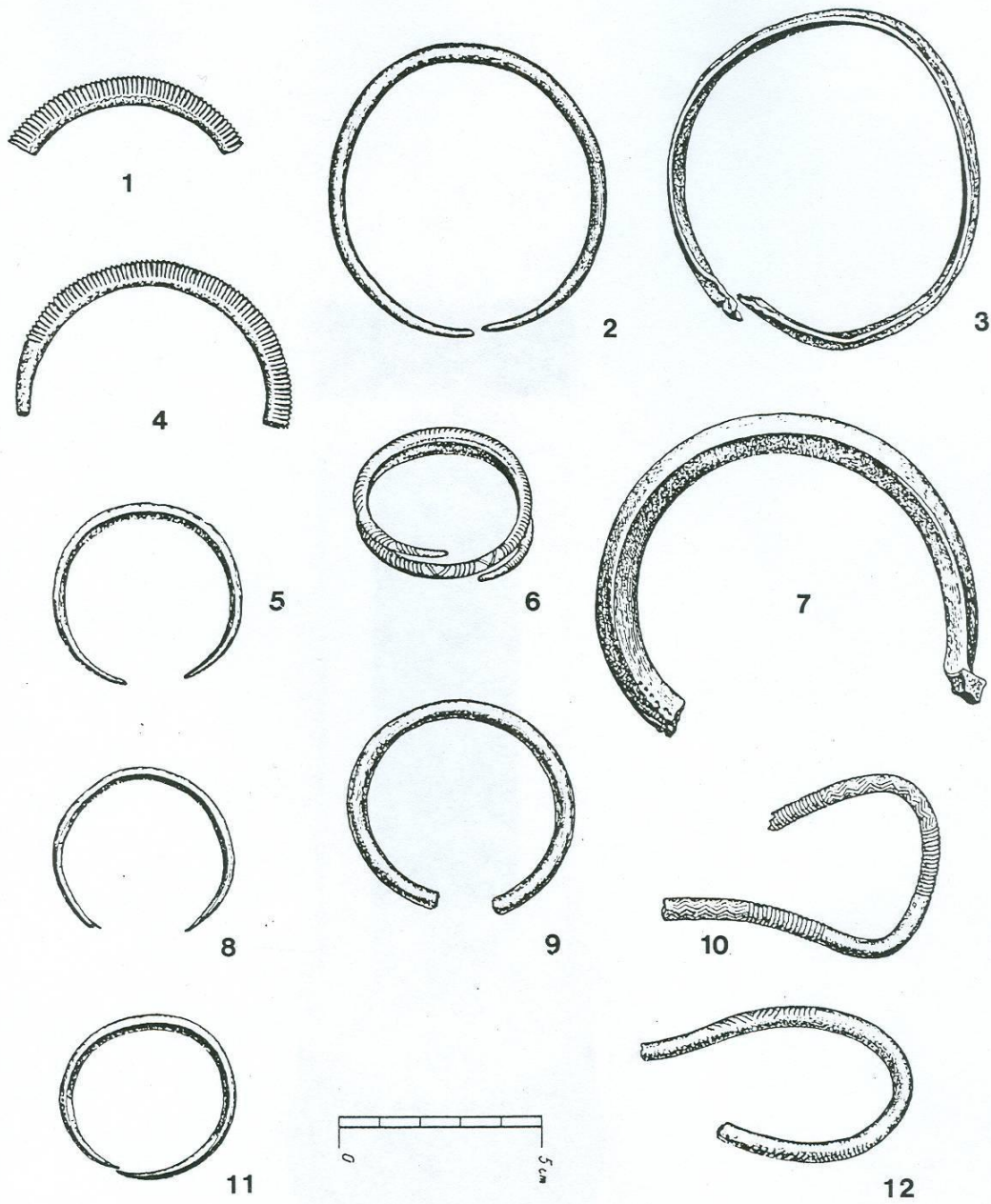


9



10







1



2



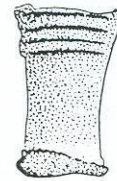
3



4



5



6



7



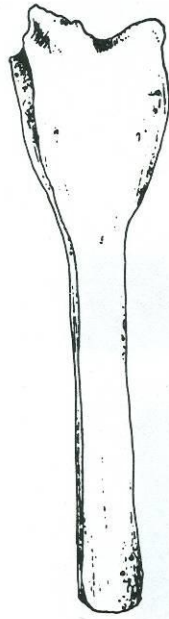
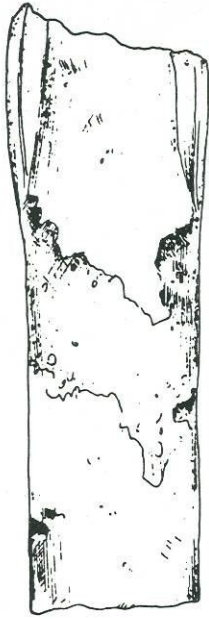
8



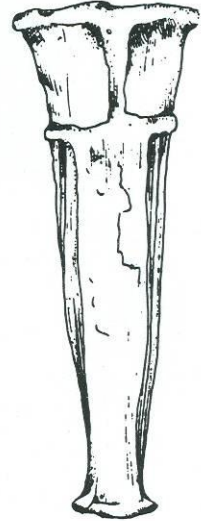
9



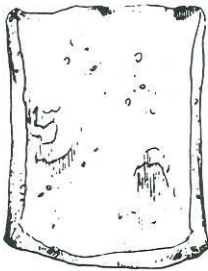
10



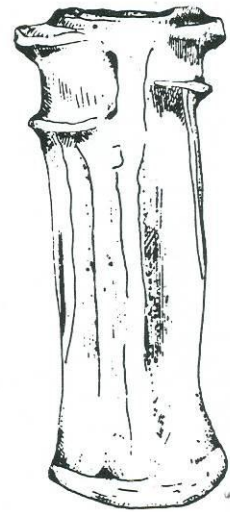
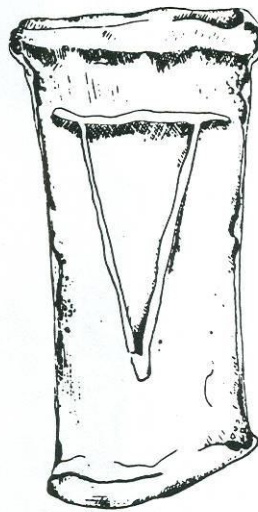
1



2

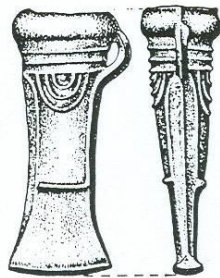


3



4

20



1



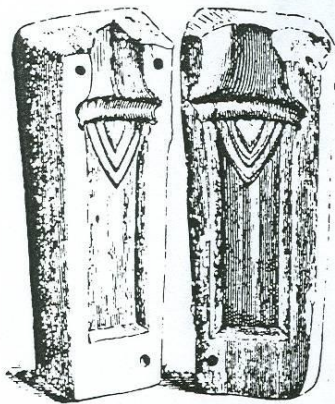
2



3



4

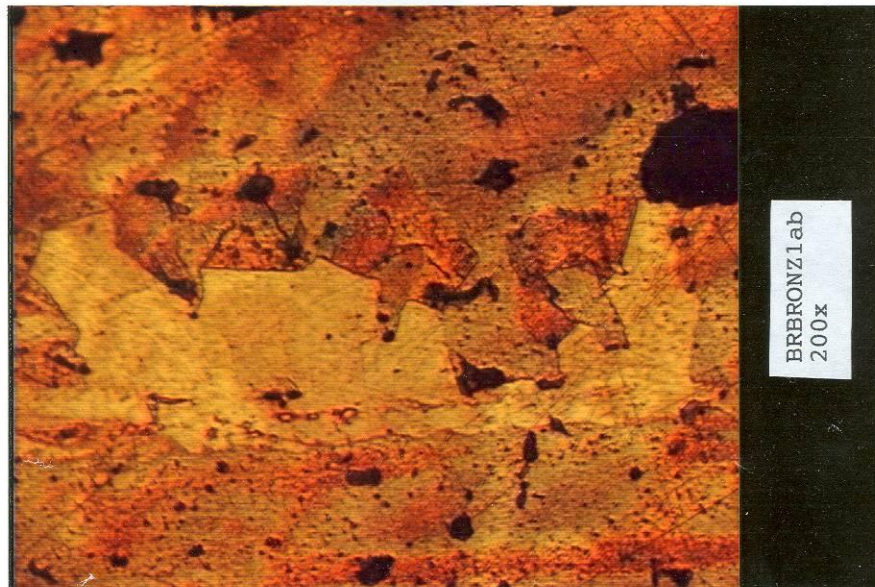
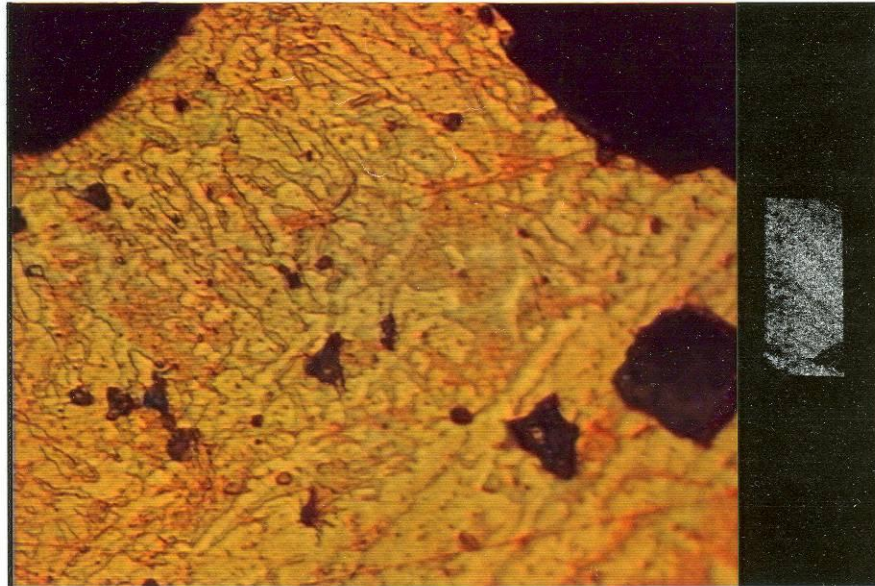


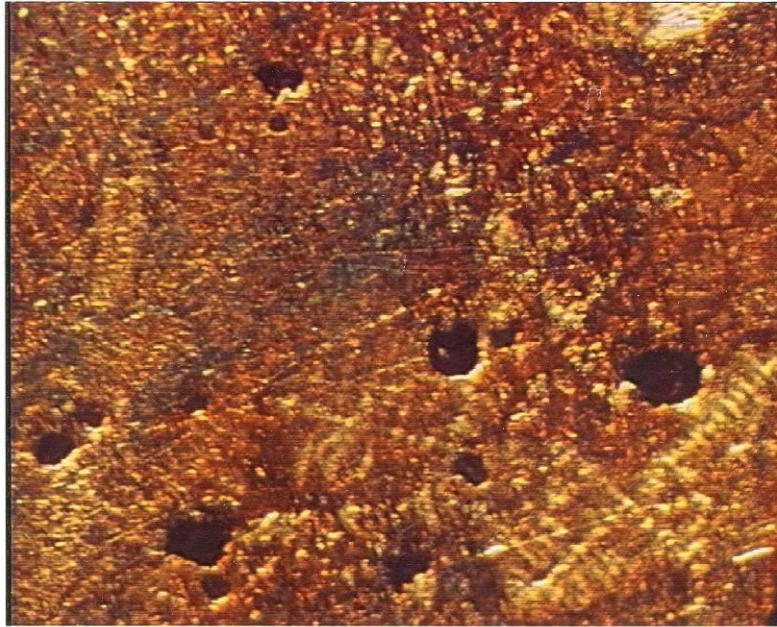
5



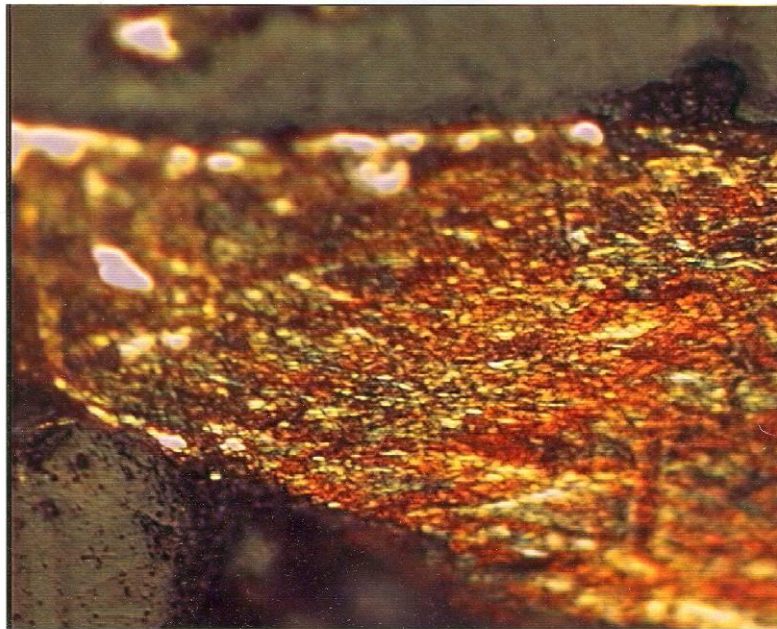
6

21

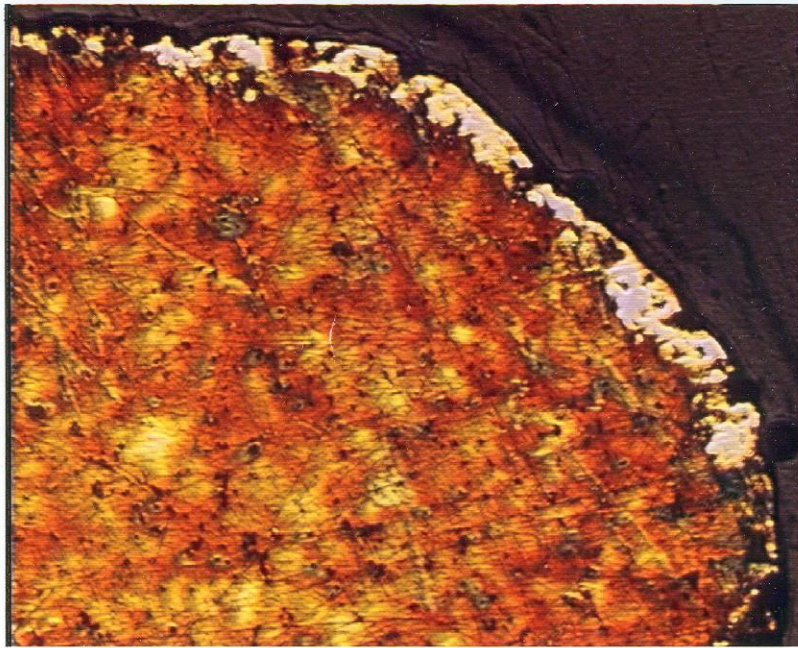




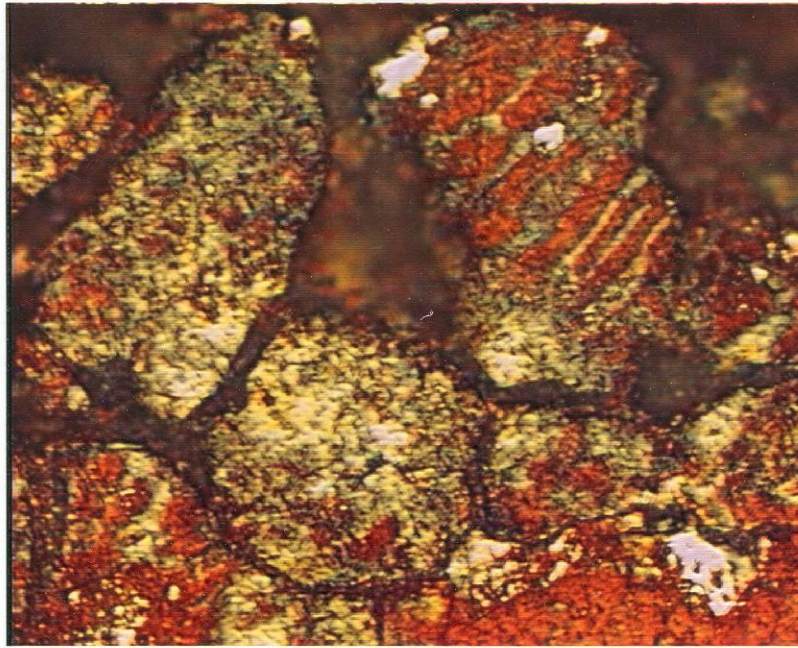
BRBRONZ1ba
50x



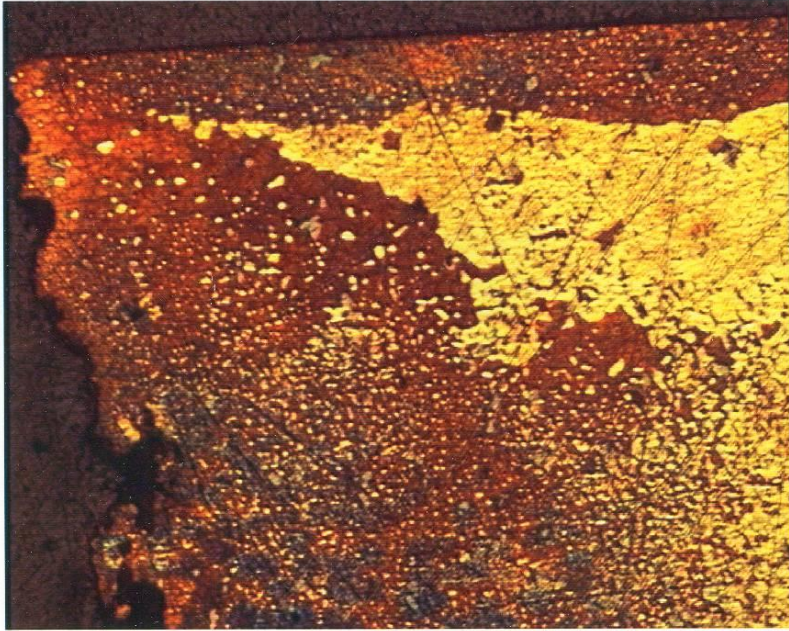
BRBRONZ1bb
50x



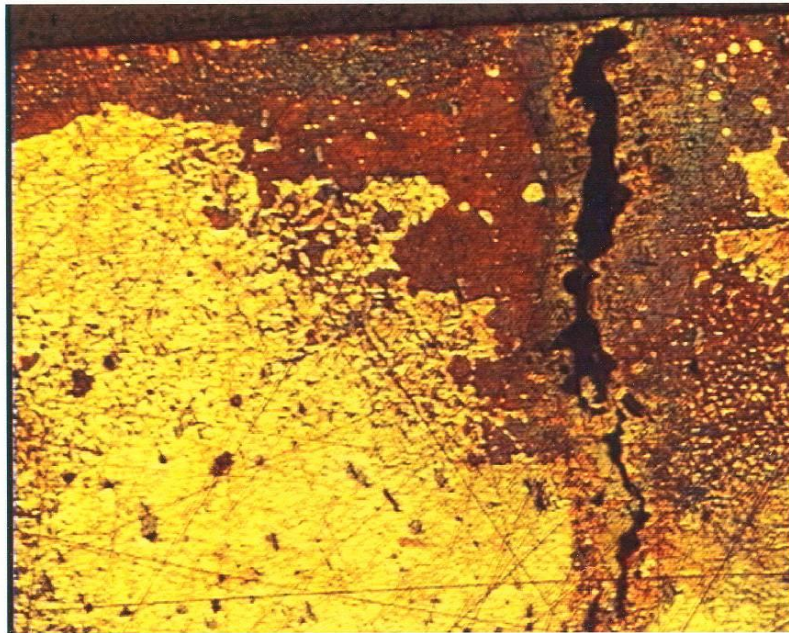
BRBRONZ2aa
50x



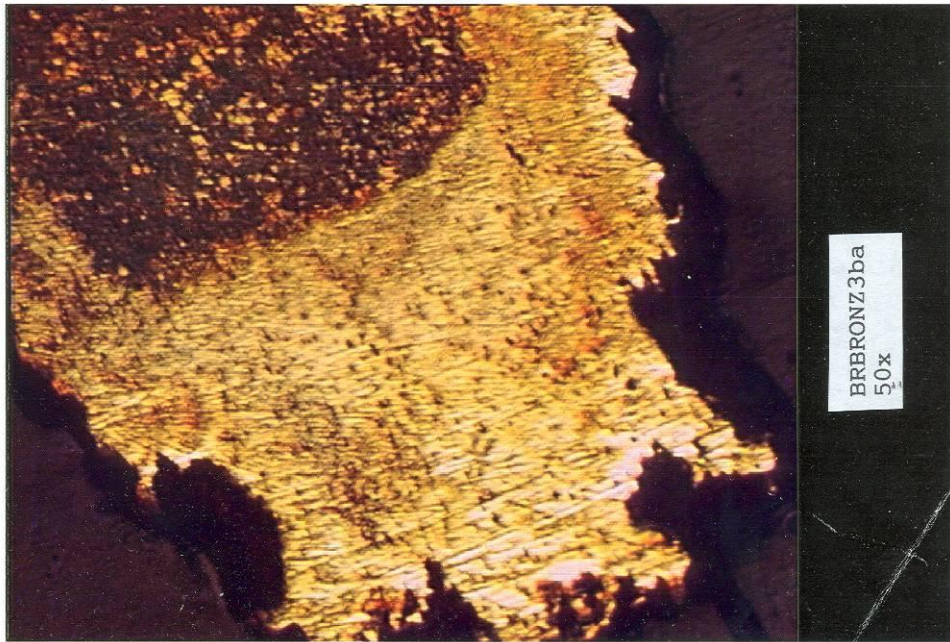
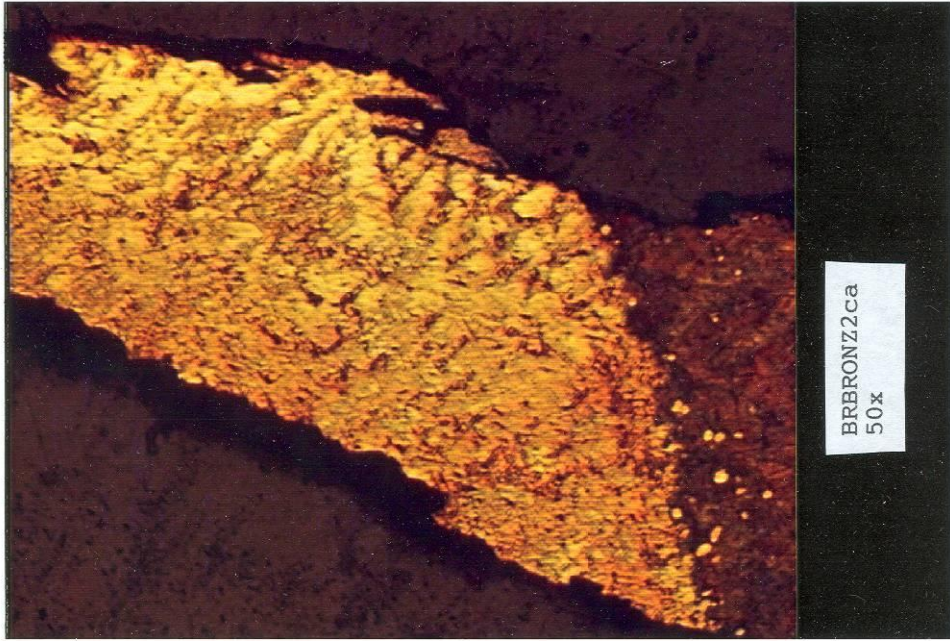
BRBRONZ2cb
400x

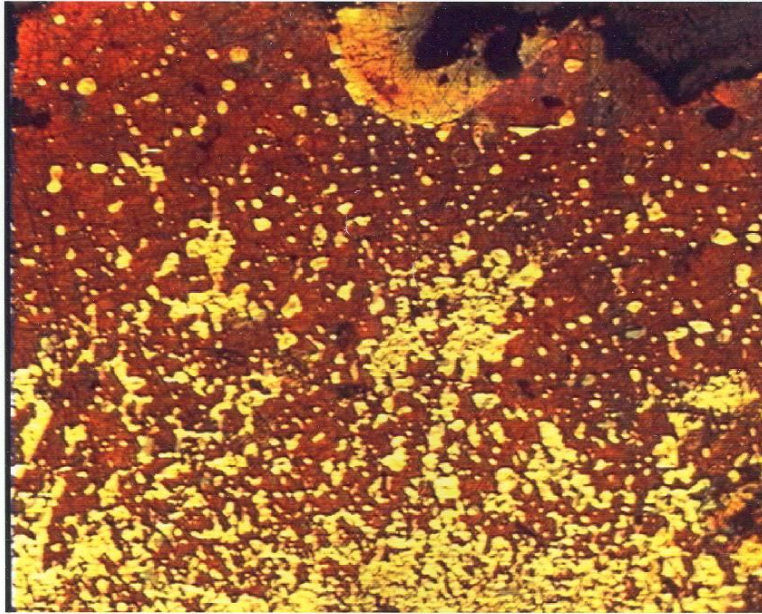


BRBRONZ2ba
50x

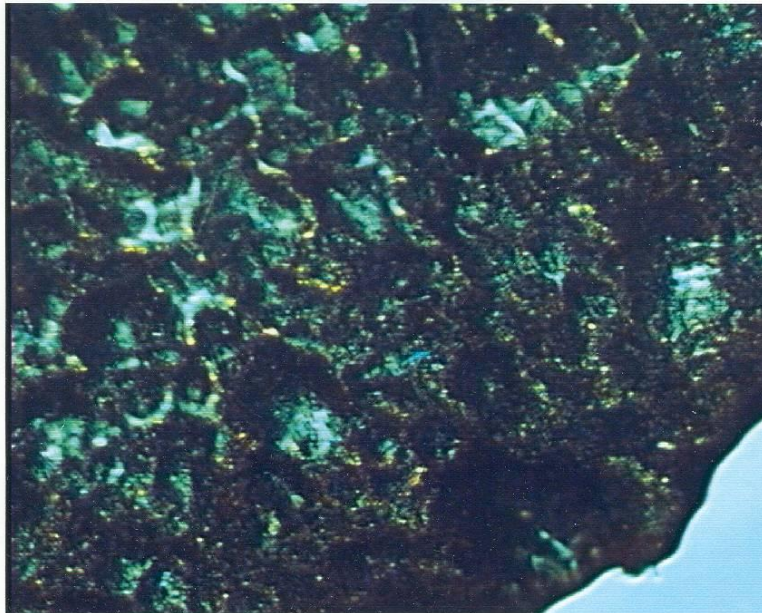


BRBRONZ2bb
50x

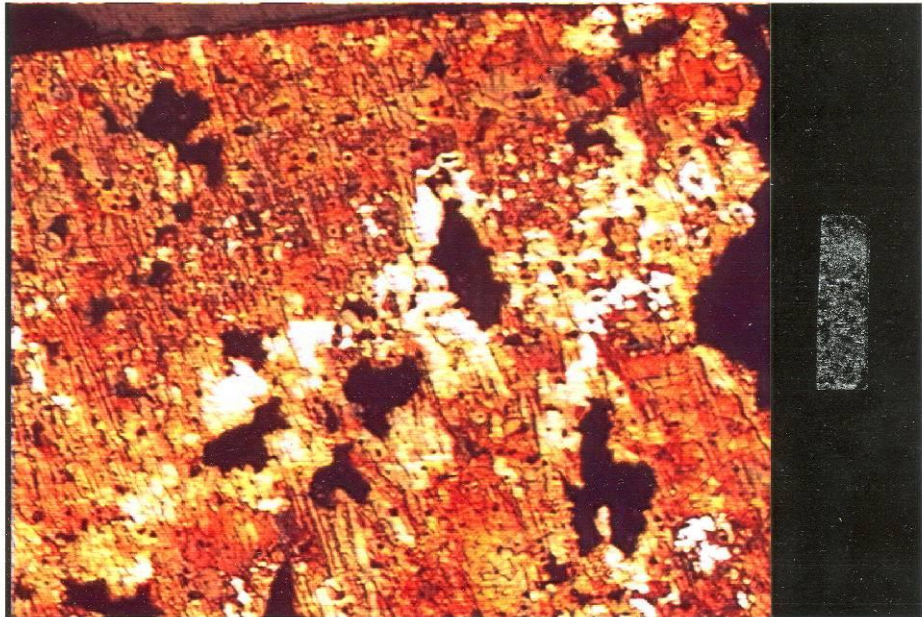
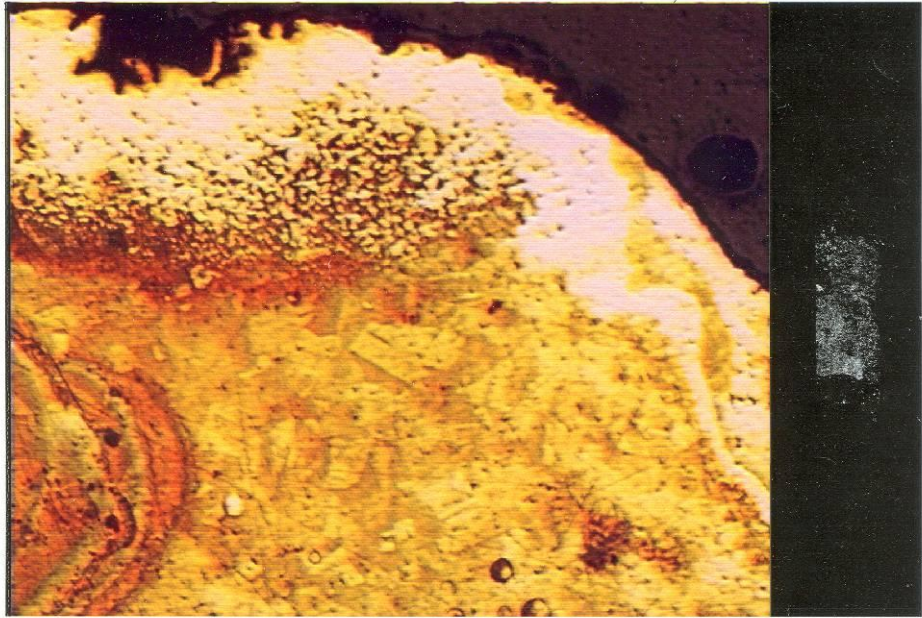




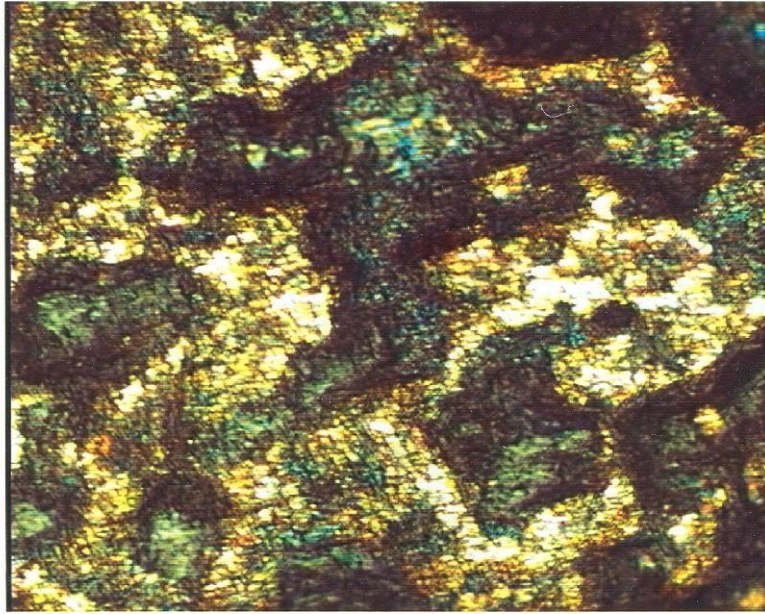
BRBRONZ2bc
50x



BRBRONZF3a
50x



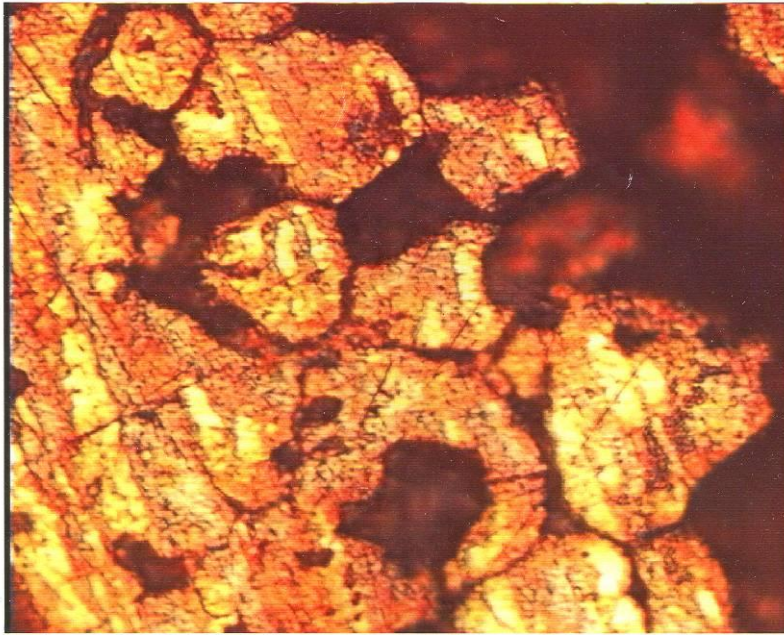
422



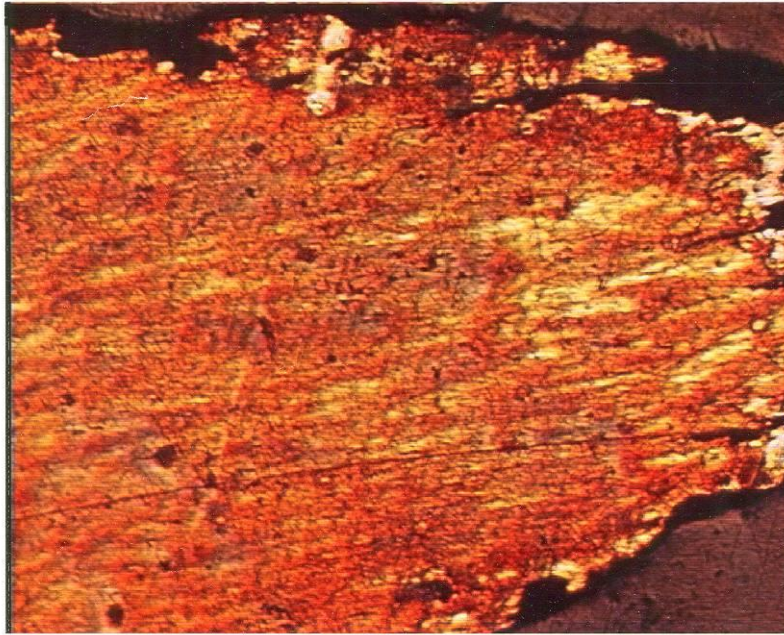
BRBRONZF6b
100x



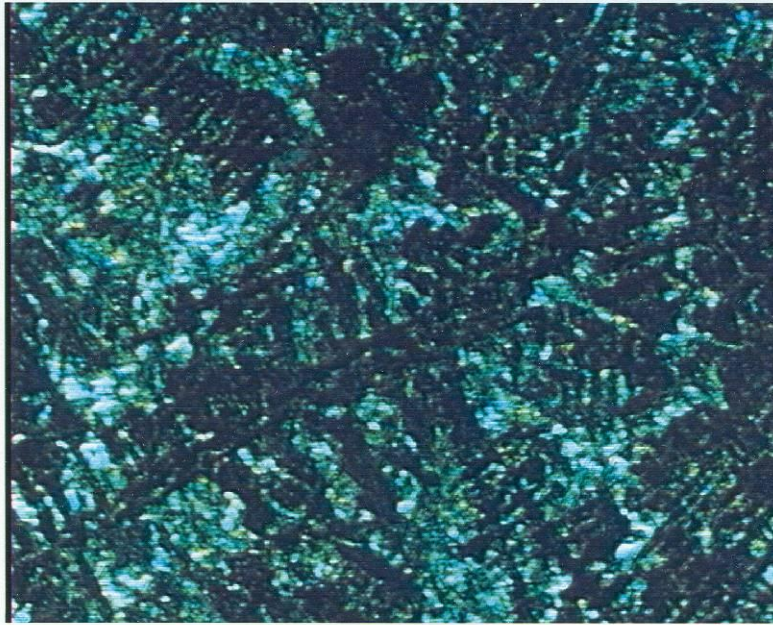
BRBRONZF4a
50x



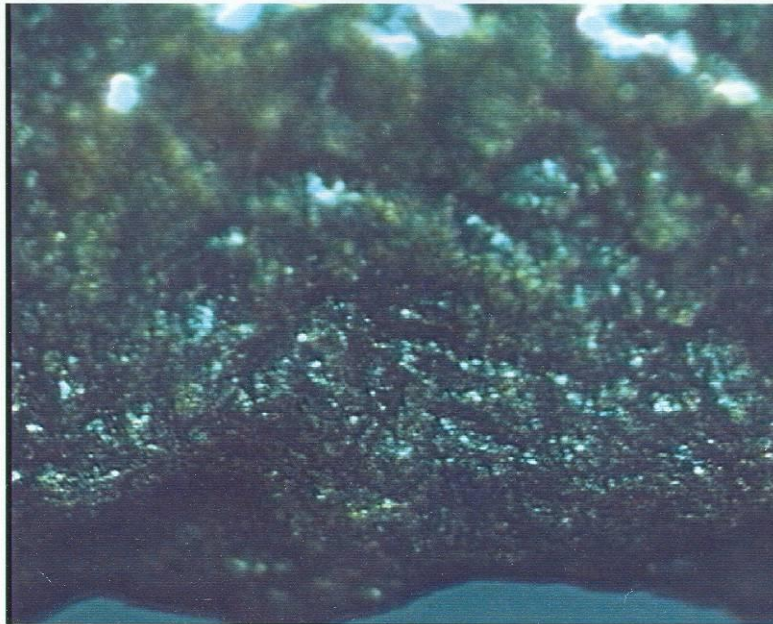
BRBRONZ4ab
400x



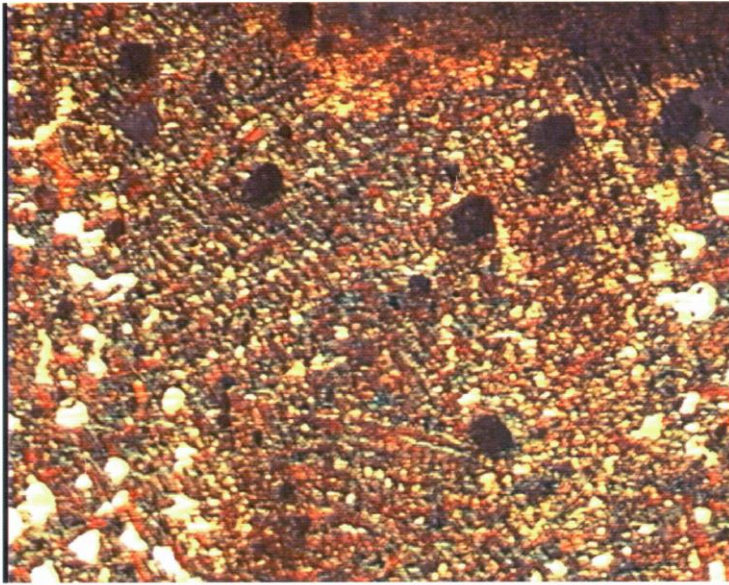
BRBRONZ4ba
50x



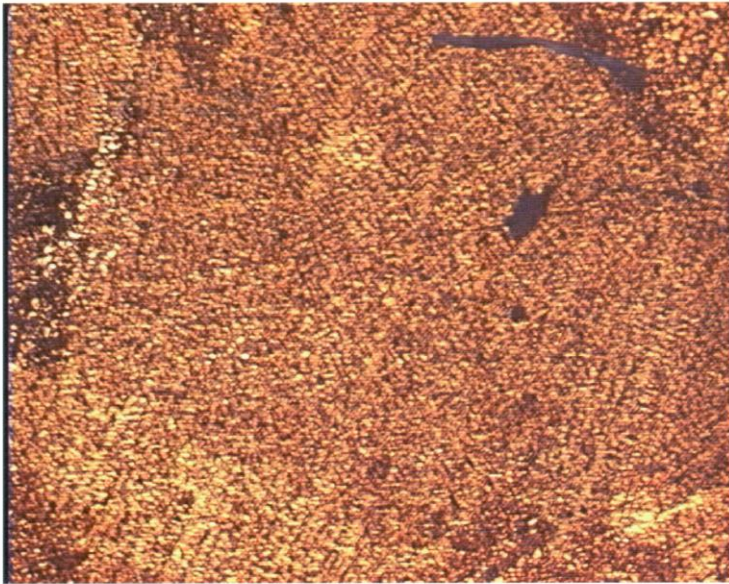
BRBRONZF8a
50x



BRBRONZF8b
50x



BRBRONZ8k
50x

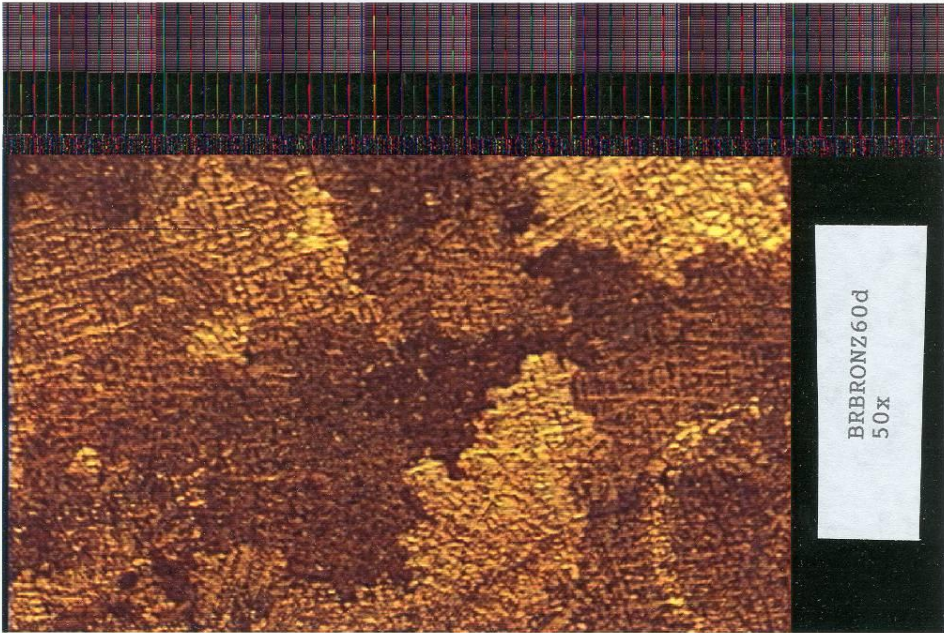


BRBRONZ60ak
50x

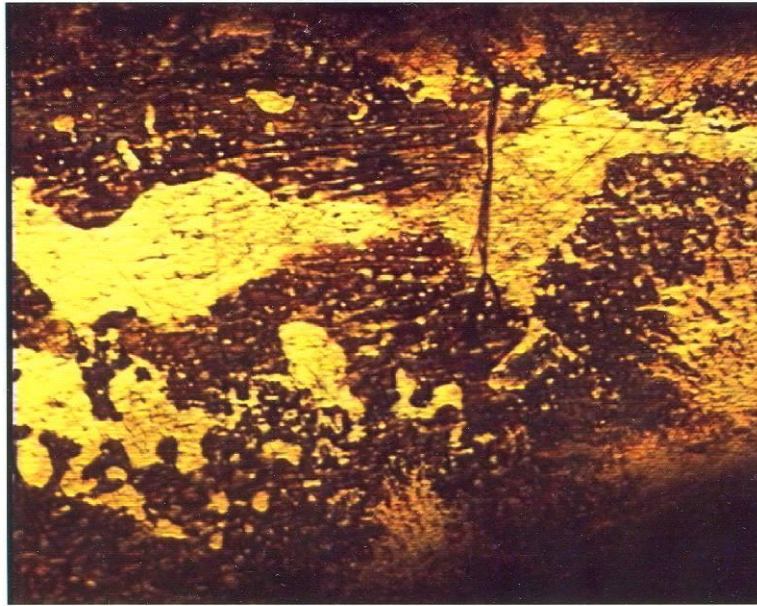
32



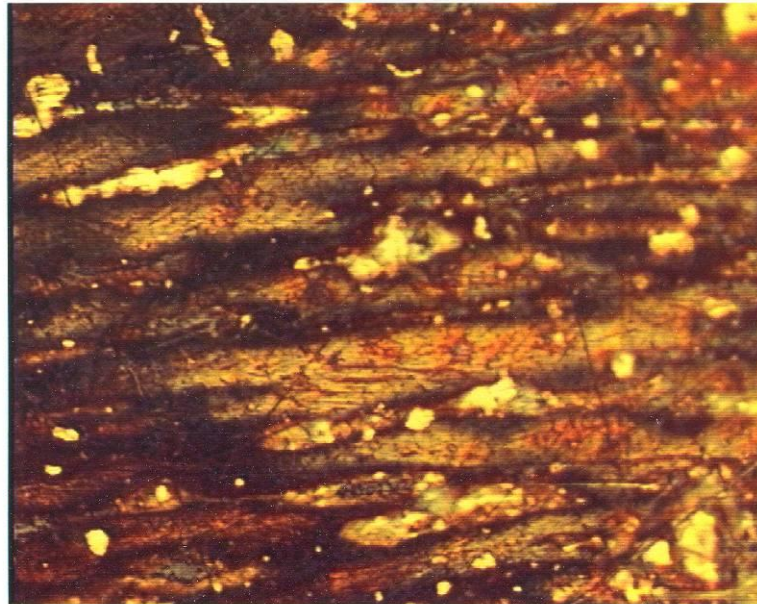
BRBRONZ8h
400x



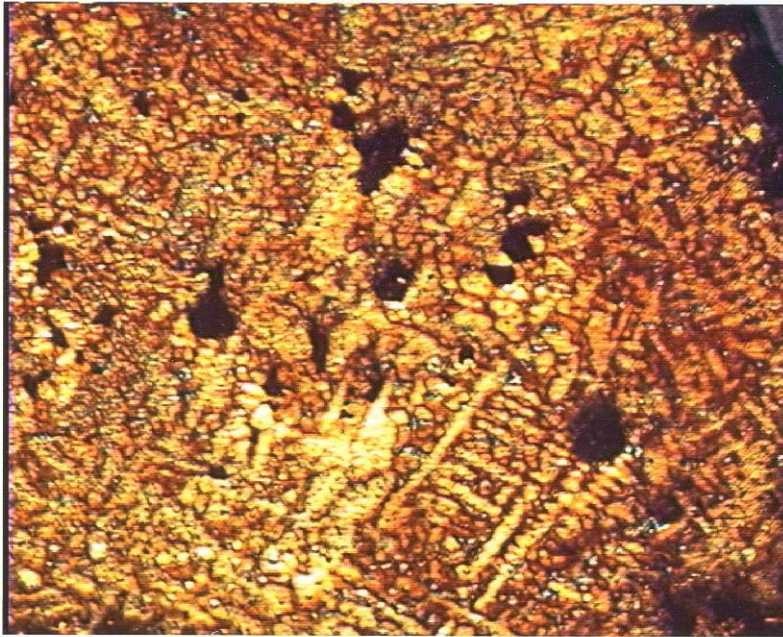
BRBRONZ60d
50x



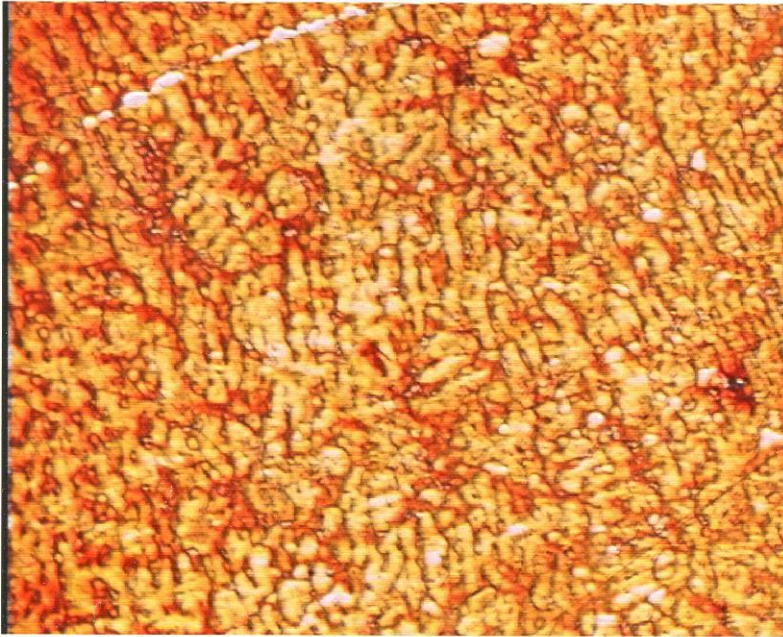
BRBRONZ8C
50x



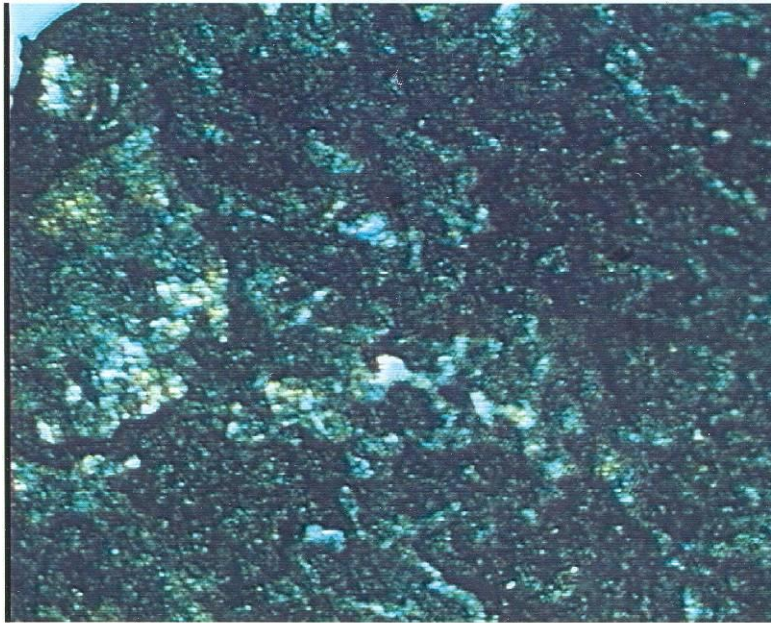
BRBRONZ8f
400x



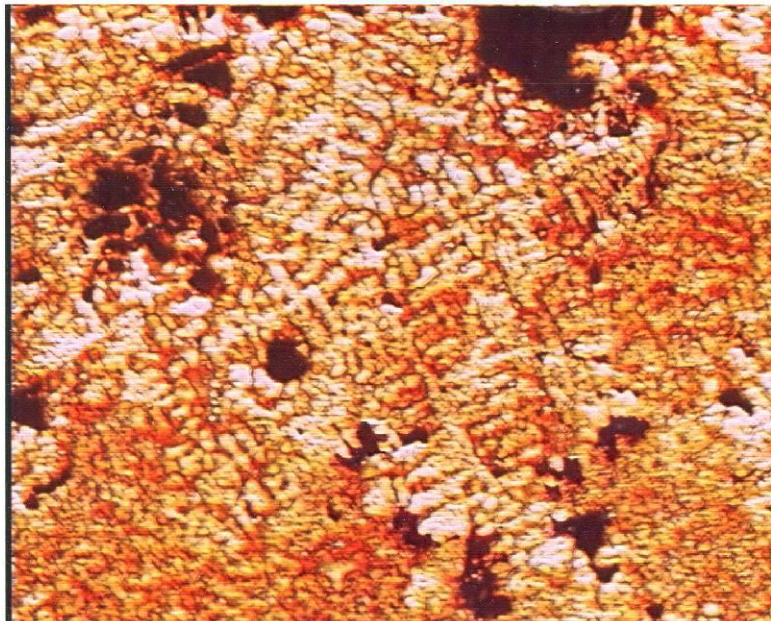
BRBRONZ9ab
50x

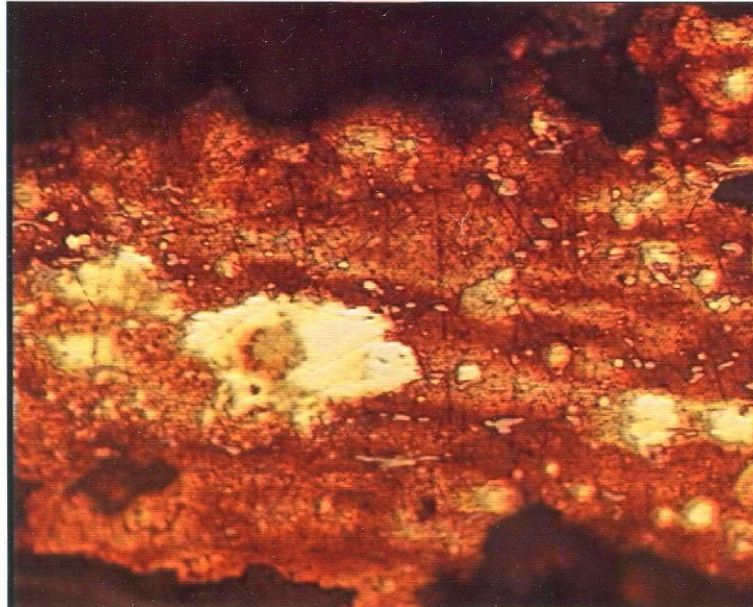


BRBRONZ9bb
50x

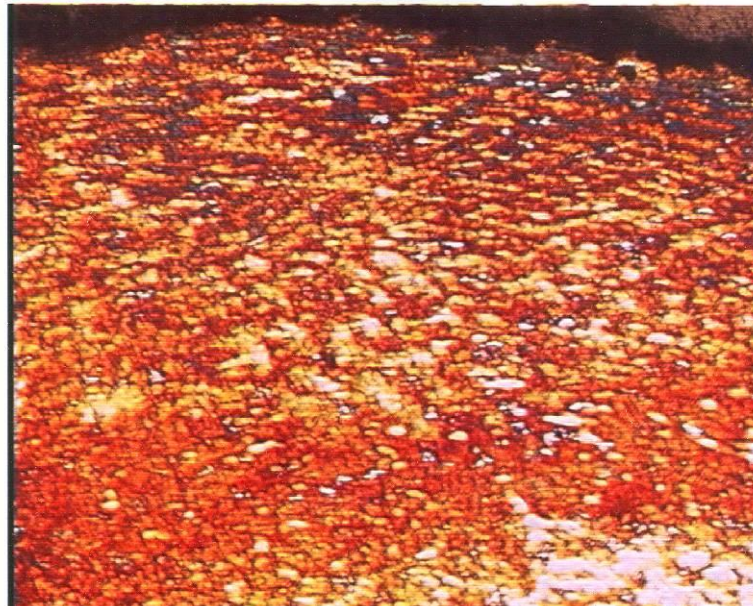


BRBRONZF a
50x

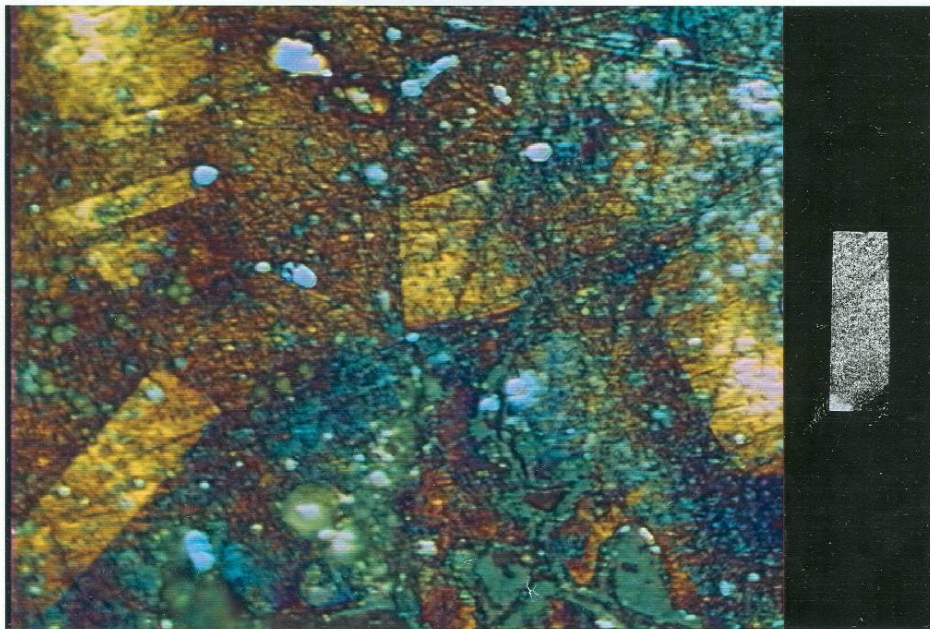




BRBRONZ9aa
200x

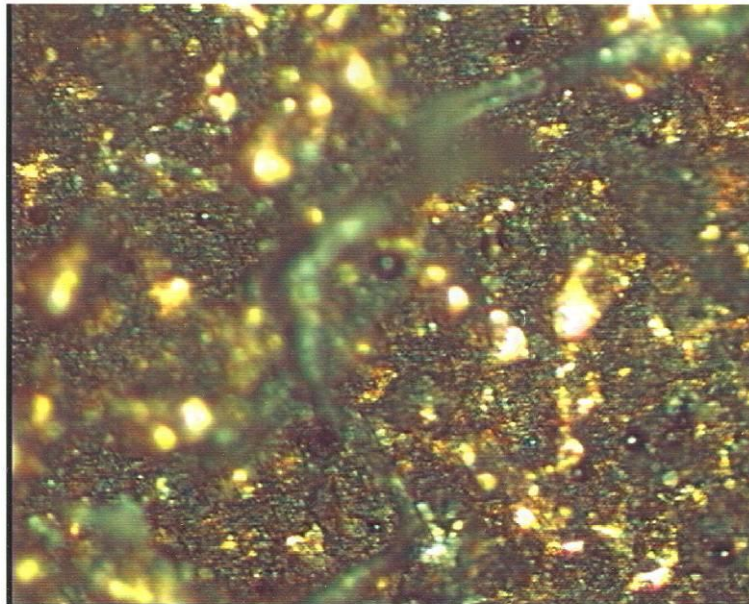


BRBRONZ9ba
50x

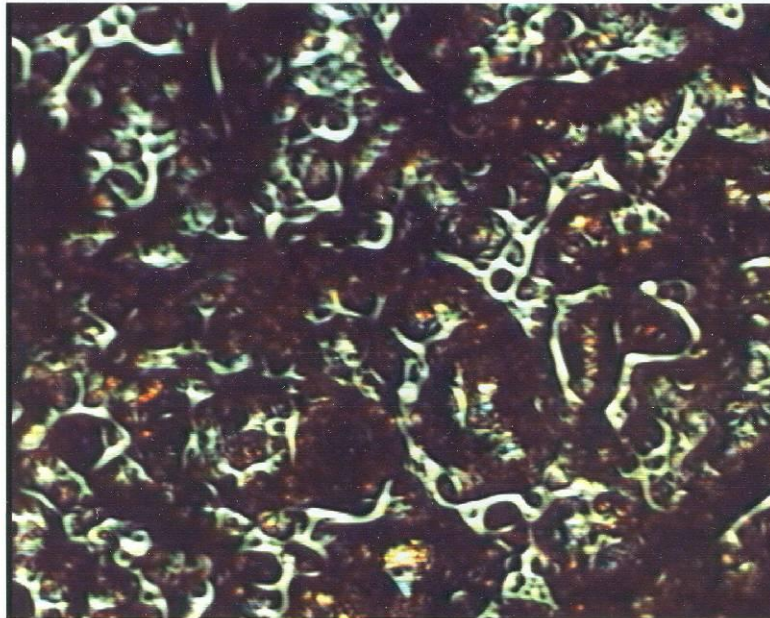




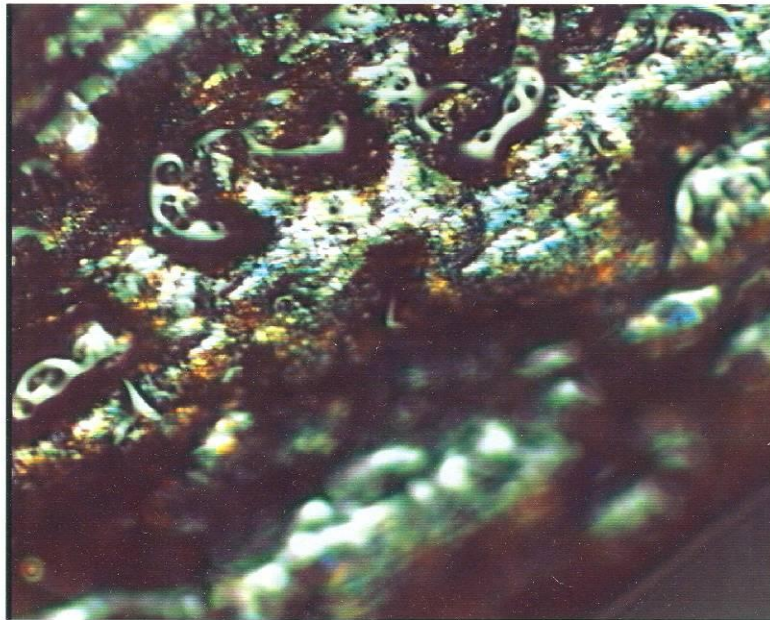
BRBRONZF14b
100x



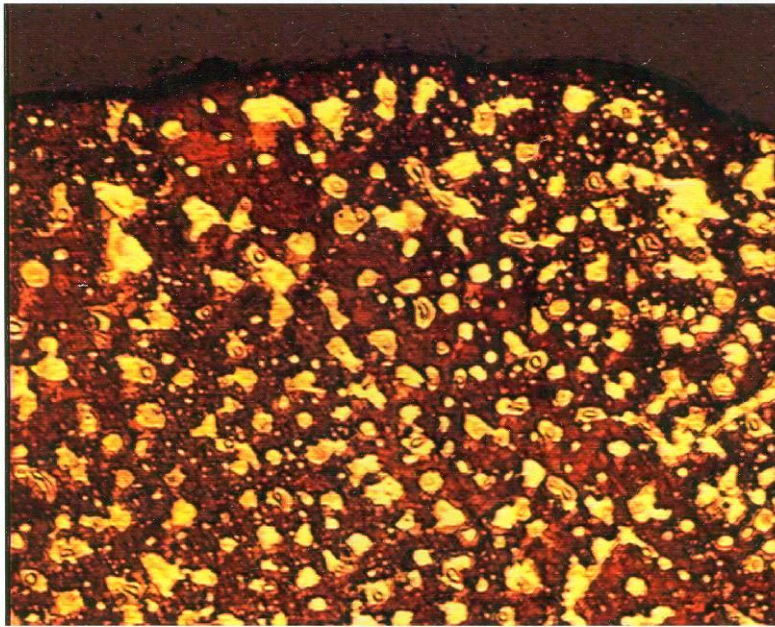
BRBRONZF14a
100x



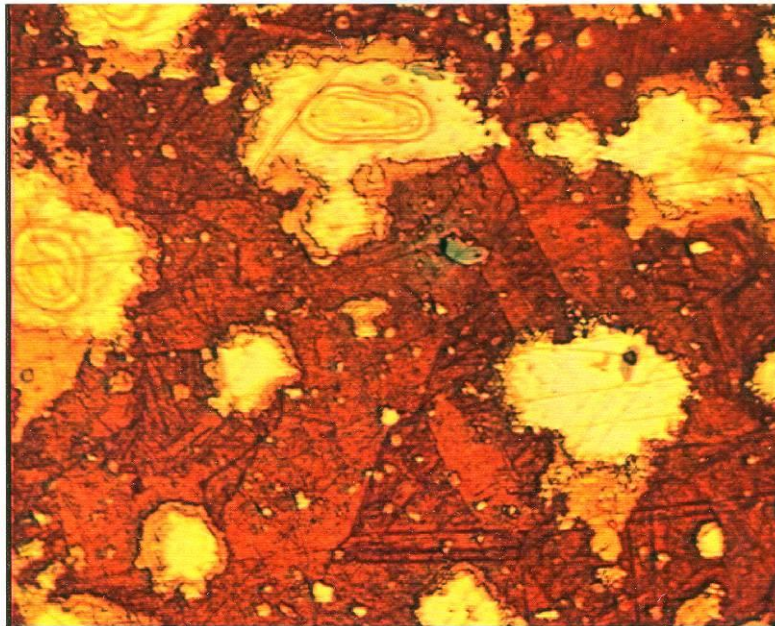
BRBRONZF16a
50x



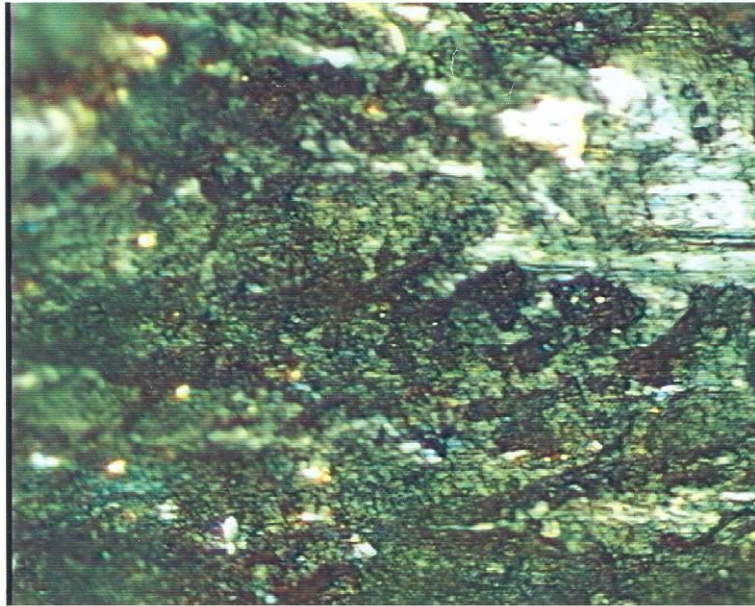
BRBRONZF16b
100x



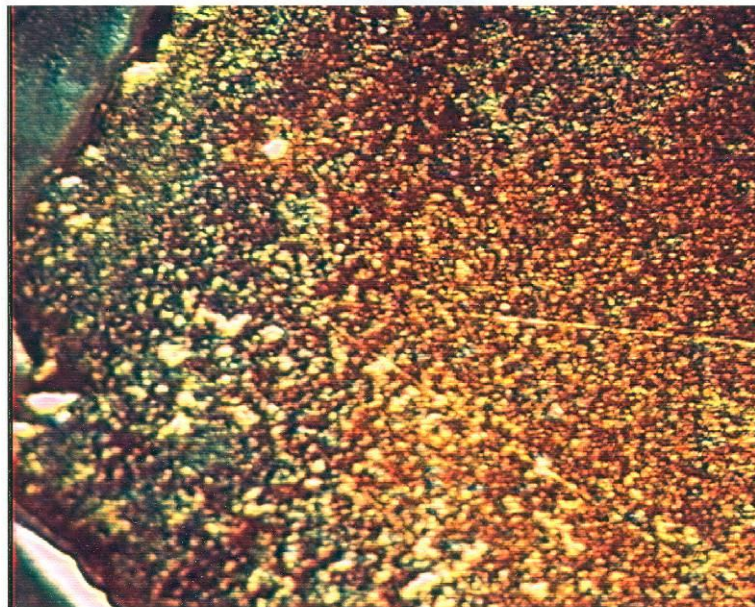
BRBRONZ16ba
50x



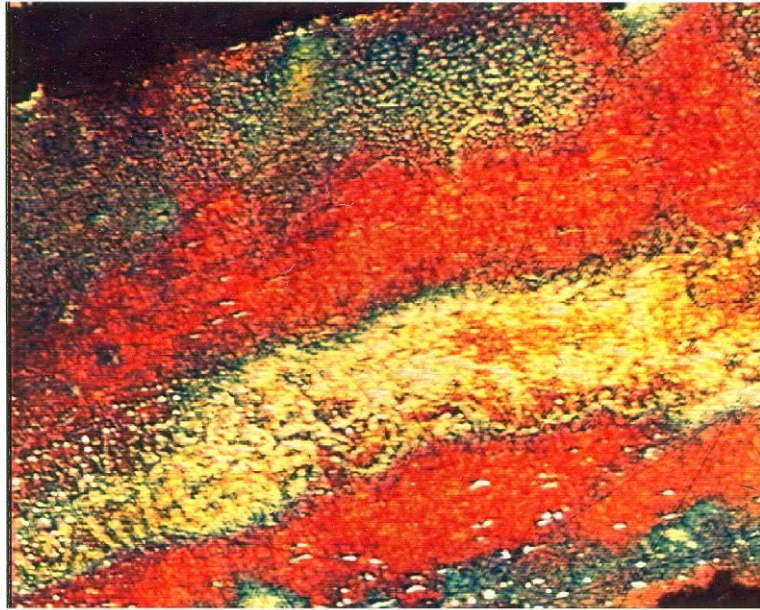
BRBRONZ16bb
400x



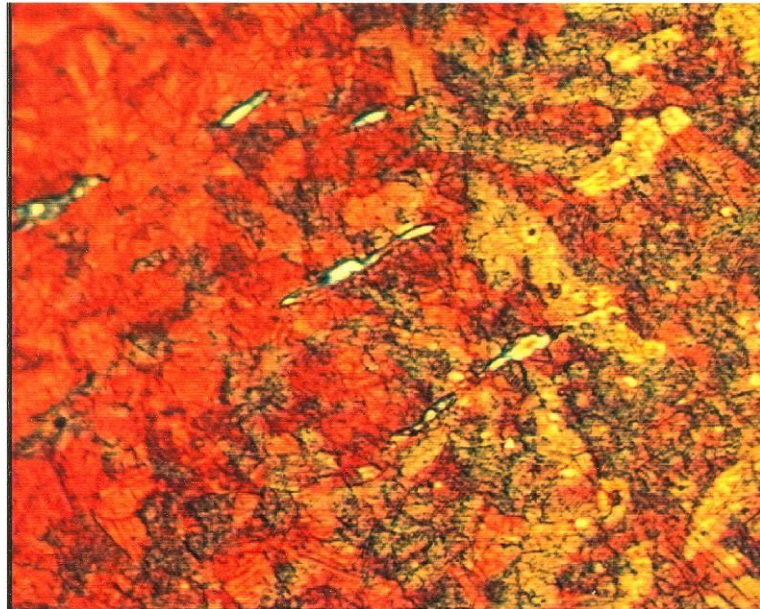
BRBRONZF17b
200x



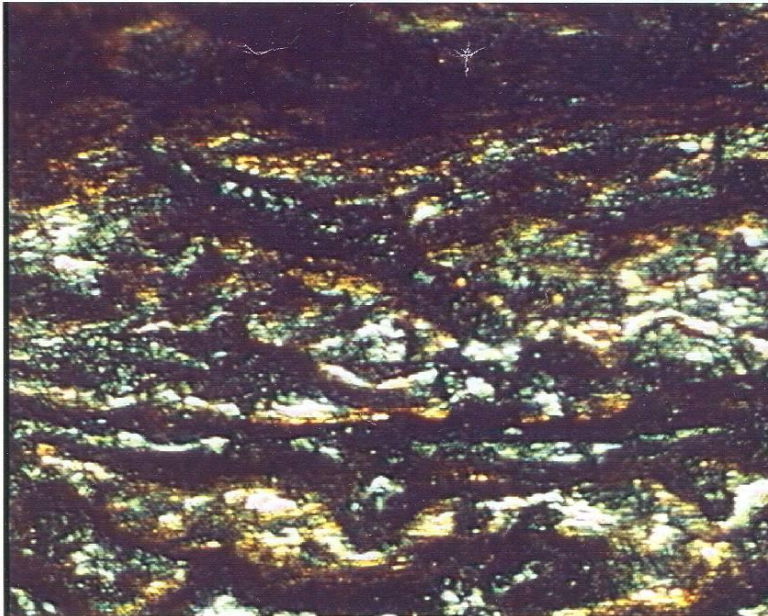
BRBRONZI7aa
50x



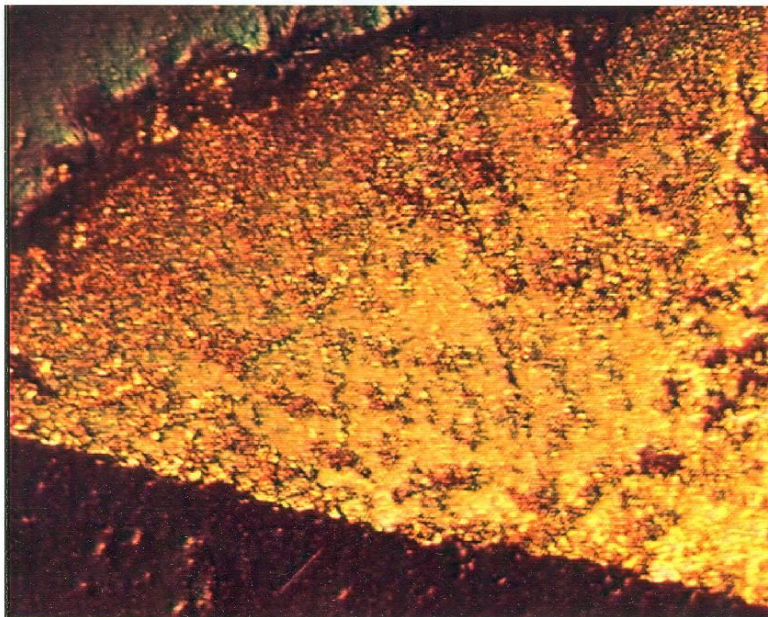
BRBRONZI 17ba
50x



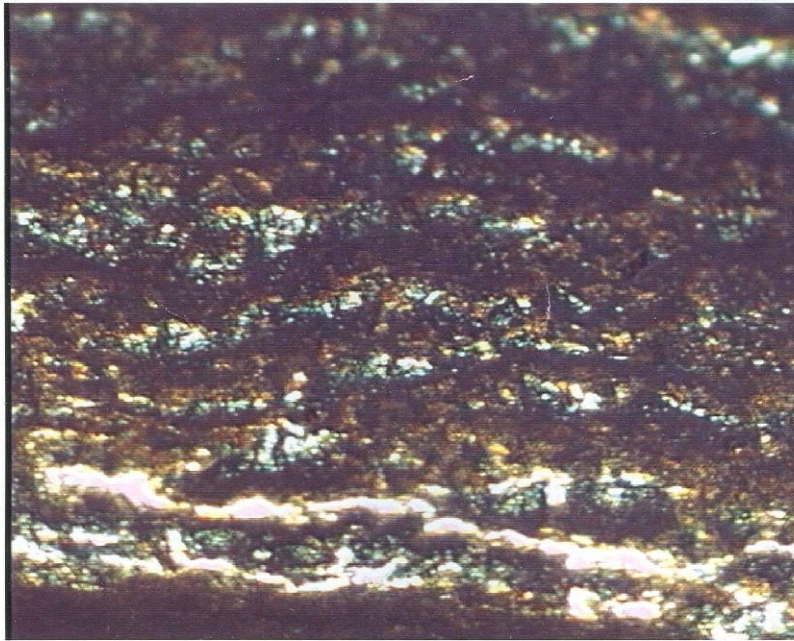
BRBRONZI 17bb
400x



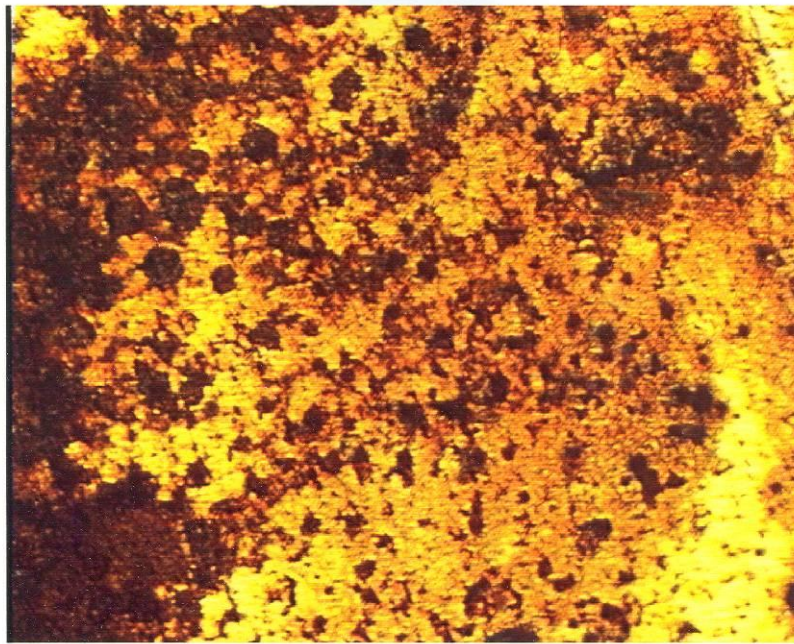
BRBRONZ18a
50x



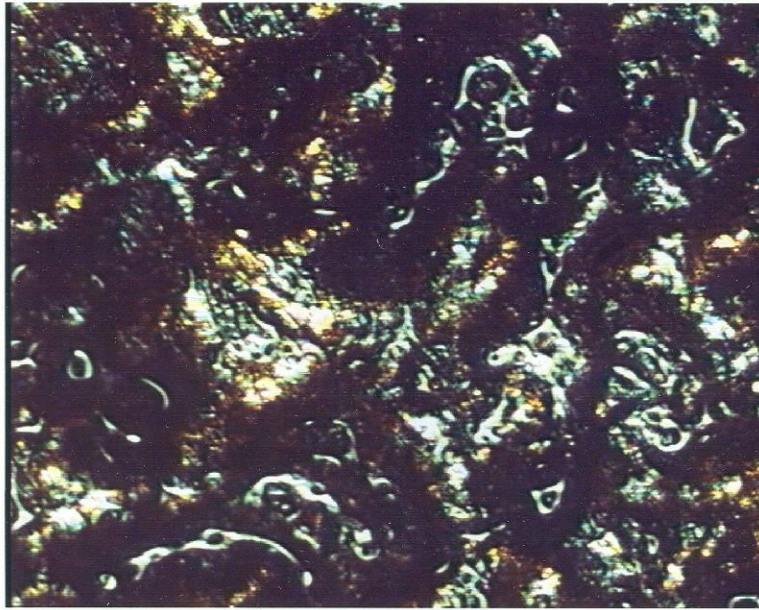
BRBRONZ18ba
50x



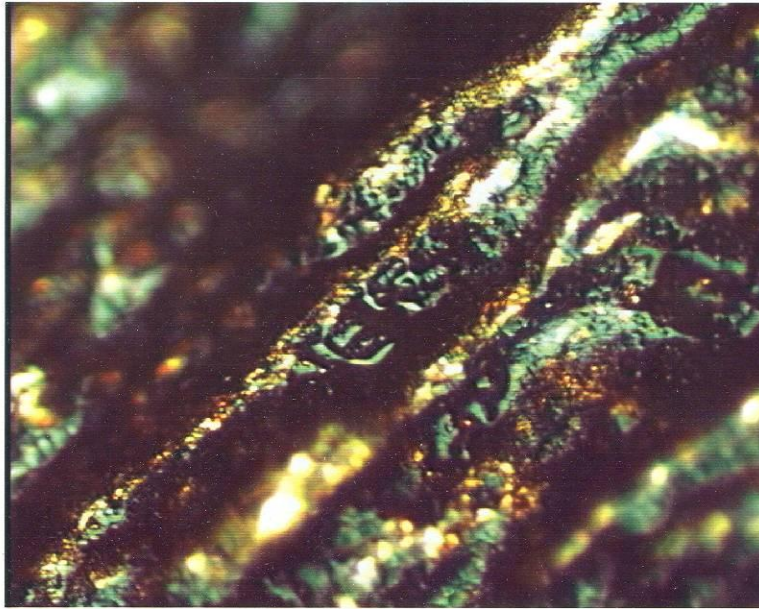
BRBRONZF19a
50x



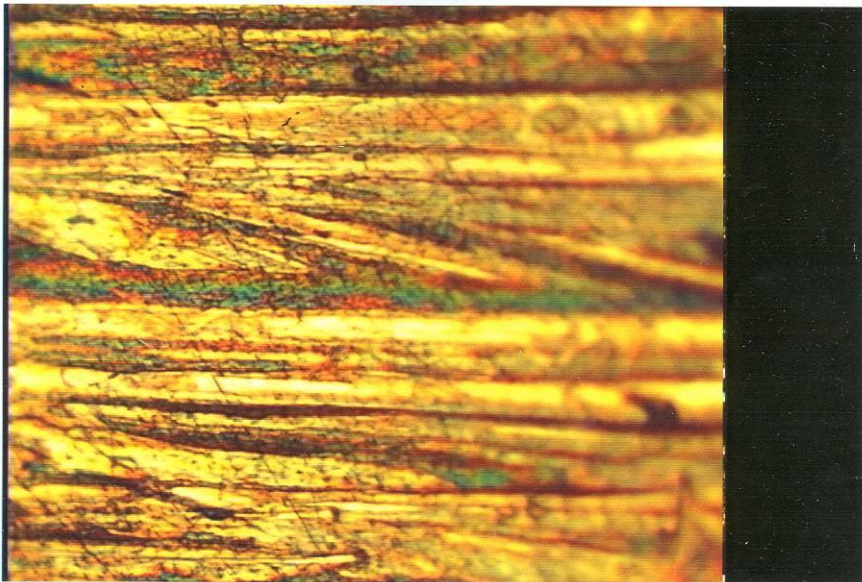
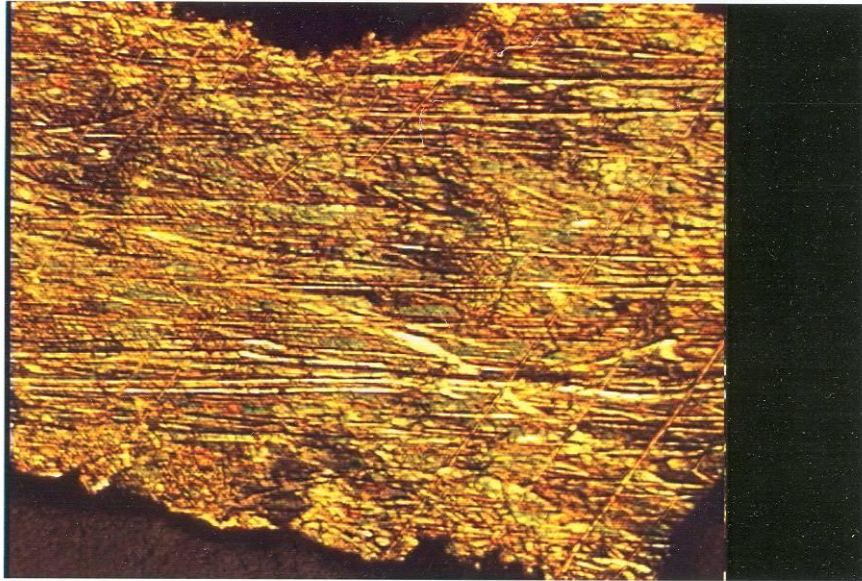
BRBRONZ19a
50x

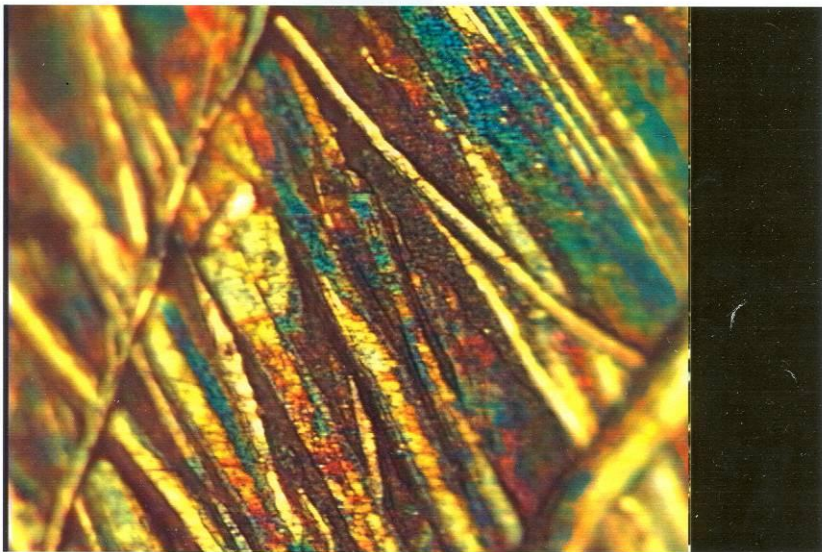
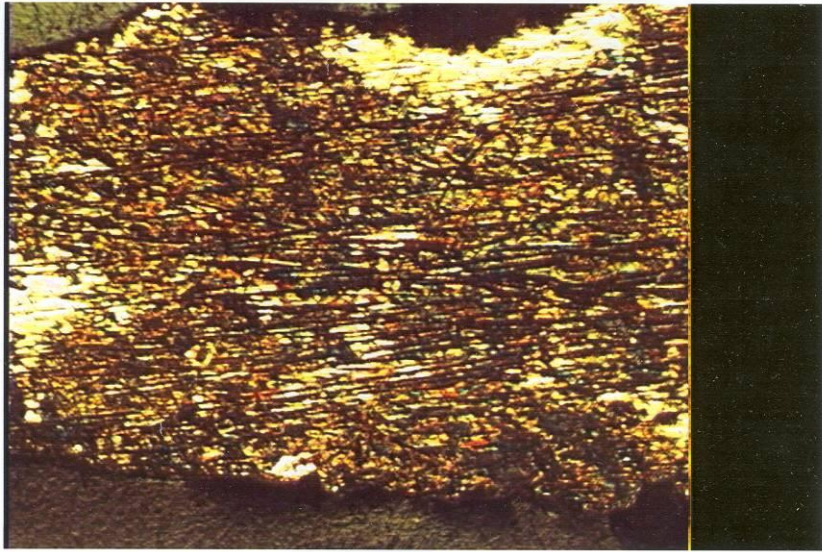


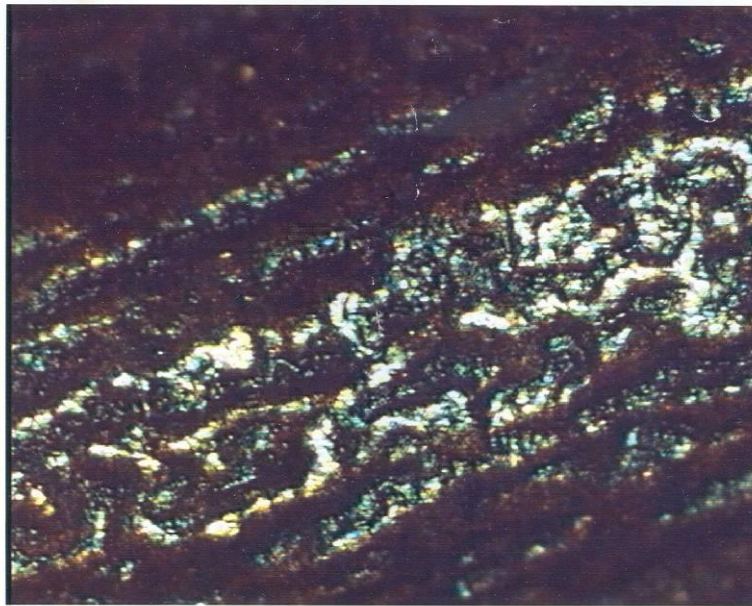
BRBRONZF21a
50x



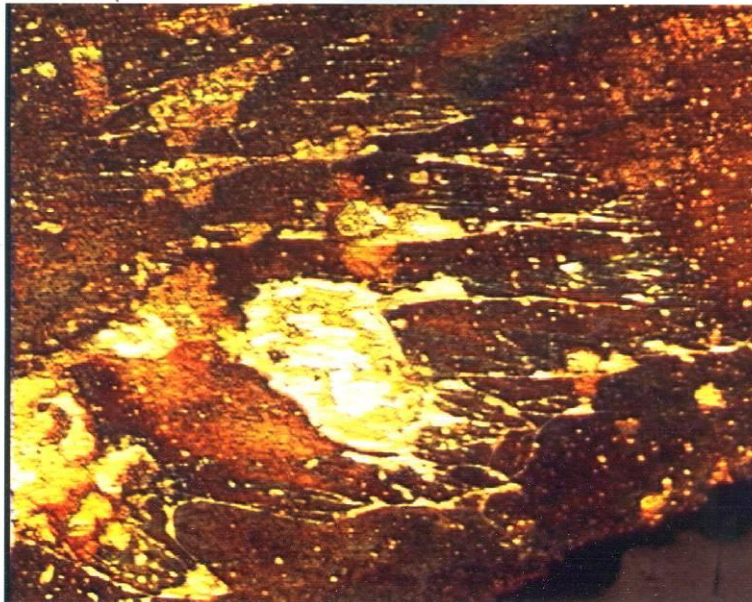
BRBRONZF21e
100x



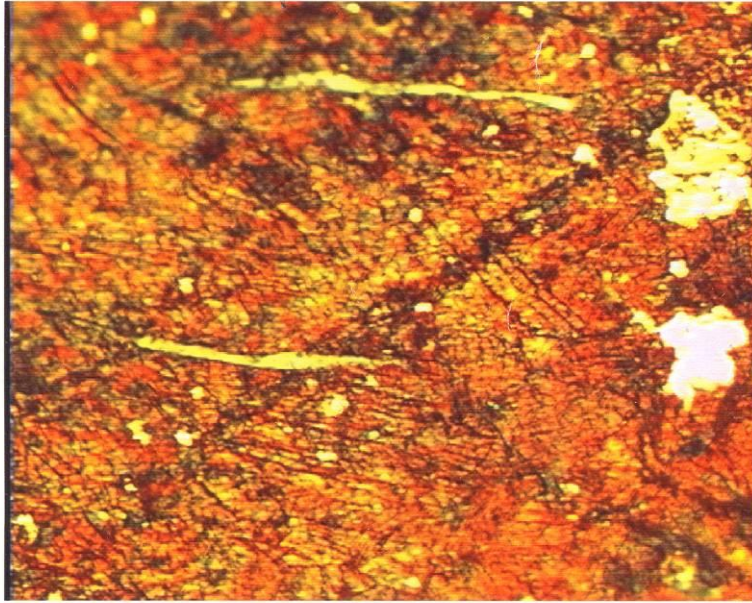




BRBRONZF22a
50x



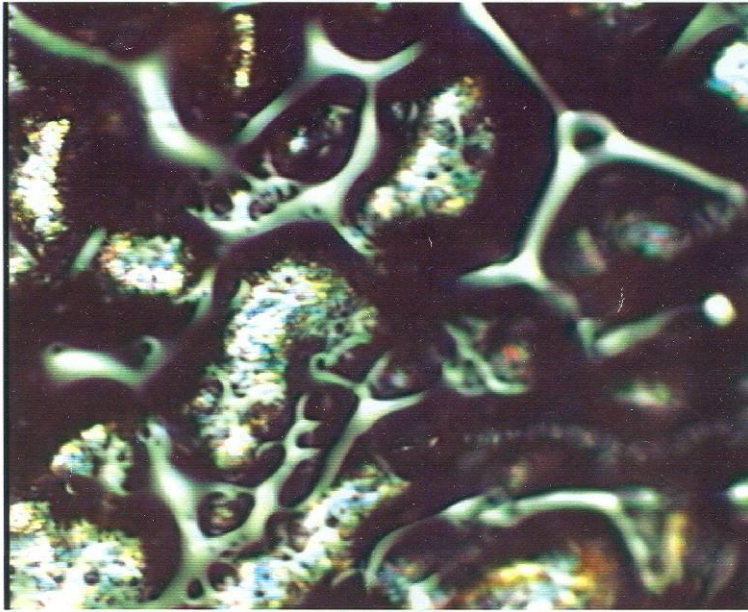
BRBRONZ22aa
50x



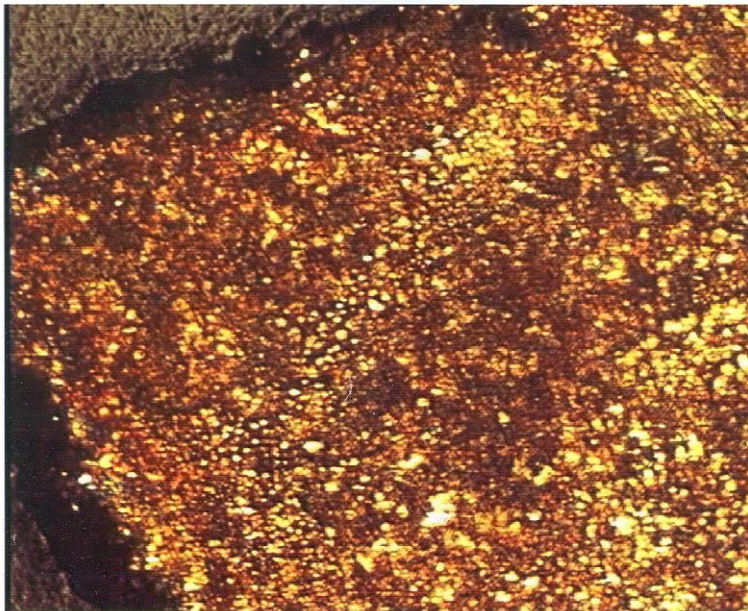
BRBRONZ22ab
400x



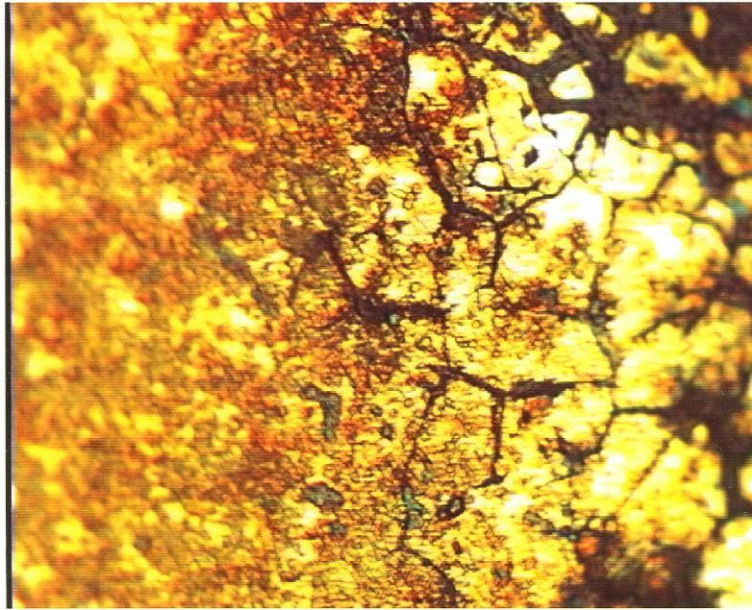
BRBRONZ23a
50x



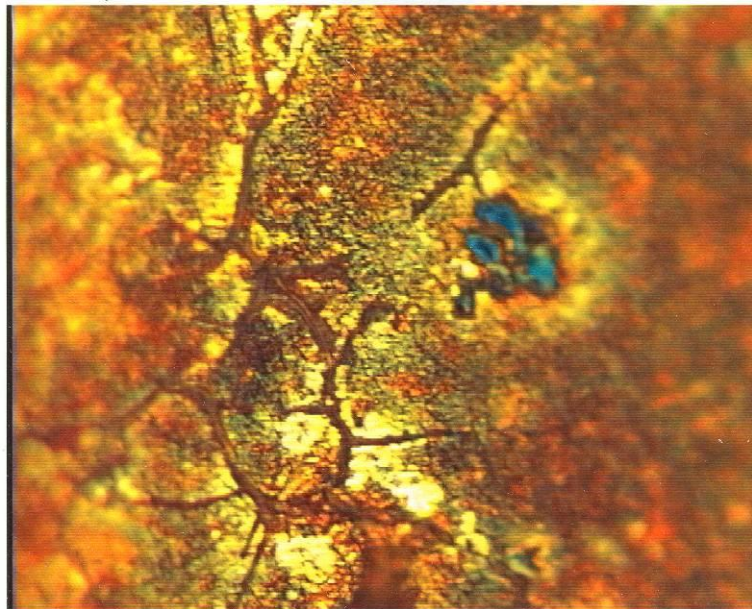
BRBRONZF24a
100x



BRBRONZ24a
50x



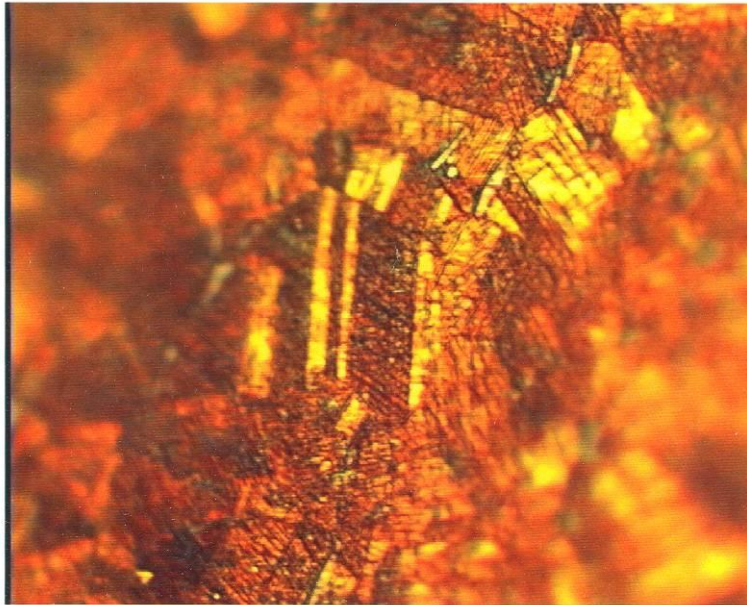
BRBRONZ24b
200x



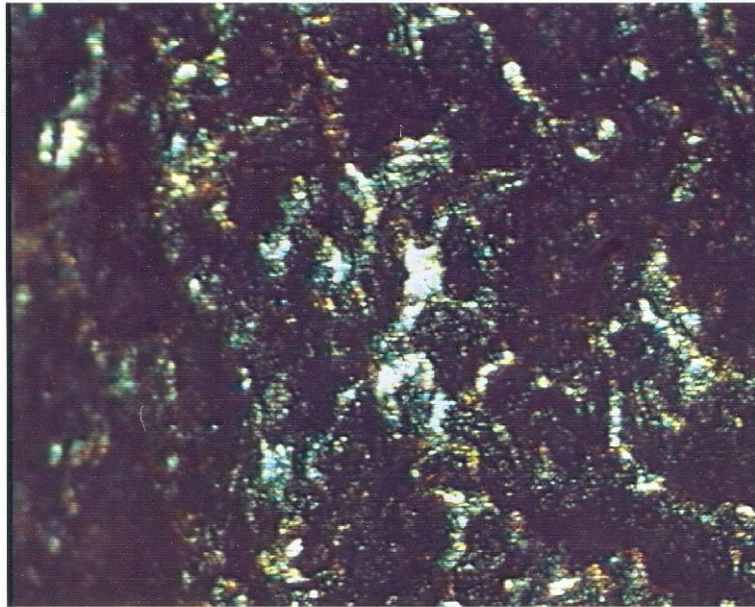
BRBRONZ24c
400x



BRBRONZF27b
100x



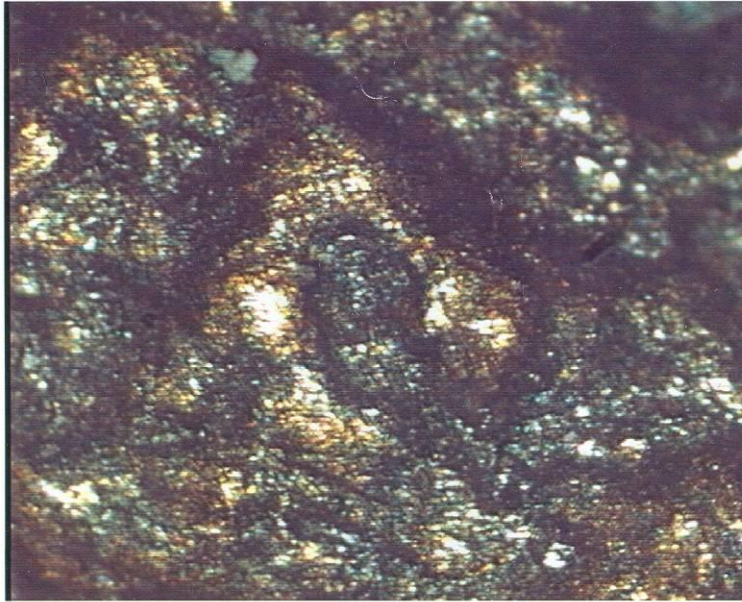
BRBRONZ27a
400



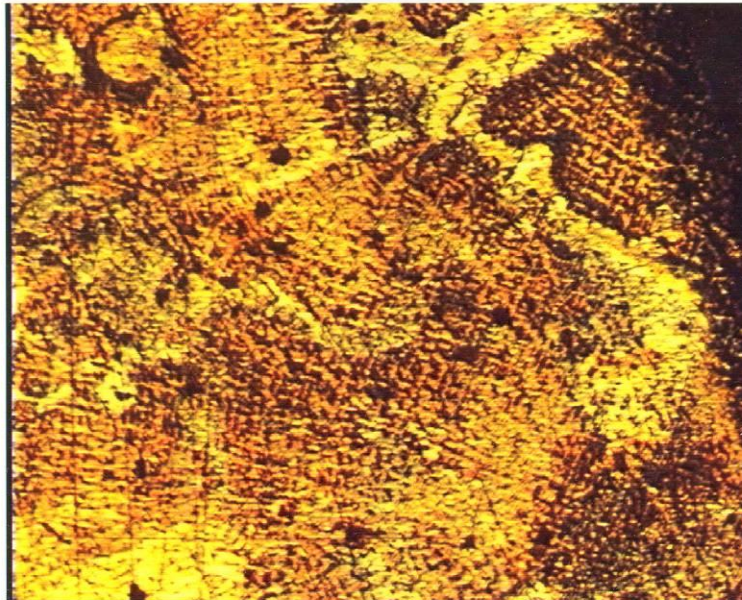
BRBRONZF28a
50x



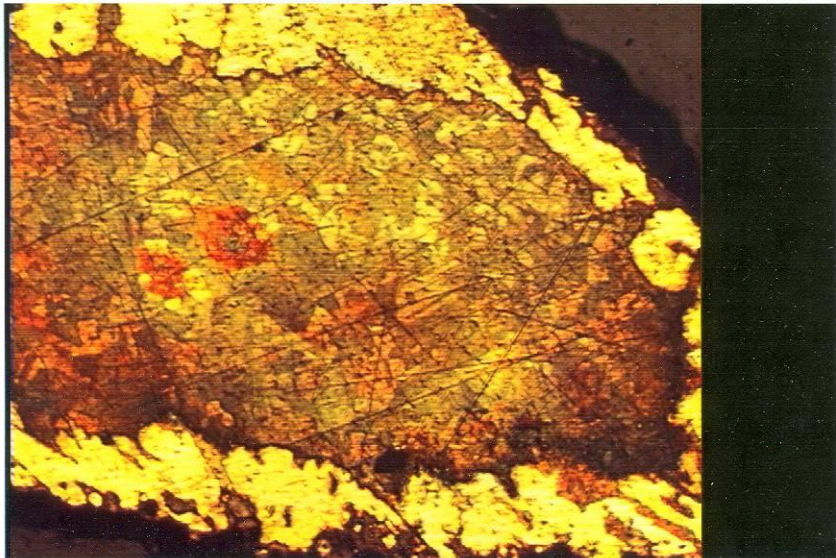
BRBRONZ28a
50x

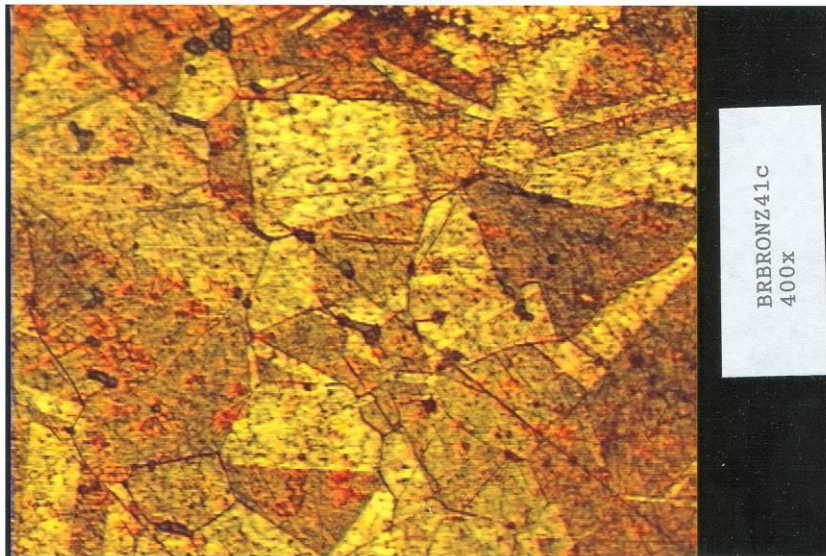
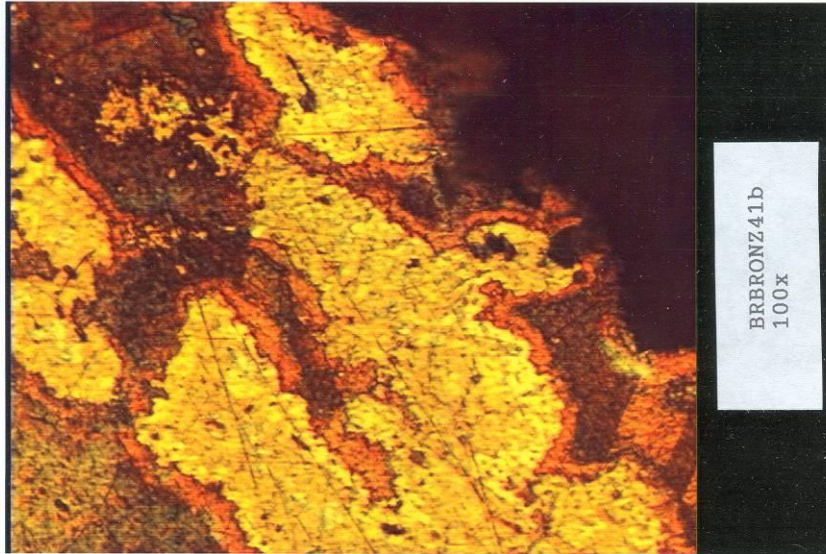


BRBRONZF33
50x



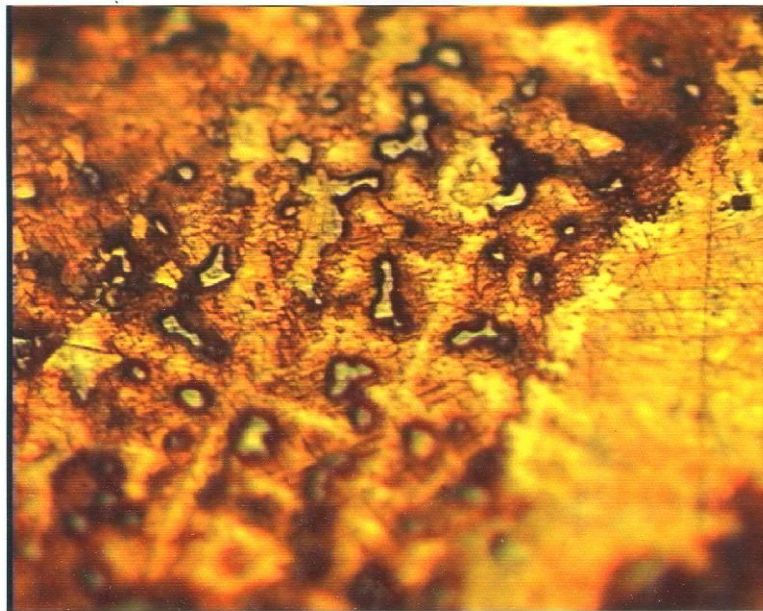
BRBRONZ33a
50x



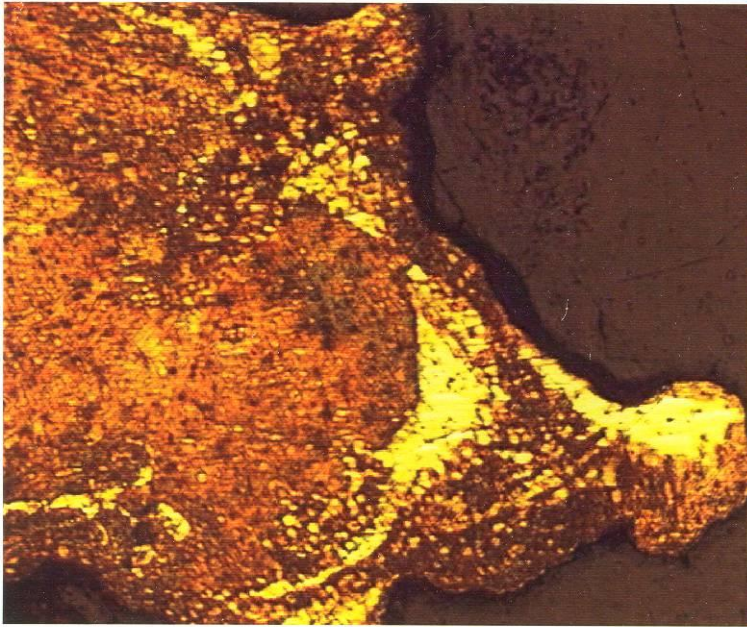




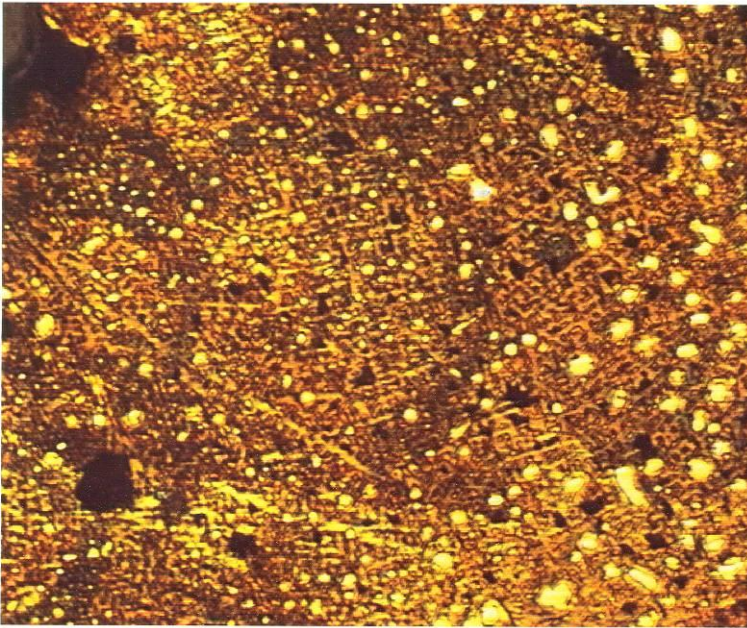
BRBRONZF49a
50x



BRBRONZF49b
400x



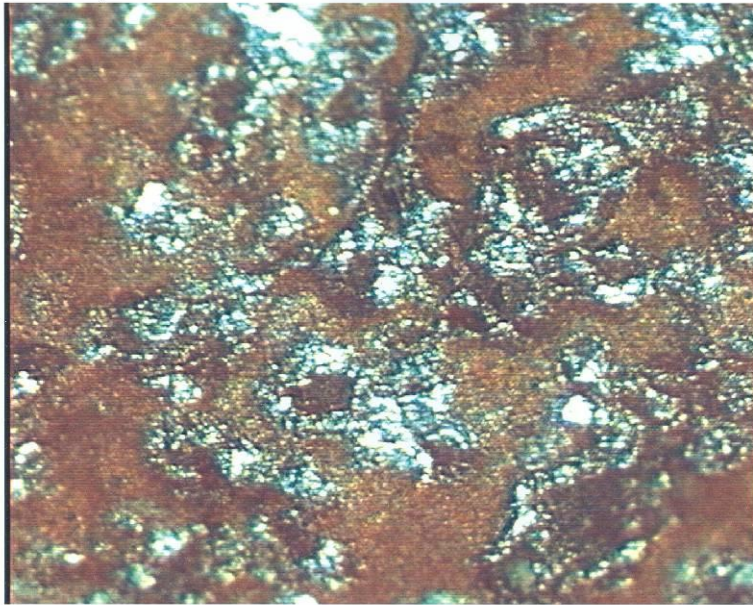
BRBRONZ61a
50x



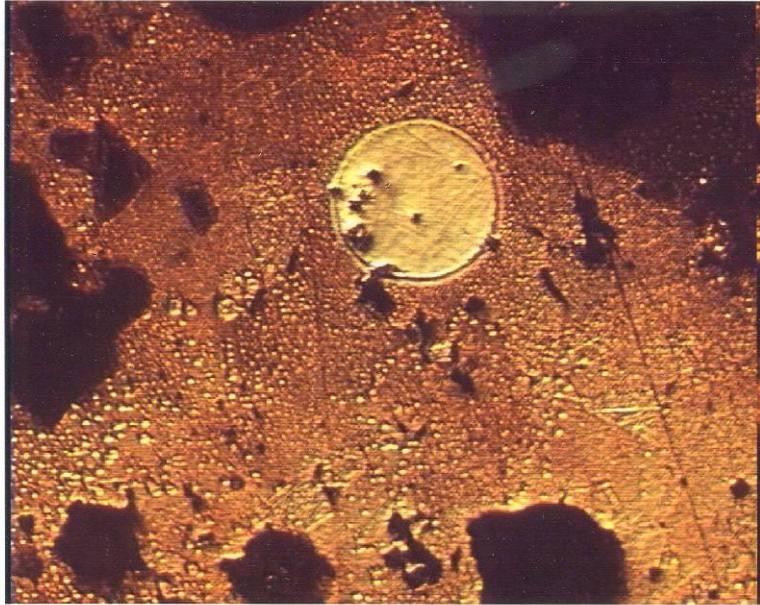
BRBRONZ61d
50x



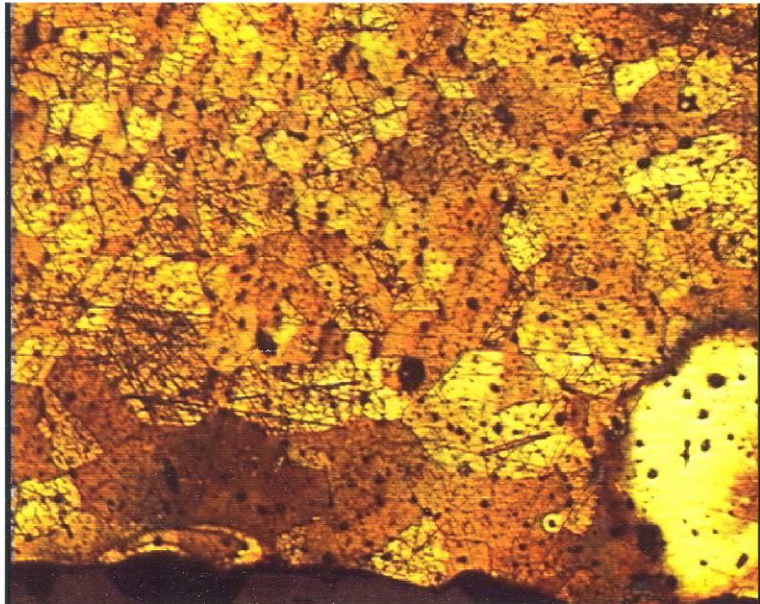
BRBRONZF60
50x



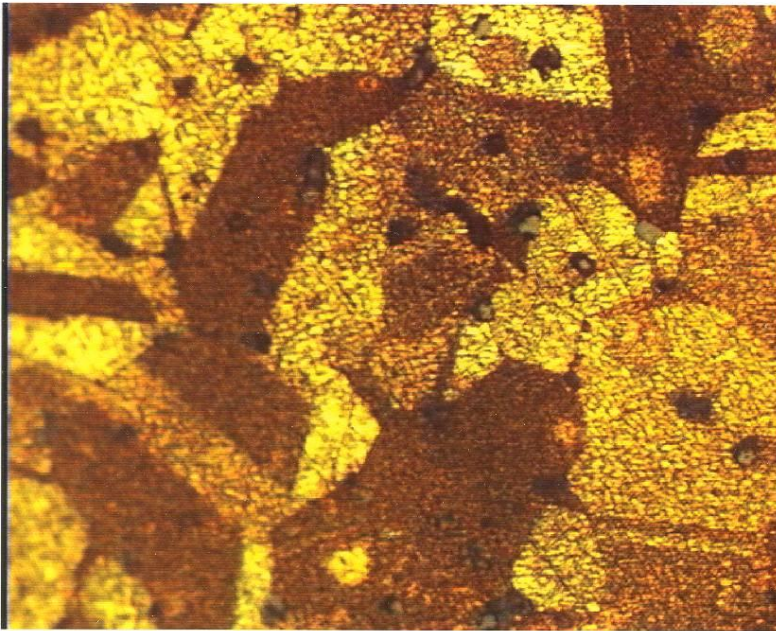
BRBRONZF62c
50x



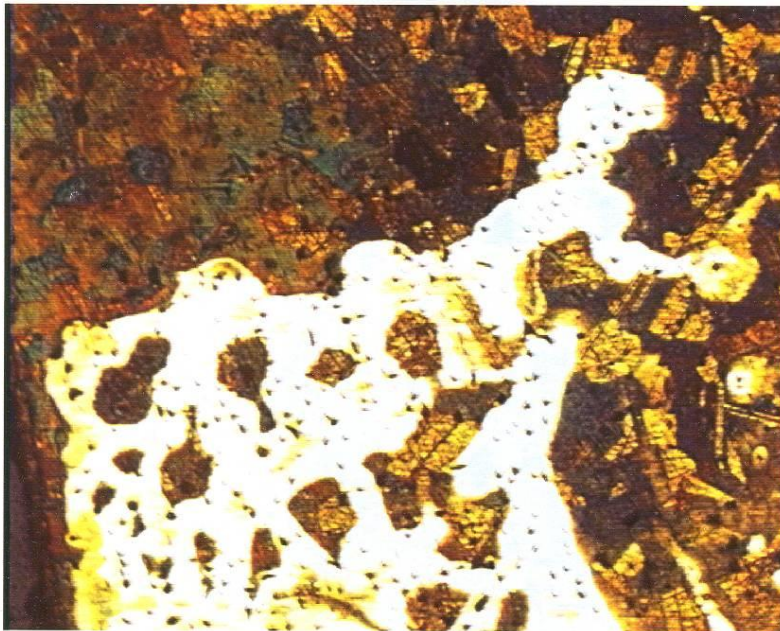
BRBRONZ62ae
50x



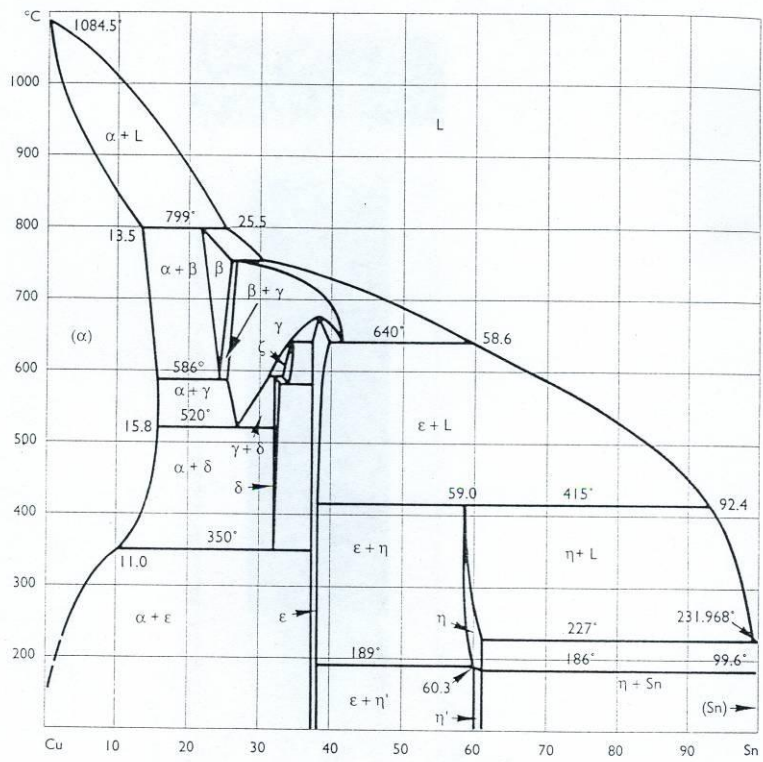
BRBRONZ62ba
50x



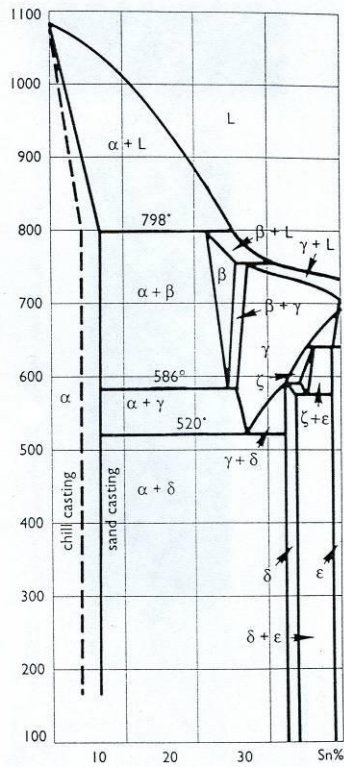
BRBRONZ62bd
200x



BRBRONZ62be
50x

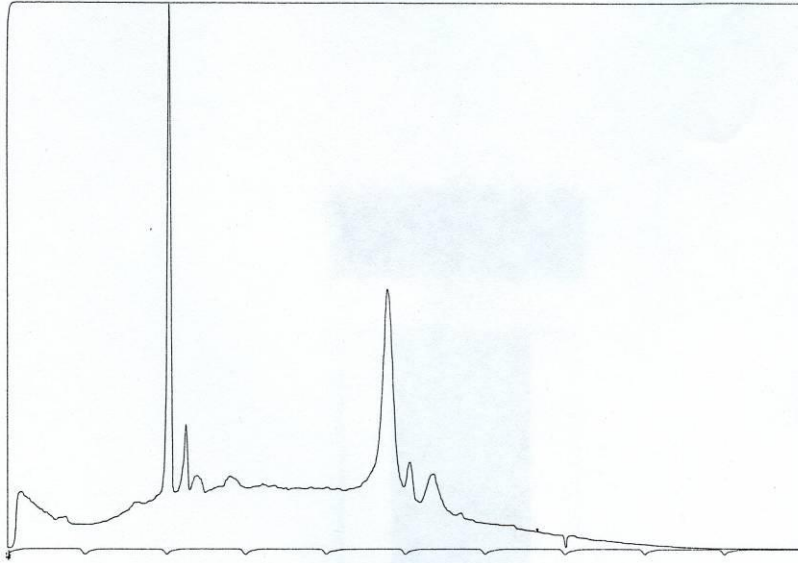


A teljes Cu-Sn diagram
(Scott, 1991.)

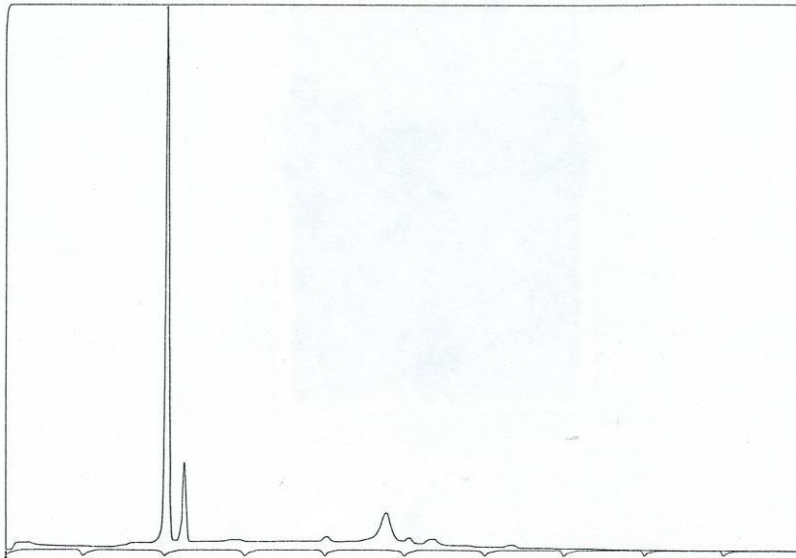


Cu-Sn diagram a gyakorlatban
(Scott 1991.)

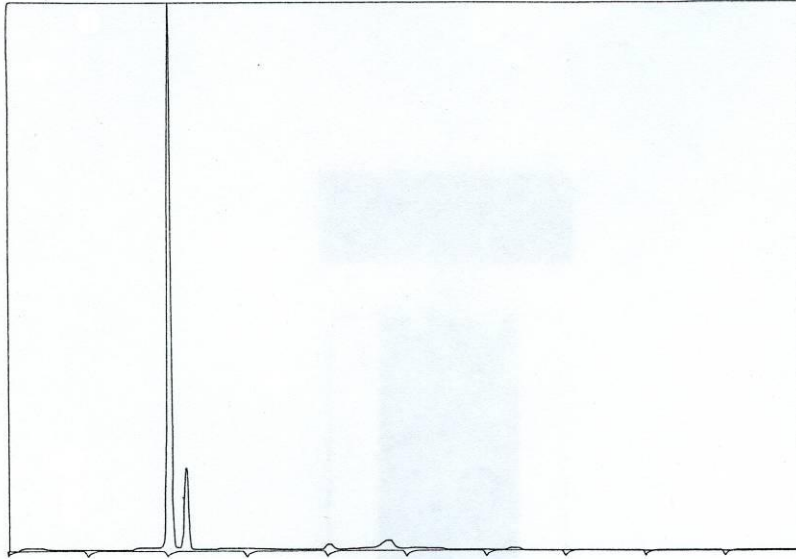
DATE: 28-NOV-96 TIME: 09:28:36
SAMPLE NAME: BRBRONZ1
FE GRS I= 78.9160
CU GRS I= 635.4608
ZN GRS I= 127.7204
AS GRS I= 121.5961
PB GRS I= 121.6311
AG GRS I= 90.9296
SN GRS I= 56.8033
SB GRS I= 45.5548



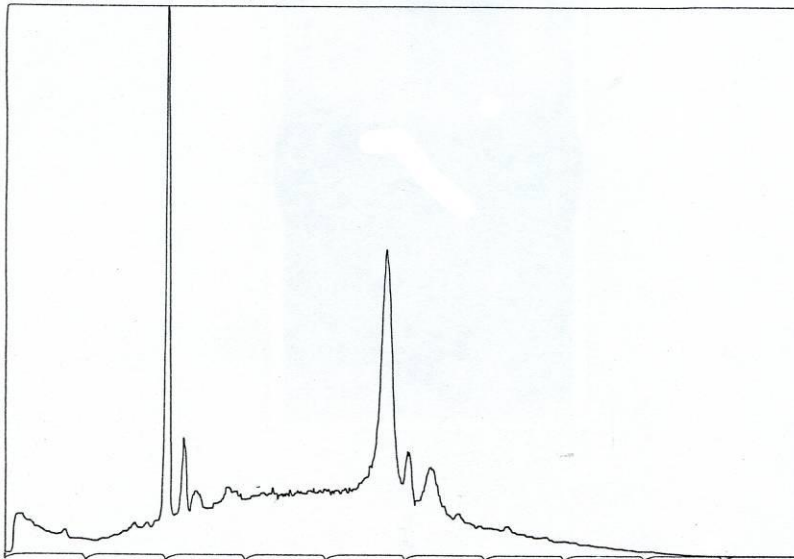
DATE: 28-NOV-96 TIME: 09:47:46
SAMPLE NAME: BRBRONZ2
FE GRS I= 128.8462
CU GRS I= 6855.2358
ZN GRS I= 343.2783
AS GRS I= 202.2584
PB GRS I= 201.6584
AG GRS I= 144.3046
SN GRS I= 146.6893
SB GRS I= 77.3817



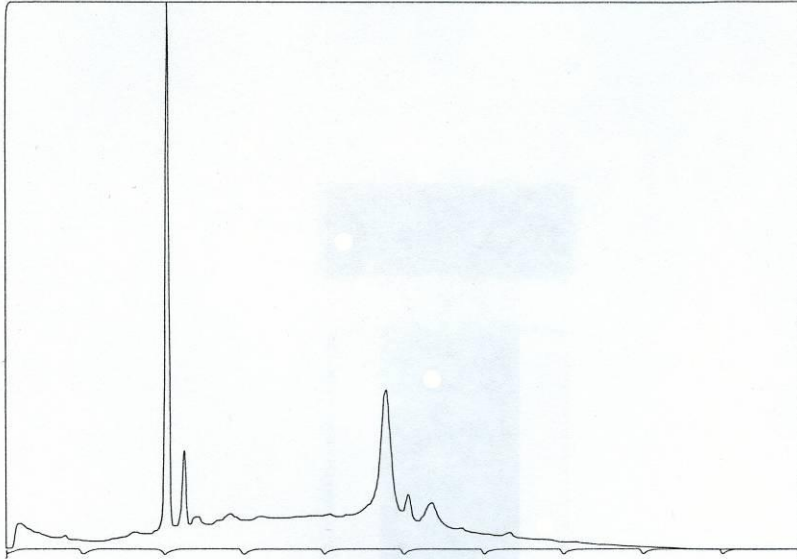
DATE: 02-DEC-86 TIME: 14:19:13
SAMPLE NAME: BBRONZ28
FE GRS I= 53.2119
CU GRS I= 8209.7949
ZN GRS I= 188.4680
AS GRS I= 75.6377
PB GRS I= 75.5015
AG GRS I= 44.0074
SN GRS I= 59.4956
SB GRS I= 28.1854



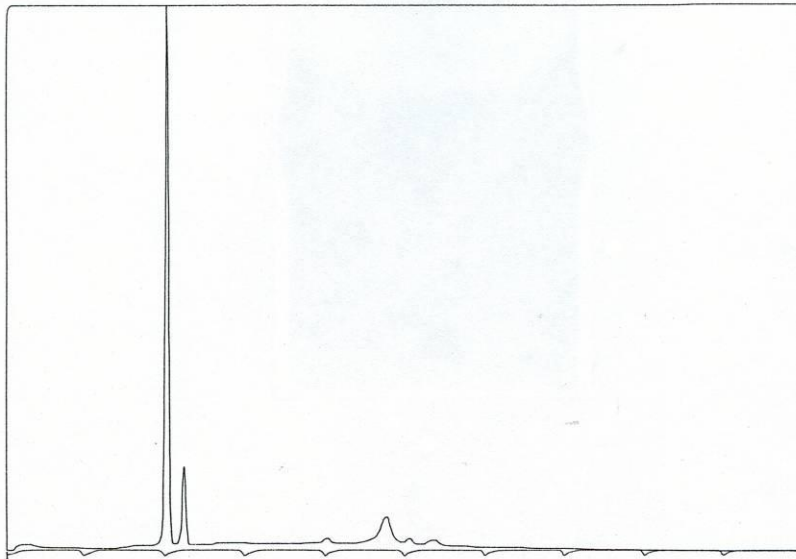
DATE: 02-DEC-86 TIME: 14:23:25
SAMPLE NAME: SBRONZ22C
FE GRS I= 49.0855
CU GRS I= 692.0410
ZN GRS I= 93.6455
AS GRS I= 92.3069
PB GRS I= 88.9636
AG GRS I= 99.9384
SN GRS I= 64.4449
SB GRS I= 47.5051



DATE: 28-NOV-96 TIME: 10:08:26
SAMPLE NAME: BBRONZ3
FE GRS I= 52.3789
CU GRS I= 1276.7075
ZN GRS I= 114.3218
AS GRS I= 103.3431
PB GRS I= 103.5580
AG GRS I= 104.6225
SN GRS I= 73.4015
SB GRS I= 50.4642

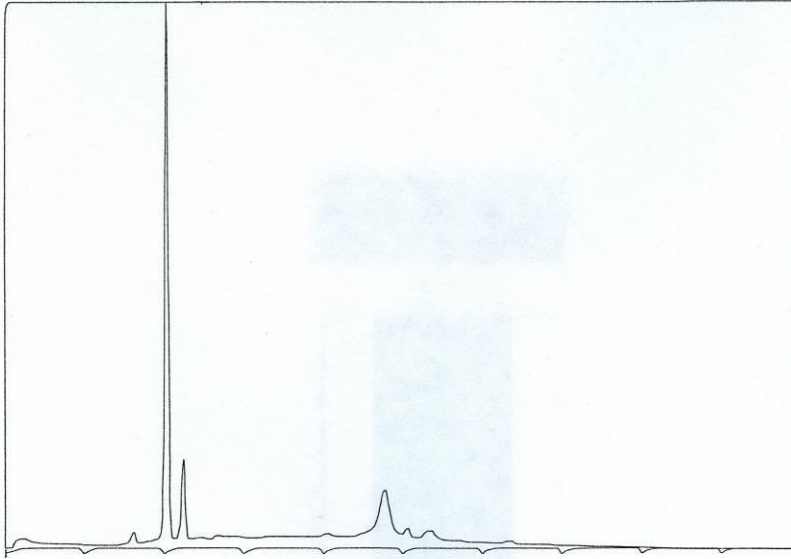


DATE: 28-NOV-96 TIME: 10:26:35
SAMPLE NAME: BBRONZ4
FE GRS I= 102.3342
CU GRS I= 7894.7168
ZN GRS I= 324.4008
AS GRS I= 186.4003
PB GRS I= 185.8104
AG GRS I= 154.3737
SN GRS I= 121.0472
SB GRS I= 80.0768

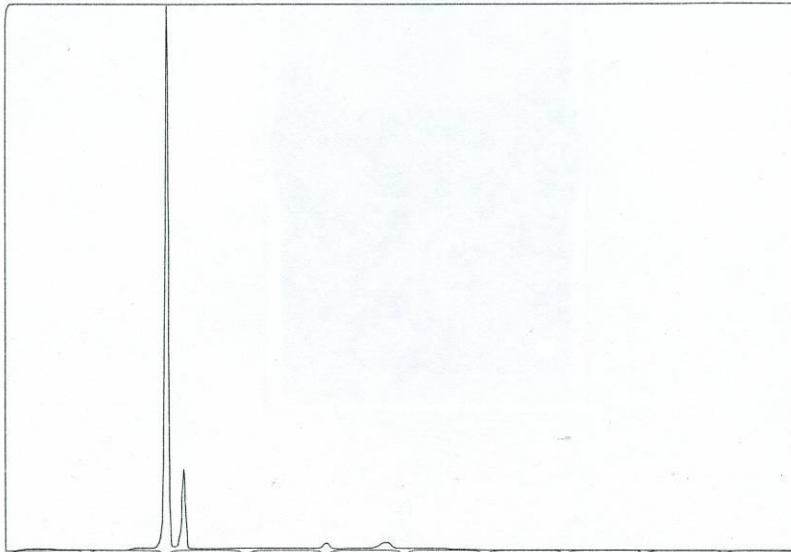


67

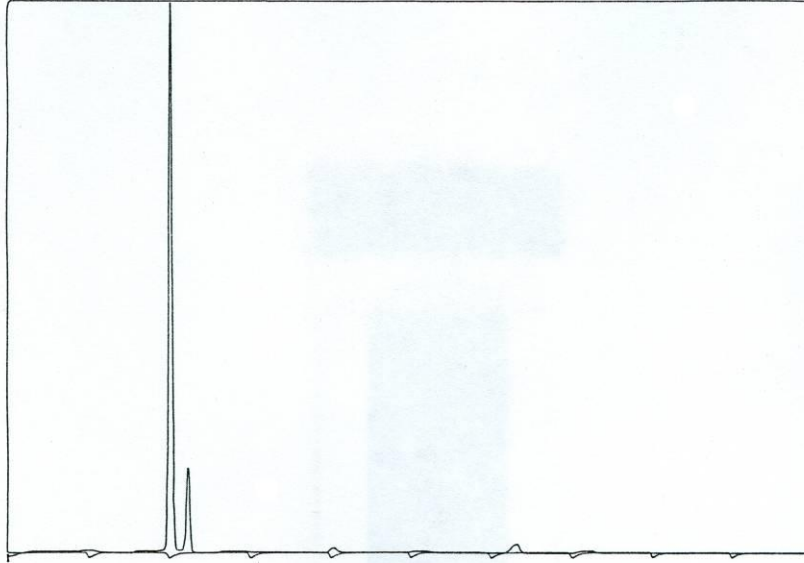
DATE: 29-NOV-86 TIME: 11:06:55
SAMPLE NAME: BBRONZ8
FE GRS I= 100.8788
CU GRS I= 2247.2734
ZN GRS I= 145.8737
AS GRS I= 106.3489
PB GRS I= 106.4007
AG GRS I= 88.7803
SN GRS I= 75.8331
SB GRS I= 47.4025



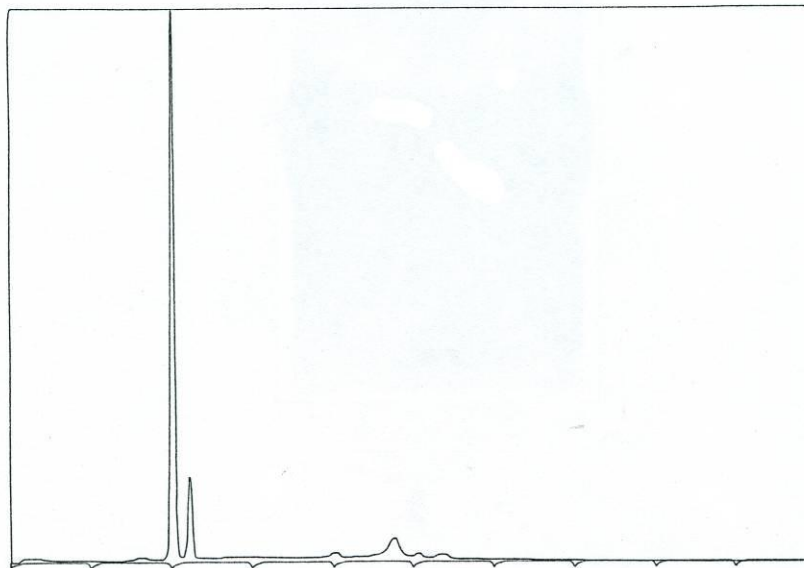
DATE: 27-NOV-86 TIME: 15:04:31
SAMPLE NAME: BBRONZ14
FE GRS I= 55.8887
CU GRS I= 7551.4351
ZN GRS I= 246.2623
AS GRS I= 74.8118
PB GRS I= 74.2866
AG GRS I= 41.1004
SN GRS I= 38.0559
SB GRS I= 25.8921



DATE: 02-DEC-98 TIME: 13:54:17
SAMPLE NAME: 88RON26
FE GRS I= 41.2040
CU GRS I= 6836.5190
ZN GRS I= 178.8740
AS GRS I= 39.8454
PB GRS I= 38.5582
AG GRS I= 14.1098
SN GRS I= 179.0708
SB GRS I= 11.4960

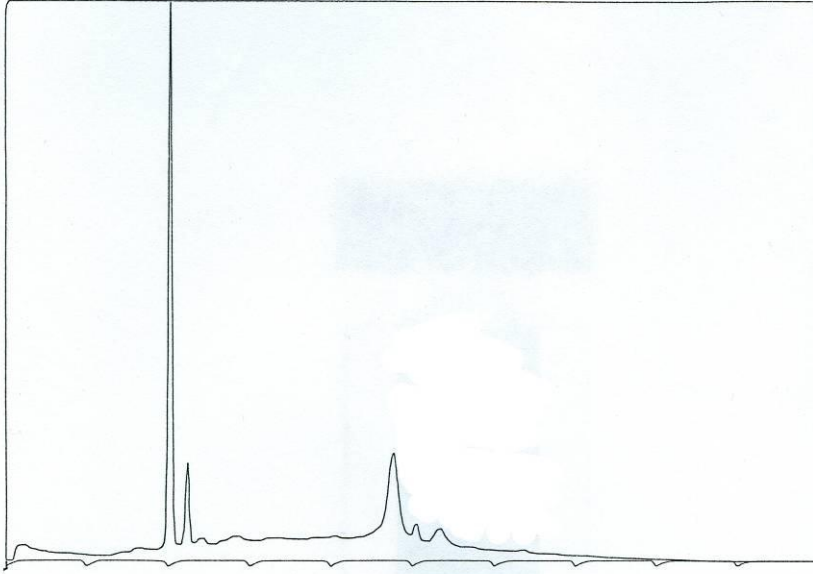


DATE: 02-DEC-98 TIME: 15:12:48
SAMPLE NAME: 88RON29
FE GRS I= 50.3208
CU GRS I= 5365.7728
ZN GRS I= 198.9286
AS GRS I= 80.0817
PB GRS I= 89.4157
AG GRS I= 72.2193
SN GRS I= 55.2152
SB GRS I= 41.5557

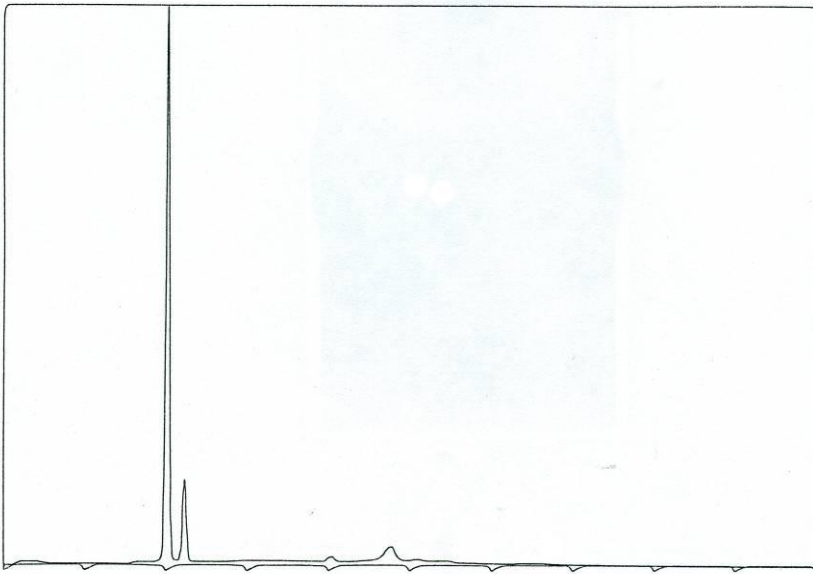


69

DATE: 28-NOV-96 TIME: 12:04:12
SAMPLE NAME: BBRONZ14
FE GRS I= 33.2283
CU GRS I= 1708.1622
ZN GRS I= 121.3720
AS GRS I= 98.7644
PB GRS I= 99.6534
AG GRS I= 94.4789
SN GRS I= 69.6626
SB GRS I= 48.1948

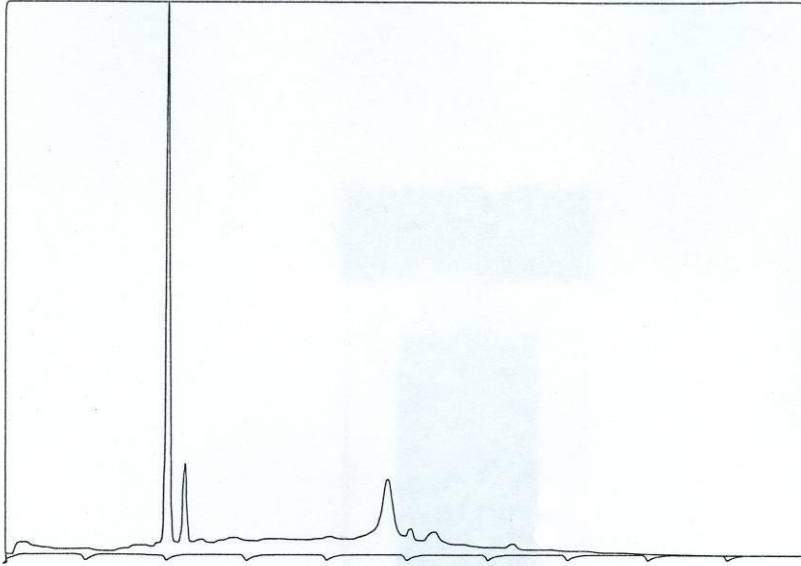


DATE: 28-NOV-96 TIME: 12:47:59
SAMPLE NAME: BBRONZ16
FE GRS I= 50.4891
CU GRS I= 5889.8032
ZN GRS I= 207.1507
AS GRS I= 83.0152
PB GRS I= 83.0152
AG GRS I= 63.6875
SN GRS I= 63.3326
SB GRS I= 37.3456

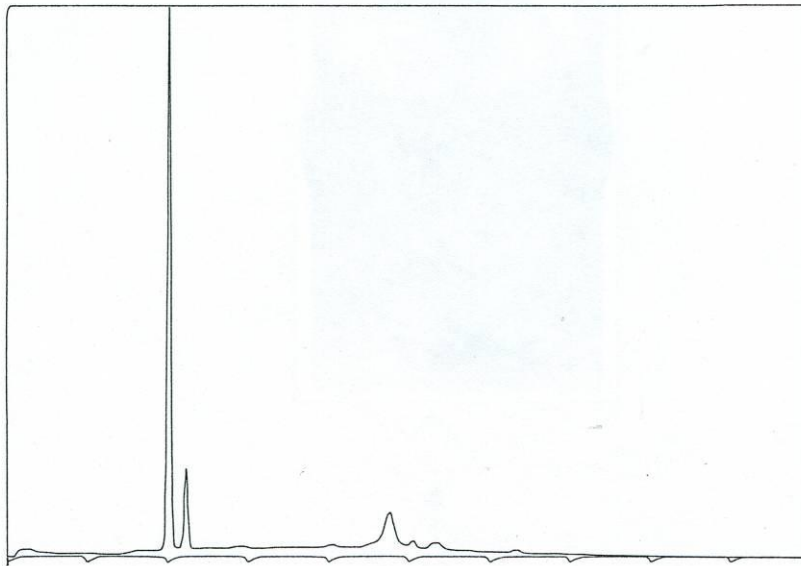


70 20

DATE: 28-NOV-96 TIME: 12:59:36
SAMPLE NAME: BBRONZ17
FE GRS I= 58.0240
CU GRS I= 2299.4832
ZN GRS I= 137.4059
AS GRS I= 98.2199
PB GRS I= 59.1199
AG GRS I= 99.3504
SN GRS I= 95.0012
SB GRS I= 48.9400

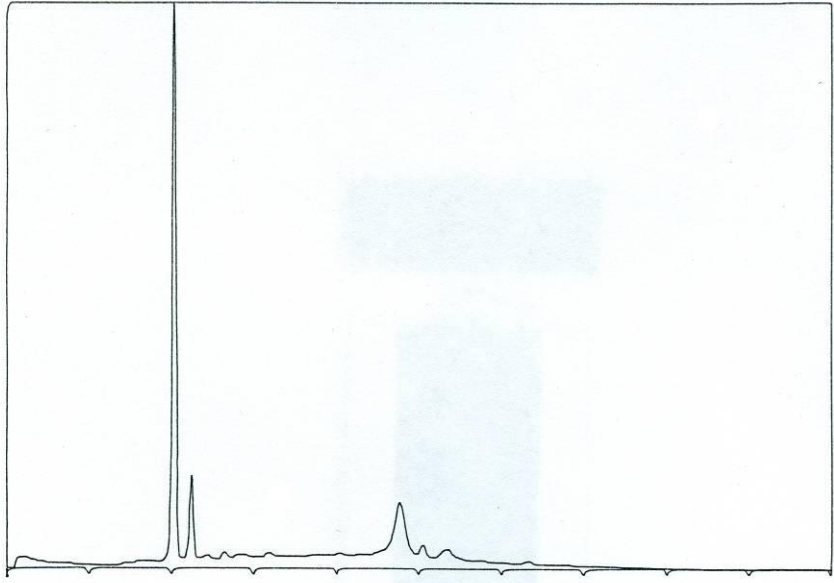


DATE: 28-NOV-96 TIME: 12:31:45
SAMPLE NAME: BBRONZ19
FE GRS I= 49.0443
CU GRS I= 3148.5432
ZN GRS I= 153.8121
AS GRS I= 78.0708
PB GRS I= 78.1459
AG GRS I= 80.2457
SN GRS I= 77.2710
SB GRS I= 43.7149

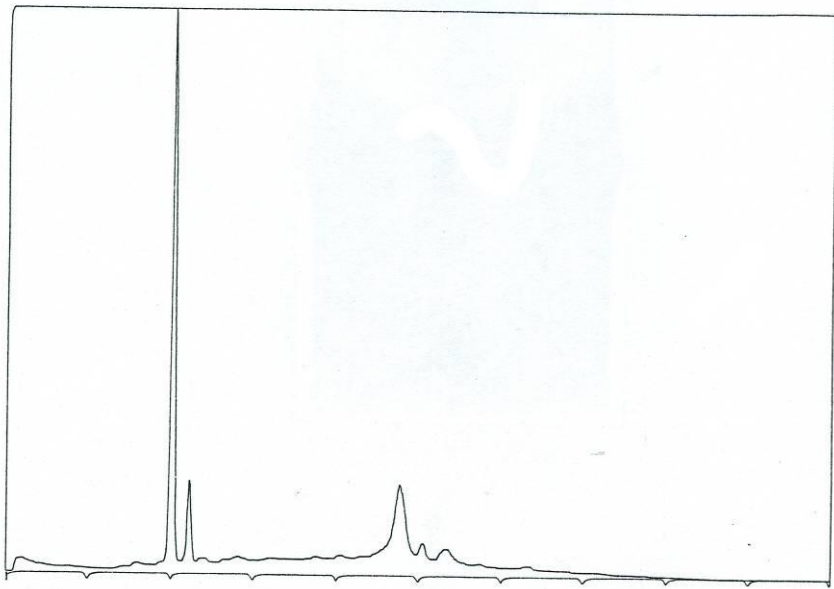


71

DATE: 02-DEC-86 TIME: 10:10:54
SAMPLE NAME: 8BRONZ18
FE GRS I= 48.8845
CU GRS I= 2470.3285
ZN GRS I= 115.8555
AS GRS I= 103.0455
PB GRS I= 103.2580
AG GRS I= 87.0036
SN GRS I= 66.1121
SB GRS I= 43.3108

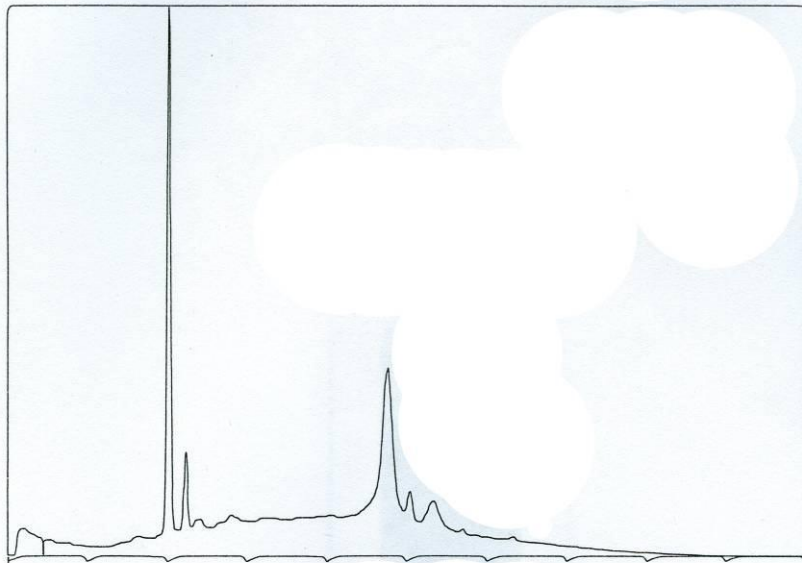


DATE: 02-DEC-86 TIME: 10:22:07
SAMPLE NAME: 8BRONZ22
FE GRS I= 58.4154
CU GRS I= 2249.3449
ZN GRS I= 125.0833
AS GRS I= 89.1826
PB GRS I= 88.1870
AG GRS I= 110.2507
SN GRS I= 84.3654
SB GRS I= 59.2692

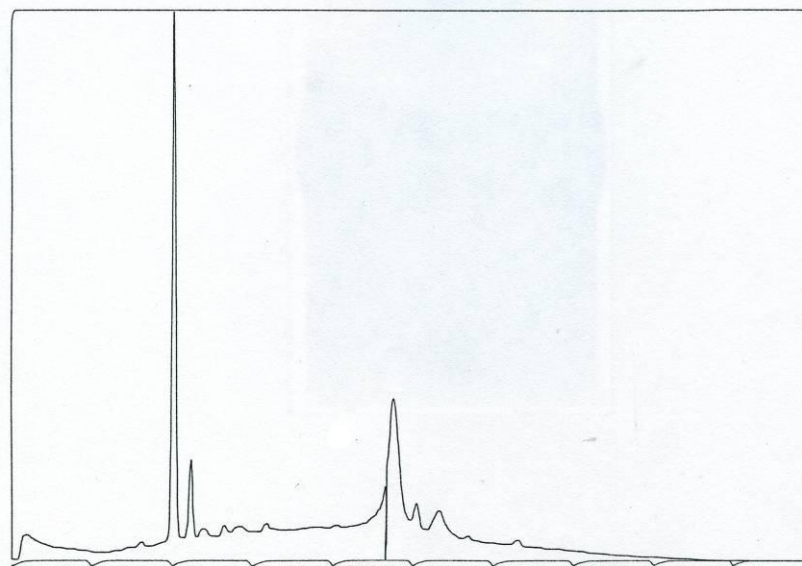


72

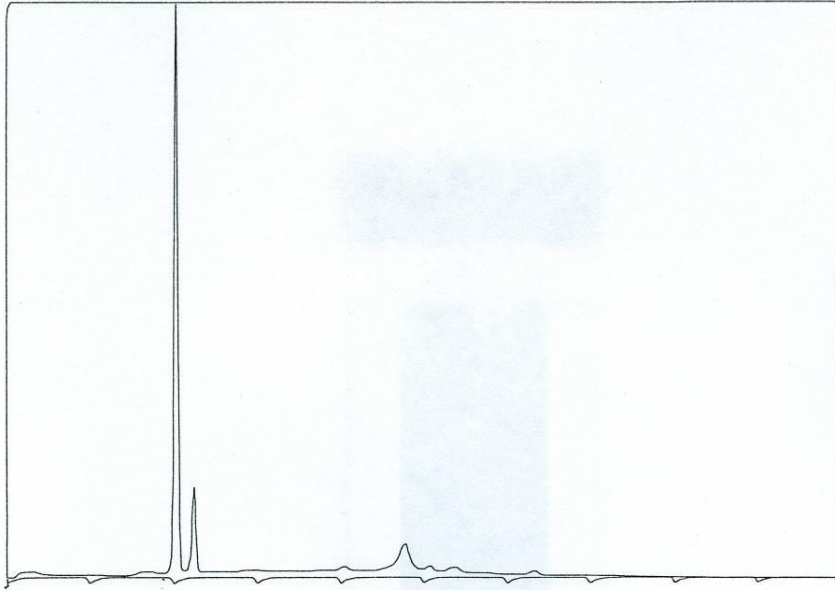
DATE: 28-NOV-96 TIME: 12:20:08
SAMPLE NAME: BBRONZ21
FE GRS I = 53.0839
CU GRS I = 1120.1908
ZN GRS I = 105.8628
AS GRS I = 103.7030
PB GRS I = 103.4830
AG GRS I = 107.2526
SN GRS I = 70.4218
SB GRS I = 52.6939



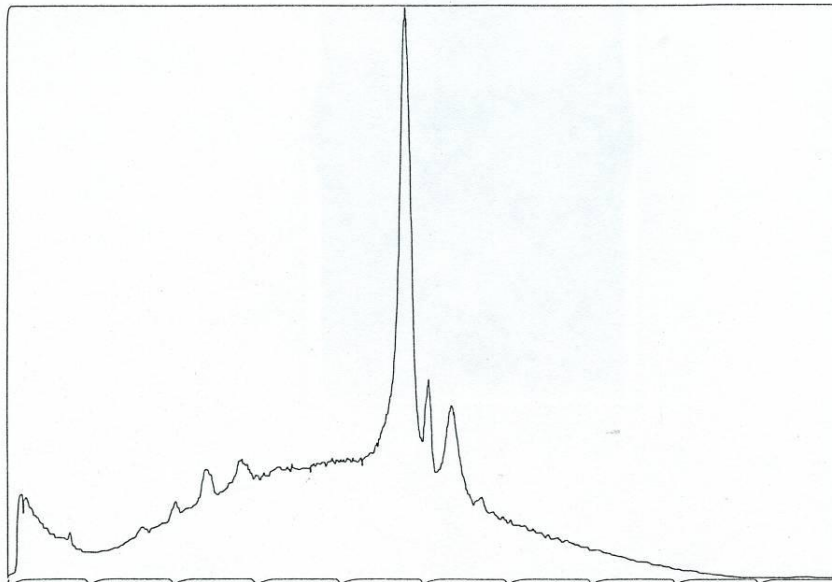
DATE: 28-NOV-96 TIME: 11:51:34
SAMPLE NAME: BBRONZ33
FE GRS I = 88.3835
CU GRS I = 1284.4313
ZN GRS I = 114.9322
AS GRS I = 123.3062
PB GRS I = 123.8562
AG GRS I = 115.6672
SN GRS I = 86.1054
SB GRS I = 59.6484



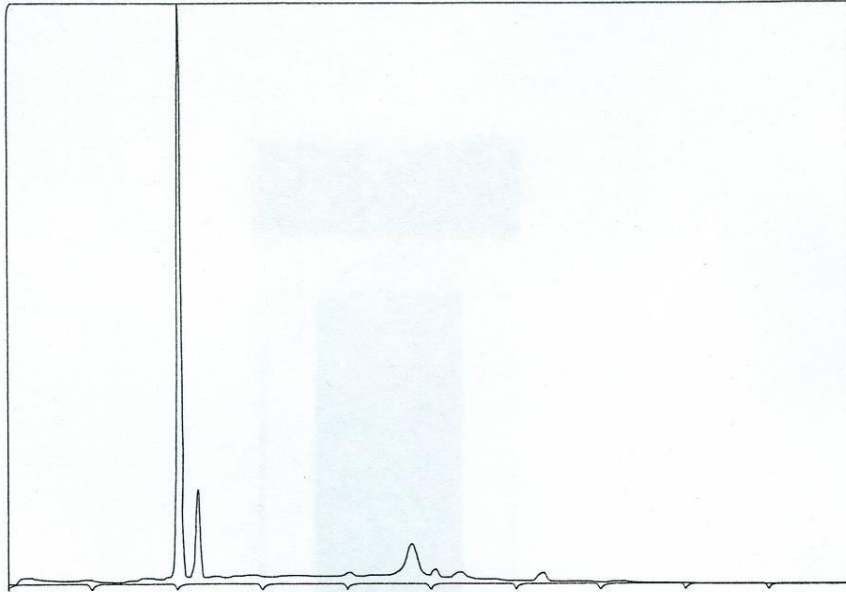
DATE: 28-NOV-96 TIME: 11:32:37
SAMPLE NAME: BBRONZ24
FE GRS I= 62.8473
CU GRS I= 4255.8135
ZN GRS I= 176.8634
AS GRS I= 76.8906
PB GRS I= 76.7156
AG GRS I= 78.0404
SN GRS I= 87.9230
SB GRS I= 42.7698



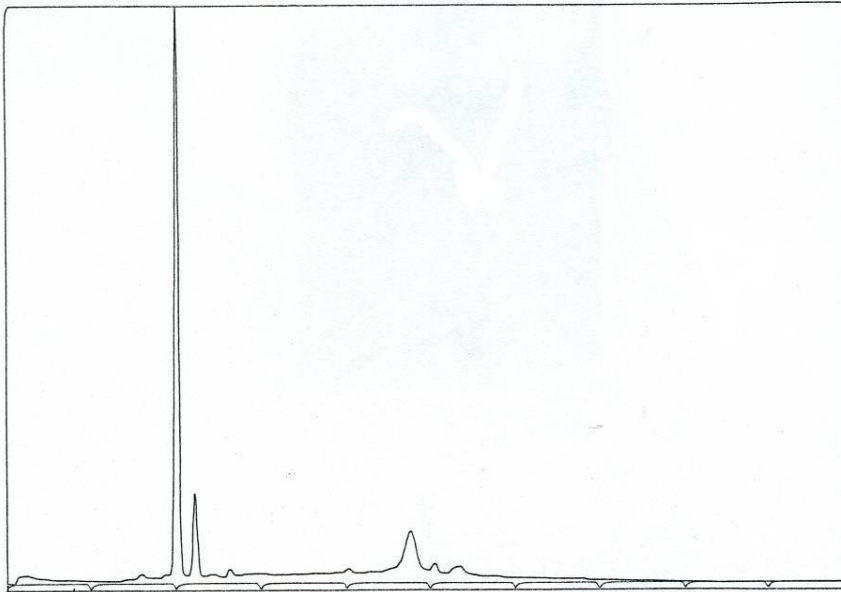
DATE: 28-NOV-96 TIME: 11:18:57
SAMPLE NAME: BBRONZ24
FE GRS I= 54.3050
CU GRS I= 77.6864
ZN GRS I= 85.1708
AS GRS I= 113.1675
PB GRS I= 113.6825
AG GRS I= 125.0462
SN GRS I= 74.1668
SB GRS I= 62.2631



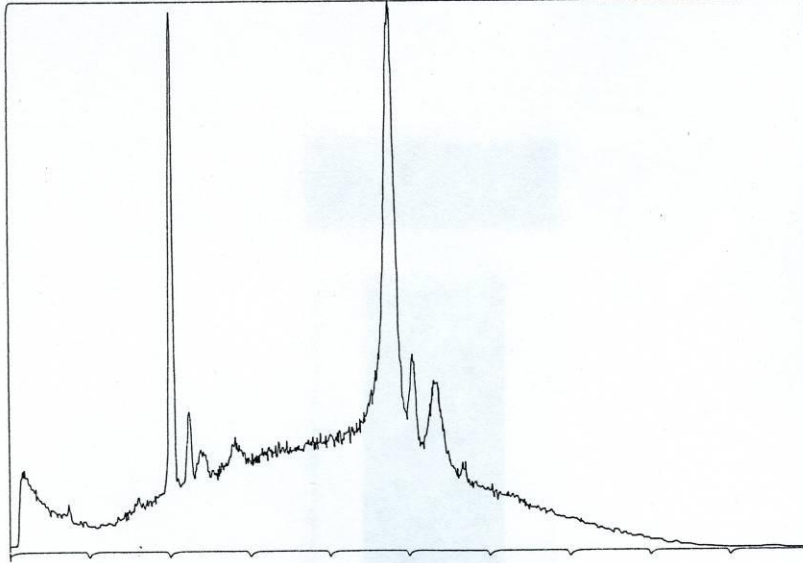
DATE: 02-DEC-86 TIME: 10:53:03
SAMPLE NAME: BBRNZ27
FE GRG 1= 47.8247
CU GRG 1= 3445.8079
ZN GRG 1= 122.8864
AS GRG 1= 79.8449
PB GRG 1= 79.8819
AG GRG 1= 88.5621
SN GRG 1= 118.2018
SB GRG 1= 38.8797



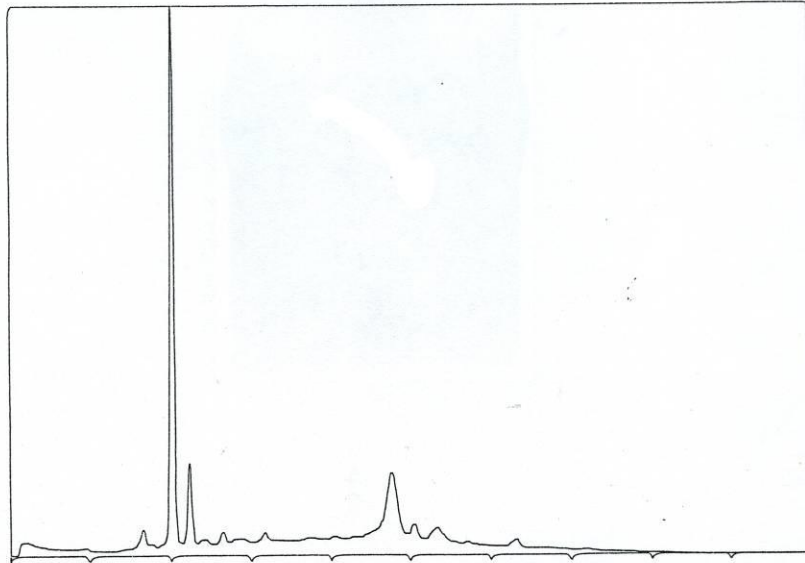
DATE: 02-DEC-86 TIME: 10:42:57
SAMPLE NAME: BBRNZ23
FE GRG 1= 69.0331
CU GRG 1= 2435.0151
ZN GRG 1= 144.8840
AS GRG 1= 120.3412
PB GRG 1= 120.3274
AG GRG 1= 100.4058
SN GRG 1= 61.8074
SB GRG 1= 53.7245



DATE: 02-DEC-88 TIME: 11:34:01
SAMPLE NAME: BSR0234
FE GRS I= 52.7898
CU GRS I= 440.8848
ZN GRS I= 80.3888
AS GRS I= 103.1335
PB GRS I= 103.3055
AG GRS I= 128.6558
SN GRS I= 82.9350
SB GRS I= 55.5163

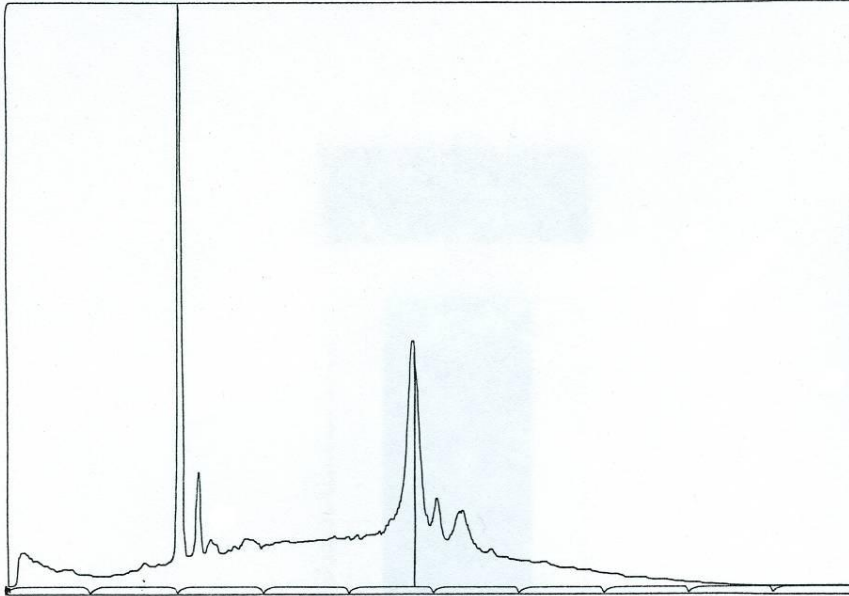


DATE: 02-DEC-88 TIME: 11:18:14
SAMPLE NAME: BSR0233
FE GRS I= 62.6580
CU GRS I= 2154.0232
ZN GRS I= 120.7503
AS GRS I= 125.8642
PB GRS I= 126.1511
AG GRS I= 105.0344
SN GRS I= 104.4732
SB GRS I= 57.2133

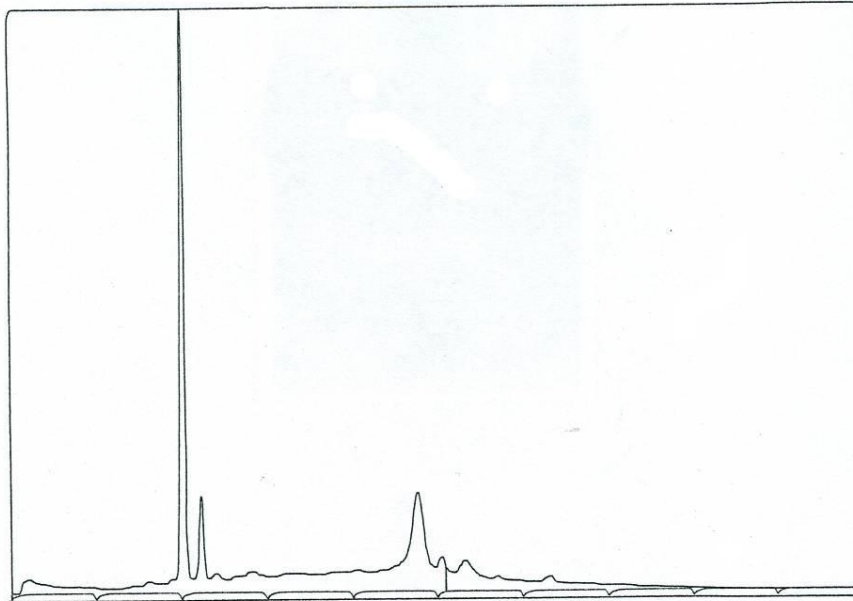


76

DATE: 02-DEC-06 TIME: 12:01:39
SAMPLE NAME: BBRONZ38
FE GRS I= 53.5051
CU GRS I= 993.2578
ZN GRS I= 102.8140
AS GRS I= 103.8230
PB GRS I= 103.8850
AG GRS I= 126.5211
SN GRS I= 82.4893
SB GRS I= 68.6615

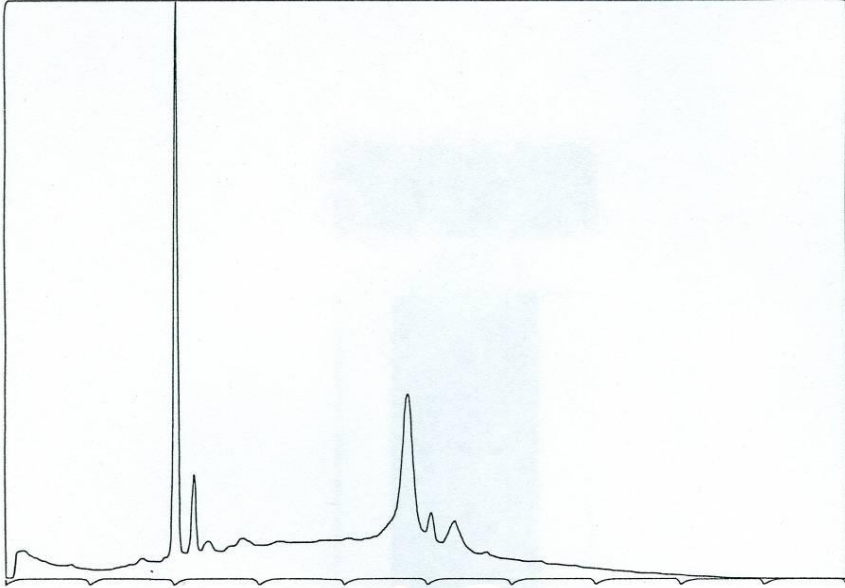


DATE: 02-DEC-06 TIME: 11:48:38
SAMPLE NAME: BBRONZ37
FE GRS I= 52.9023
CU GRS I= 2097.5764
ZN GRS I= 123.1688
AS GRS I= 90.8504
PB GRS I= 90.7507
AG GRS I= 104.8588
SN GRS I= 93.5219
SB GRS I= 54.1508

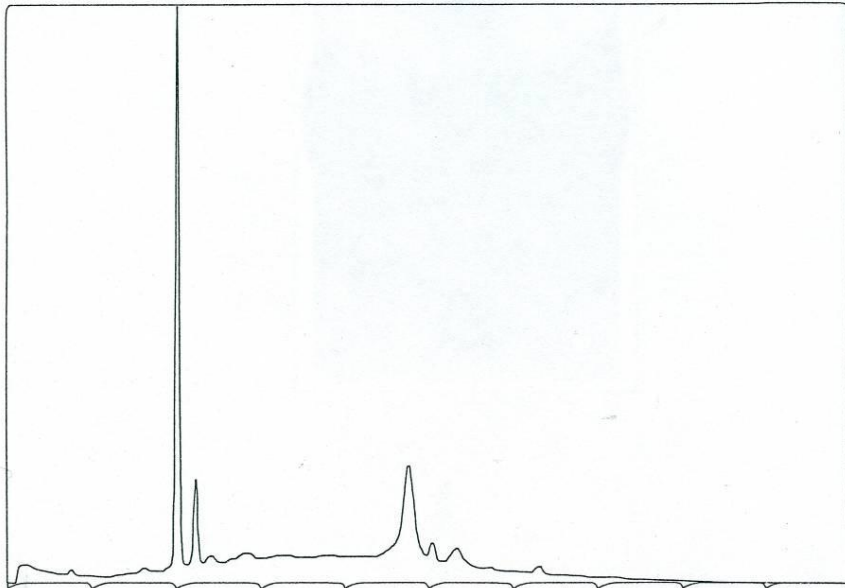


77

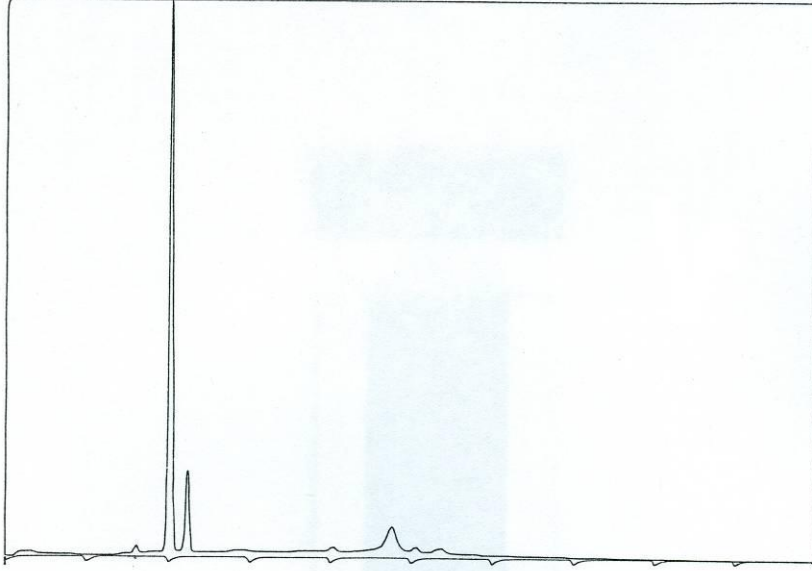
DATE: 28-NOV-96 TIME: 13:32:03
SAMPLE NAME: BBRONZ38
FE GRS I= 56.2687
CU GRS I= 1190.6367
ZN GRS I= 115.4871
AS GRS I= 104.8533
PB GRS I= 105.1182
AG GRS I= 113.3473
SN GRS I= 74.7066
SB GRS I= 58.2985



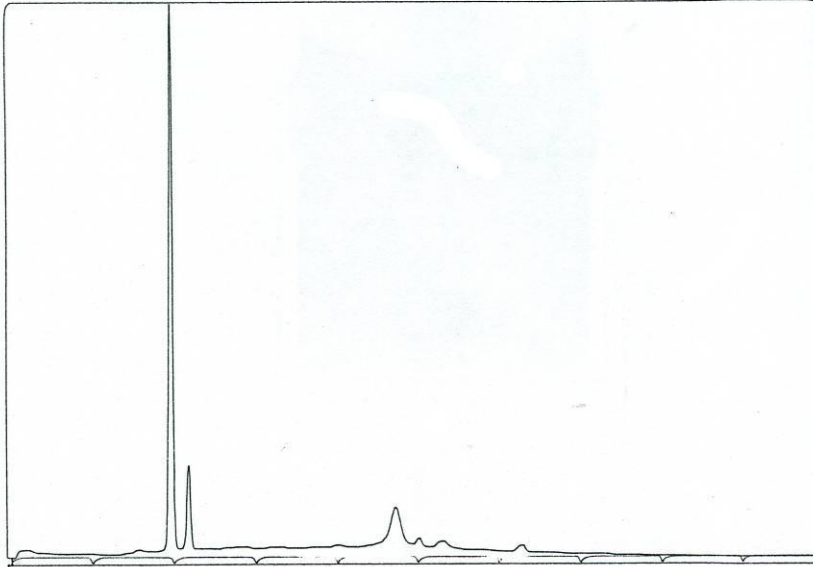
DATE: 28-NOV-96 TIME: 13:20:07
SAMPLE NAME: BBRONZ47
FE GRS I= 31.6717
CU GRS I= 915.0883
ZN GRS I= 70.3876
AS GRS I= 61.2835
PB GRS I= 61.3385
AG GRS I= 53.3543
SN GRS I= 47.5850
SB GRS I= 26.0672



DATE: 02-DEC-98 TIME: 12:38:15
SAMPLE NAME: BBRONZ50
FE GRS I= 109.1760
CU GRS I= 4631.7868
ZN GRS I= 182.1920
AS GRS I= 77.5726
PB GRS I= 77.6414
AG GRS I= 80.8244
SN GRS I= 48.6387
SB GRS I= 42.3773

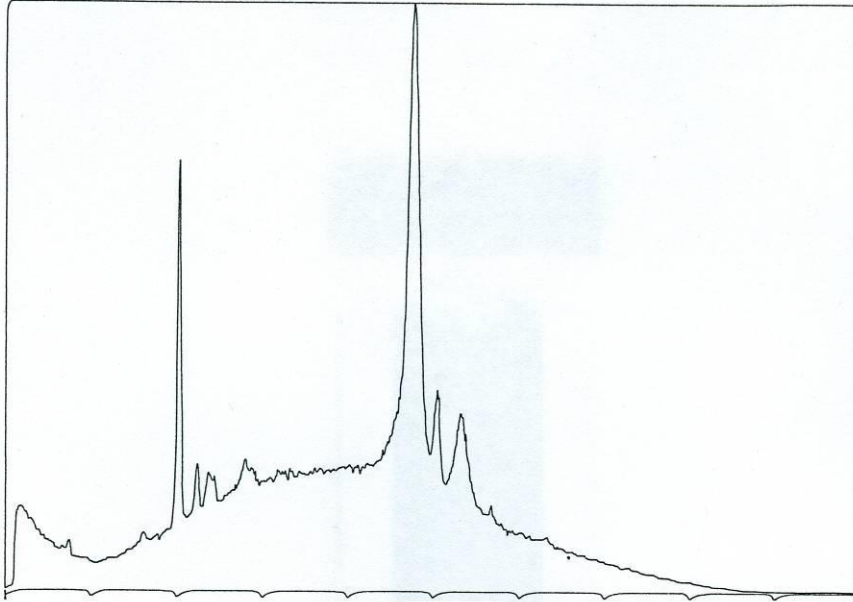


DATE: 02-DEC-98 TIME: 12:16:20
SAMPLE NAME: BBRONZ41
FE GRS I= 54.7851
CU GRS I= 2784.6682
ZN GRS I= 123.3084
AS GRS I= 62.7113
PB GRS I= 83.0788
AG GRS I= 81.6438
SN GRS I= 108.2388
SB GRS I= 44.8908

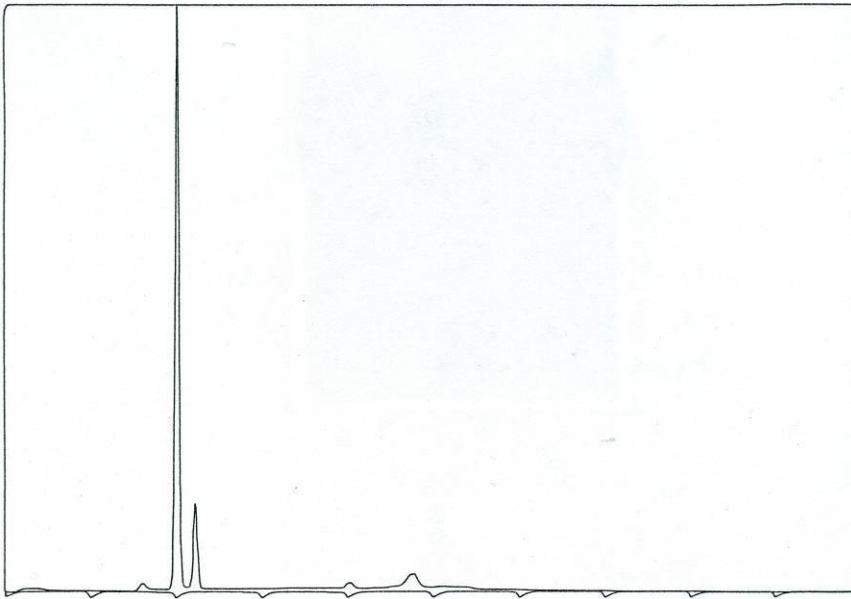


79

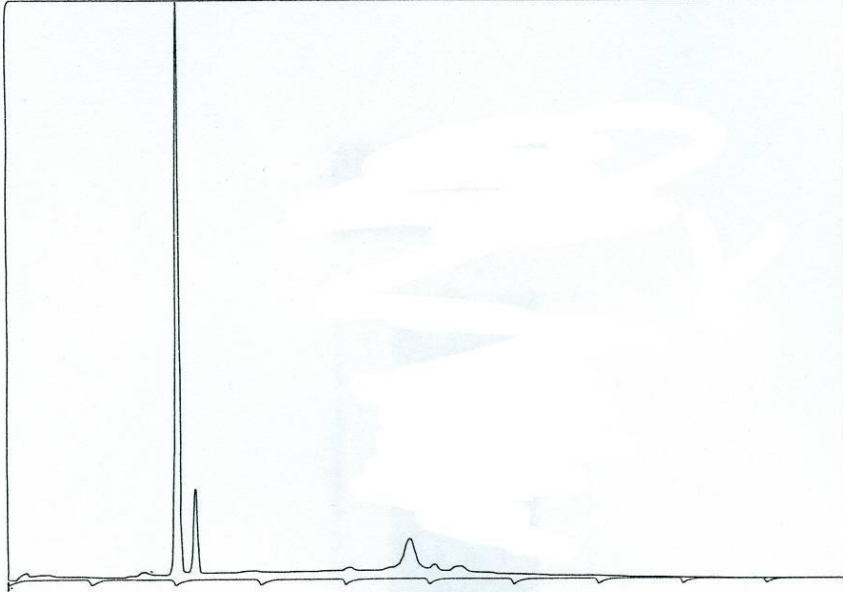
DATE: 28-NOV-96 TIME: 13:10:23
SAMPLE NAME: BBRONZ48
FE GRS I= 47.8548
CU GRS I= 200.8545
ZN GRS I= 79.9163
AS GRS I= 98.3593
PB GRS I= 99.1092
AG GRS I= 104.1587
SN GRS I= 65.9378
SE GRS I= 50.7345



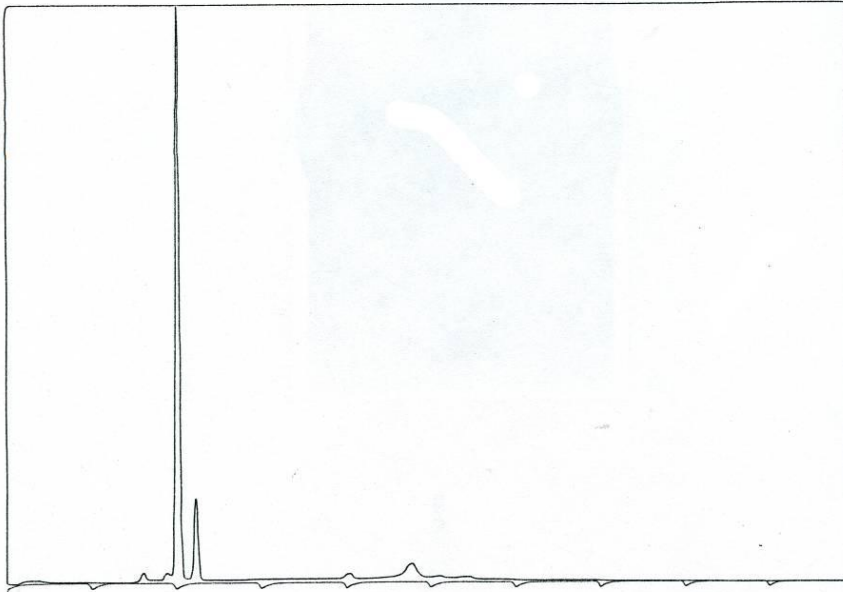
DATE: 28-NOV-96 TIME: 13:46:36
SAMPLE NAME: BBRONZ52
FE GRS I= 120.6316
CU GRS I= 6371.8047
ZN GRS I= 219.9455
AS GRS I= 61.8481
PB GRS I= 62.2531
AG GRS I= 65.6127
SN GRS I= 41.2404
SE GRS I= 37.7808



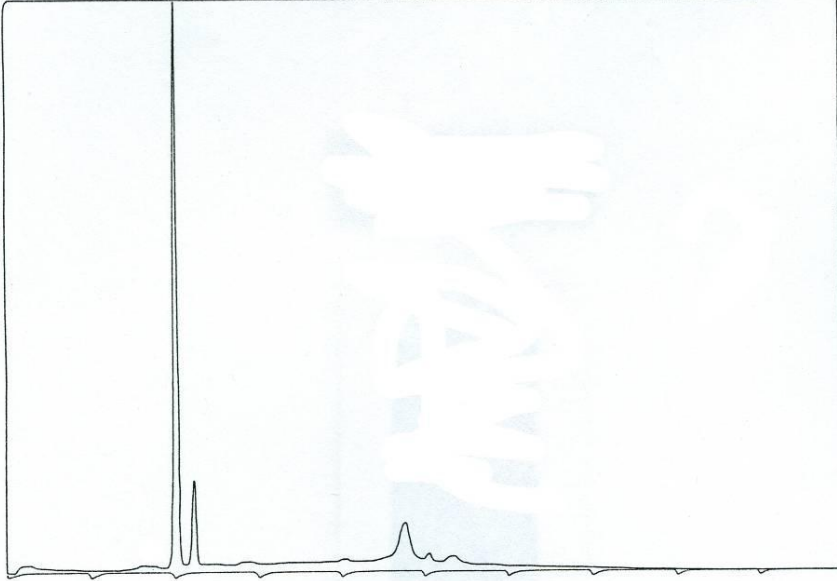
DATE: 02-DEC-96 TIME: 12:56:07
SAMPLE NAME: BBRONZ53
FE GRS I= 70.8833
CU GRS I= 4054.8135
ZN GRS I= 166.8082
AS GRS I= 87.1858
PB GRS I= 88.4511
AG GRS I= 87.0872
SN GRS I= 58.5837
SB GRS I= 52.2788



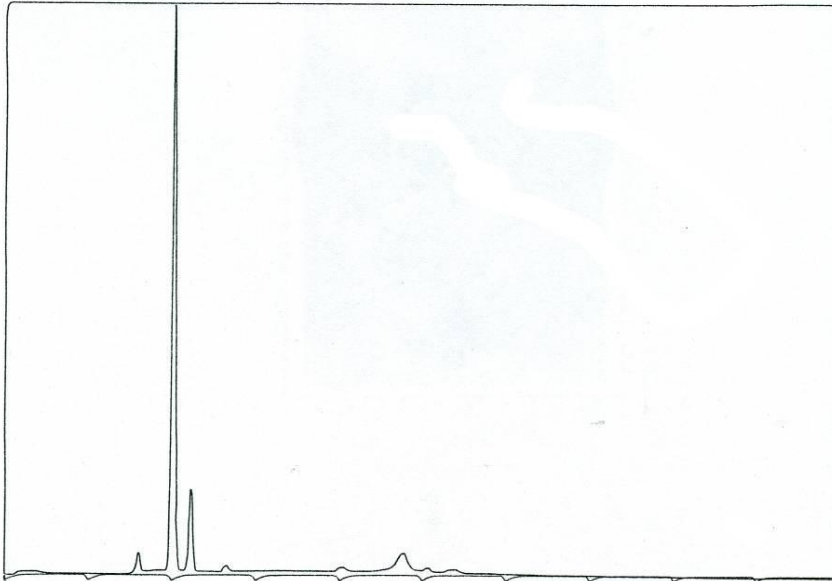
DATE: 02-DEC-96 TIME: 12:47:07
SAMPLE NAME: BBRONZ51
FE GRS I= 142.1173
CU GRS I= 6189.2517
ZN GRS I= 155.3246
AS GRS I= 82.3738
PB GRS I= 83.4207
AG GRS I= 89.7544
SN GRS I= 44.8830
SB GRS I= 37.9821



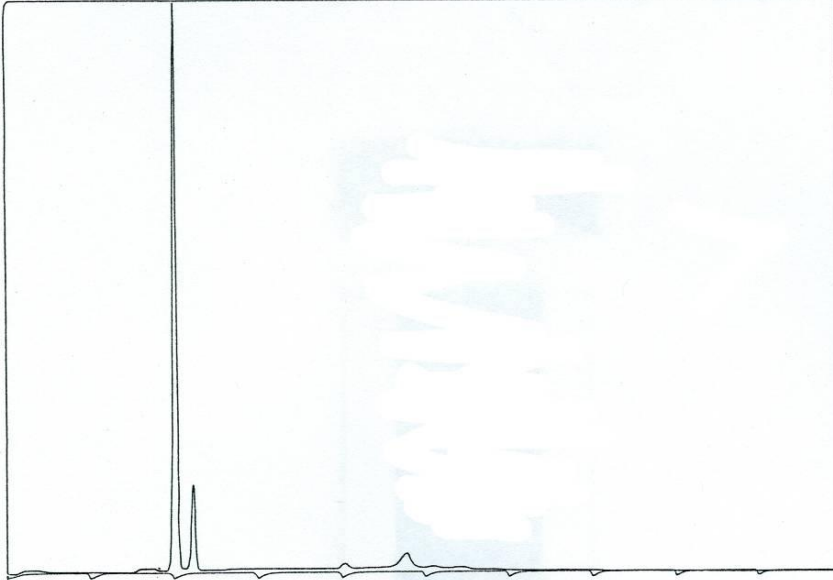
DATE: 02-DEC-86 TIME: 13:18:32
SAMPLE NAME: BBRONZ55
FE GRS I= 63.4052
CU GRS I= 3557.3759
ZN GRS I= 172.2943
AS GRS I= 78.7702
PB GRS I= 79.3537
AG GRS I= 83.8438
SN GRS I= 56.5540
SB GRS I= 50.7482



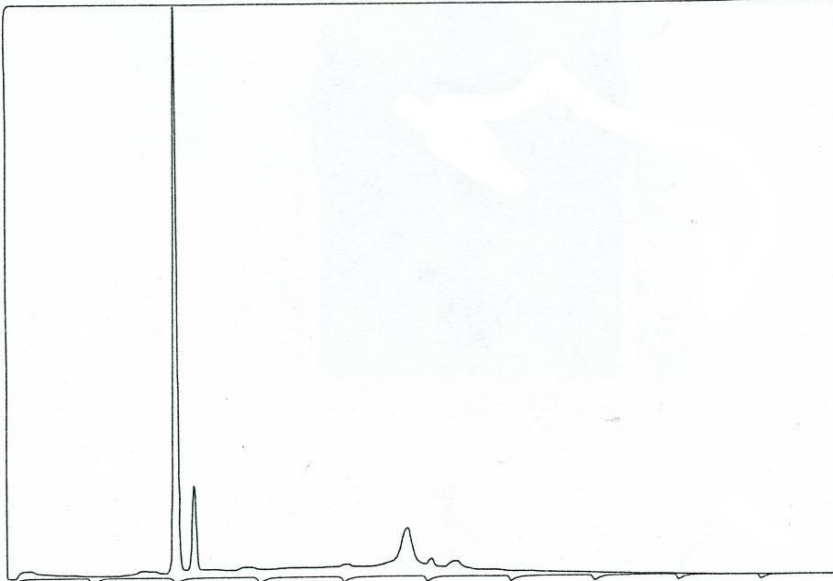
DATE: 02-DEC-86 TIME: 13:07:54
SAMPLE NAME: BBRONZ04
FE GRS I= 226.2803
CU GRS I= 3315.6104
ZN GRS I= 155.5939
AS GRS I= 141.3072
PB GRS I= 139.6008
AG GRS I= 73.5757
SN GRS I= 44.4681
SB GRS I= 41.0853



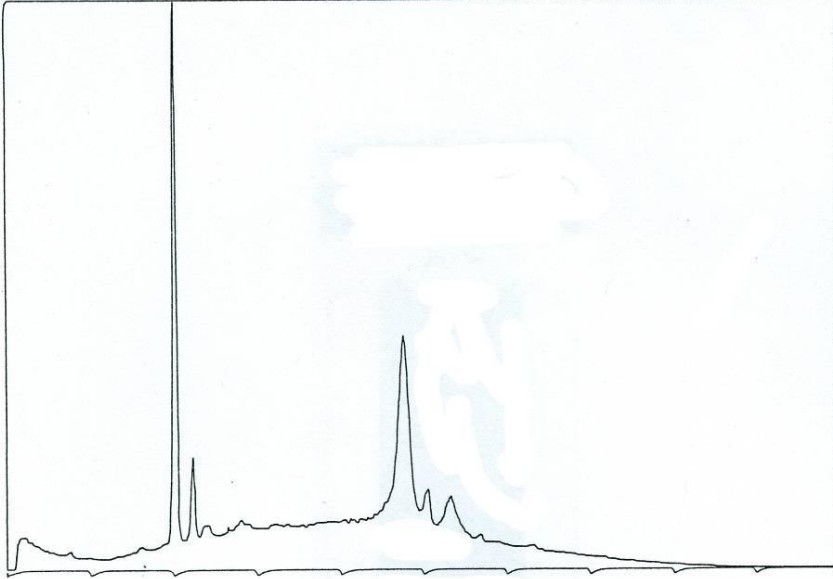
DATE: 02-DEC-86 TIME: 13:29:42
SAMPLE NAME: BBRONZ56
FE GRS I= 70.4718
CU GRS I= 6183.4028
ZN GRS I= 213.7854
AS GRS I= 84.0990
PB GRS I= 83.7123
AG GRS I= 71.6793
SN GRS I= 44.1753
SB GRS I= 37.5562



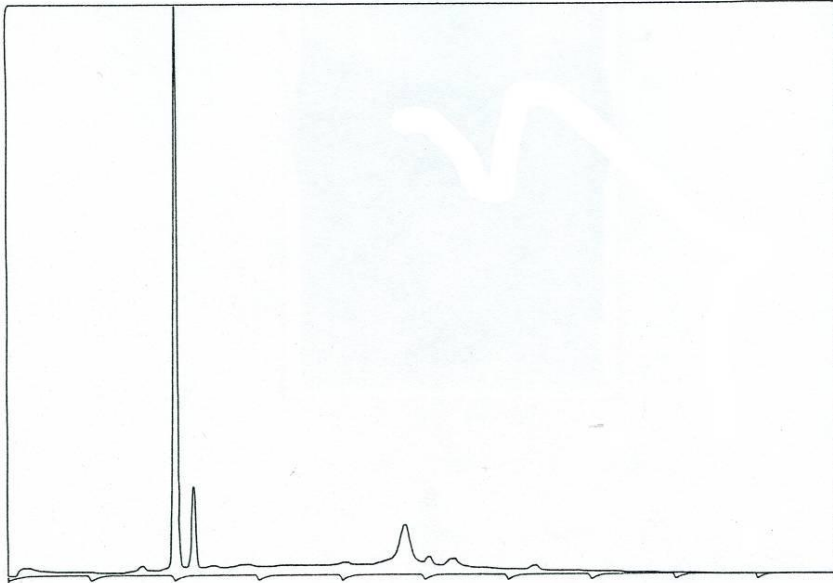
DATE: 02-DEC-86 TIME: 13:19:32
SAMPLE NAME: BBRONZ55
FE GRS I= 63.4052
CU GRS I= 3567.3750
ZN GRS I= 172.2043
AS GRS I= 78.7702
PB GRS I= 78.3537
AG GRS I= 93.8436
SN GRS I= 58.5540
SB GRS I= 50.7492



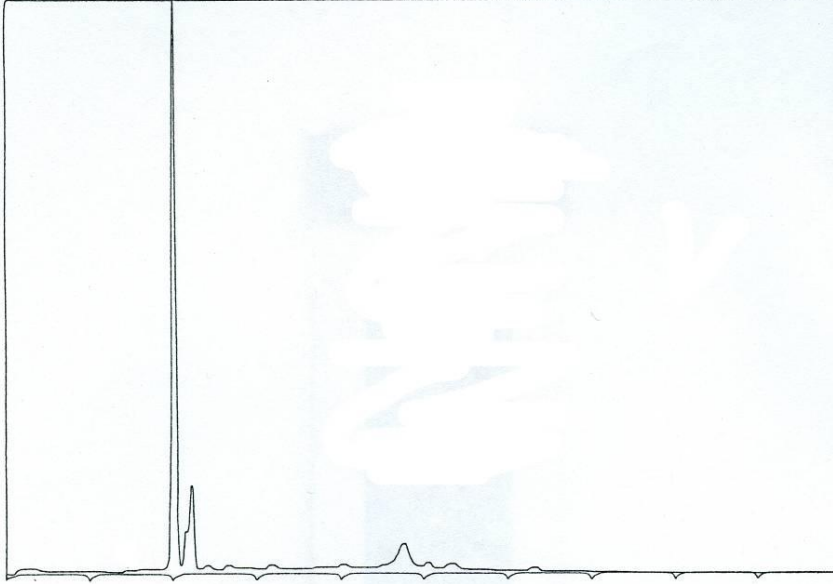
DATE: 02-DEC-88 TIME: 13:37:52
SAMPLE NAME: BBRONZ58
FE GRS I= 44.7807
CU GRS I= 840.3610
ZN GRS I= 92.1323
AS GRS I= 88.8914
PB GRS I= 88.8902
AG GRS I= 88.7350
SN GRS I= 64.7232
SB GRS I= 50.6698



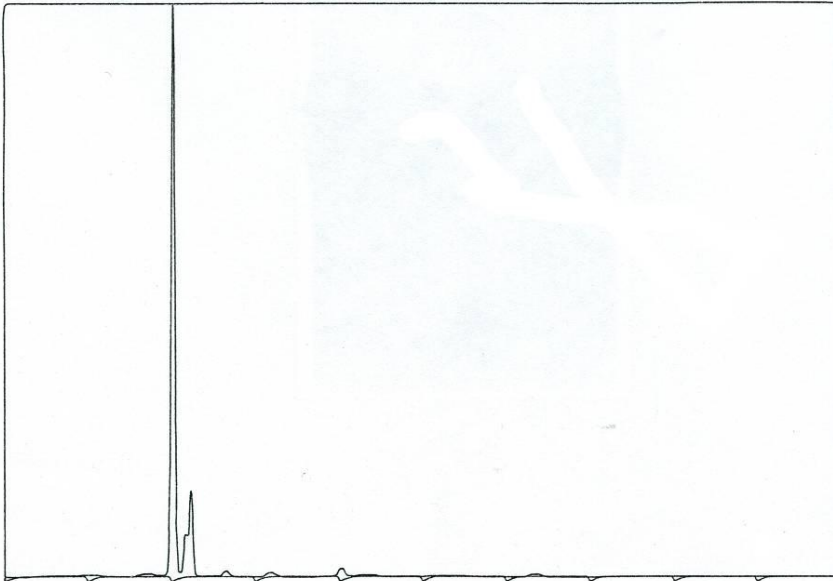
DATE: 02-DEC-88 TIME: 13:45:33
SAMPLE NAME: BBRONZ58
FE GRS I= 73.8043
CU GRS I= 3210.9270
ZN GRS I= 154.5887
AS GRS I= 83.0570
PB GRS I= 82.8387
AG GRS I= 88.5268
SN GRS I= 84.9807
SB GRS I= 48.4744



DATE: 02-DEC-86 TIME: 14:57:41
SAMPLE NAME: BBRONZ62
FE GRS I= 51.0193
CU GRS I= 4366.0659
ZN GRS I= 473.6453
AS GRS I= 100.8944
PB GRS I= 100.5036
AG GRS I= 73.6862
SN GRS I= 66.7859
SB GRS I= 42.0044



DATE: 02-DEC-86 TIME: 14:06:12
SAMPLE NAME: BBRONZ60
FE GRS I= 81.2623
CU GRS I=10484.2350
ZN GRS I= 1040.5230
AS GRS I= 154.9752
PB GRS I= 154.2971
AG GRS I= 8.8055
SN GRS I= 99.4061
SB GRS I= 6.2136





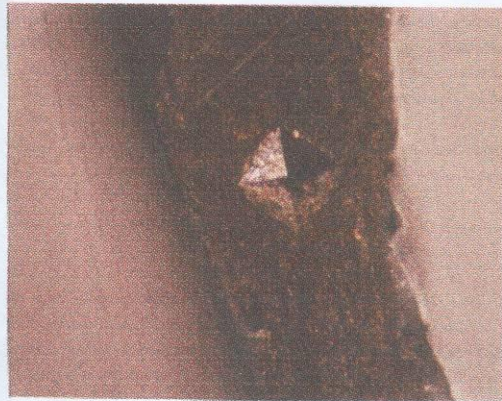
2a



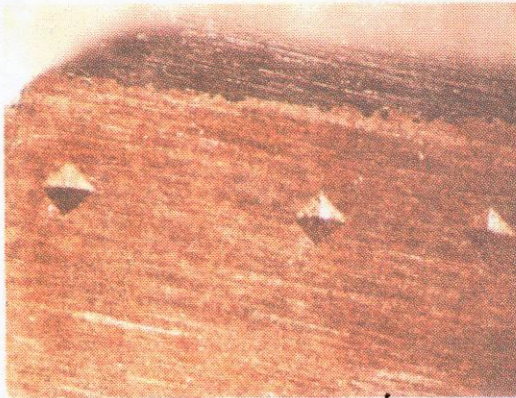
2c



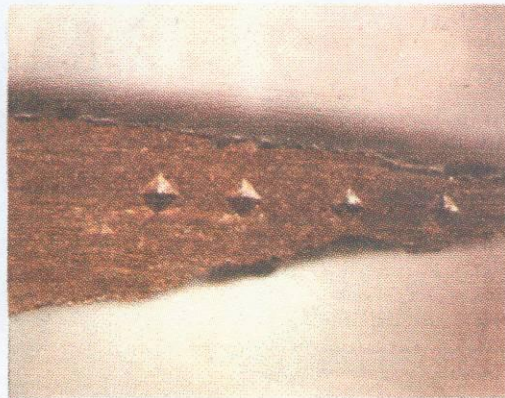
2c hát



2c él



2c hát



2c él

86



9a hát



9a él

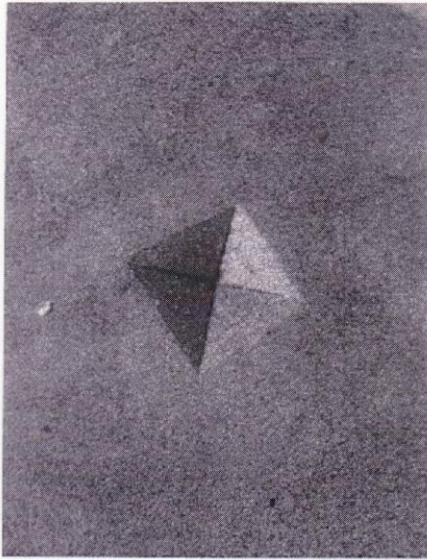


16b



19

87



52



61 hát



62 él



62b

88



52



61 hát



62 él



62b

89





1



2



3



4

91



1



2



3



4

92



1 2



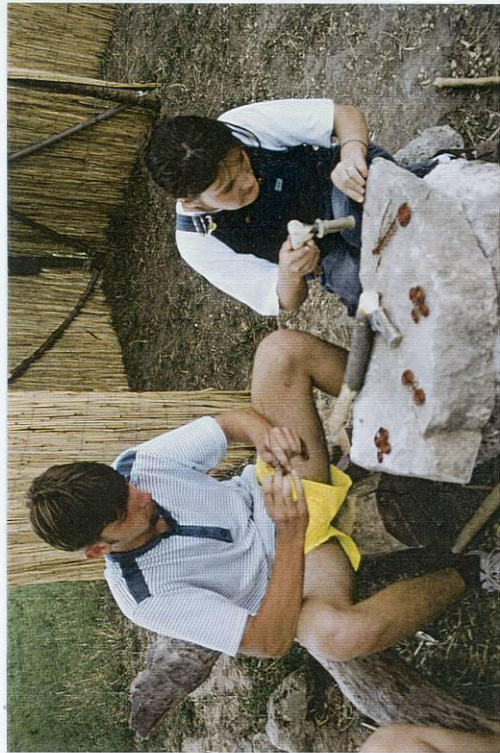
3 4



1



3



2



4



1



3



1



2



3



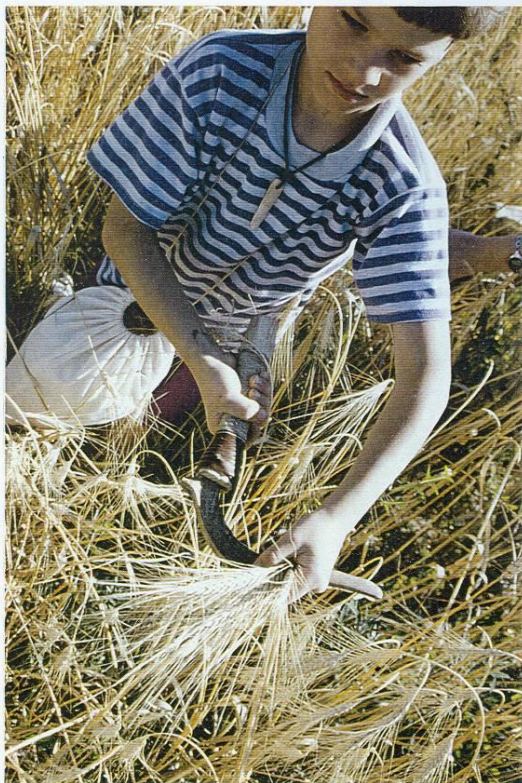
4



1



2



3



4

96



1 2



3 4



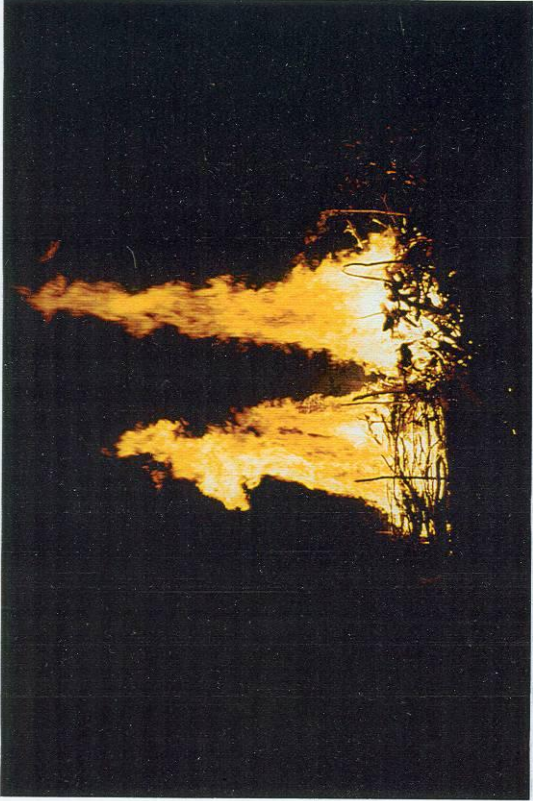
1



3



1



2



3



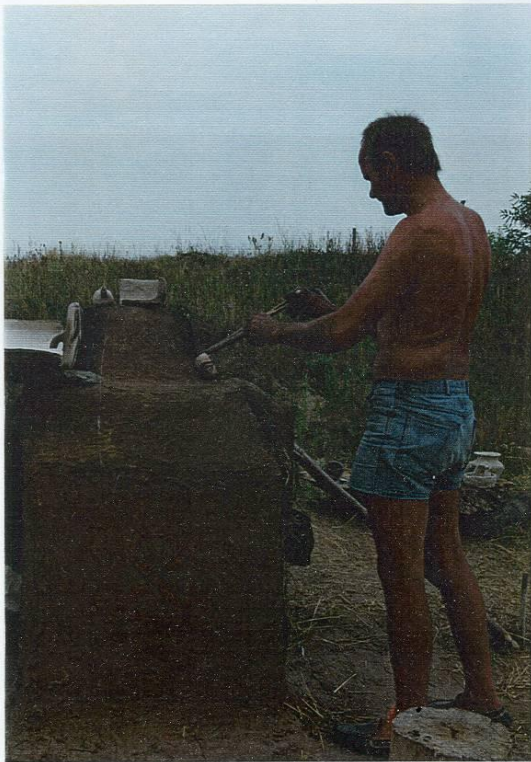
4



1



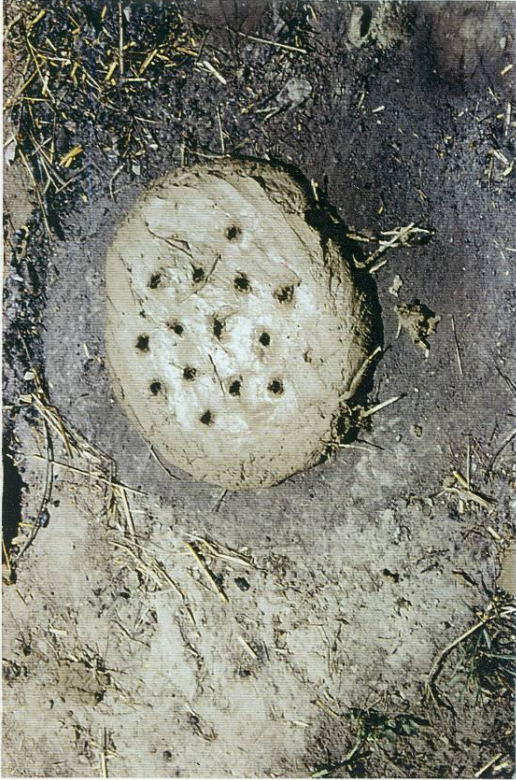
2



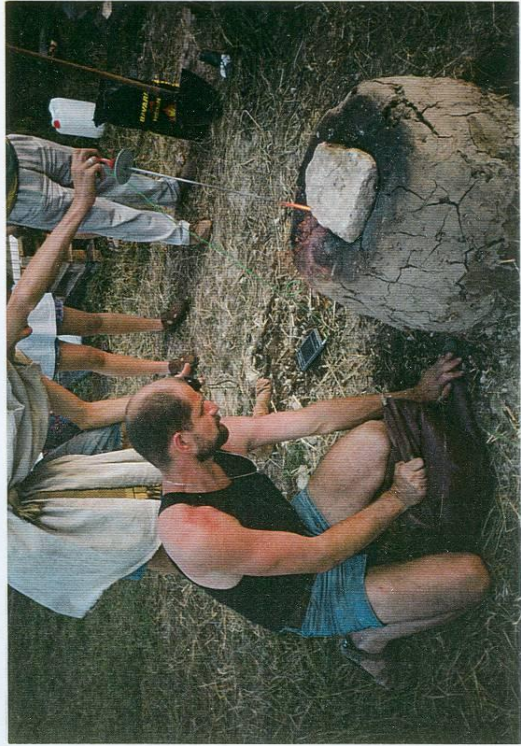
3



4



2



4



1



3



2



4



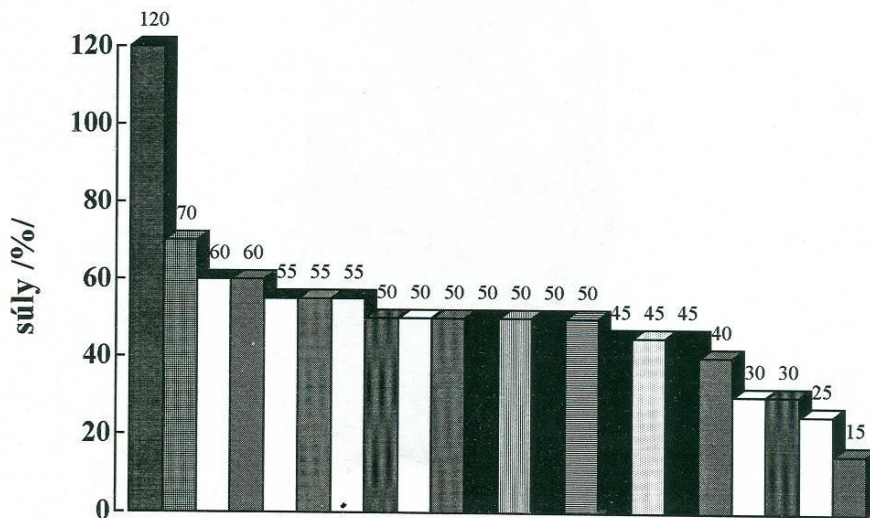
1



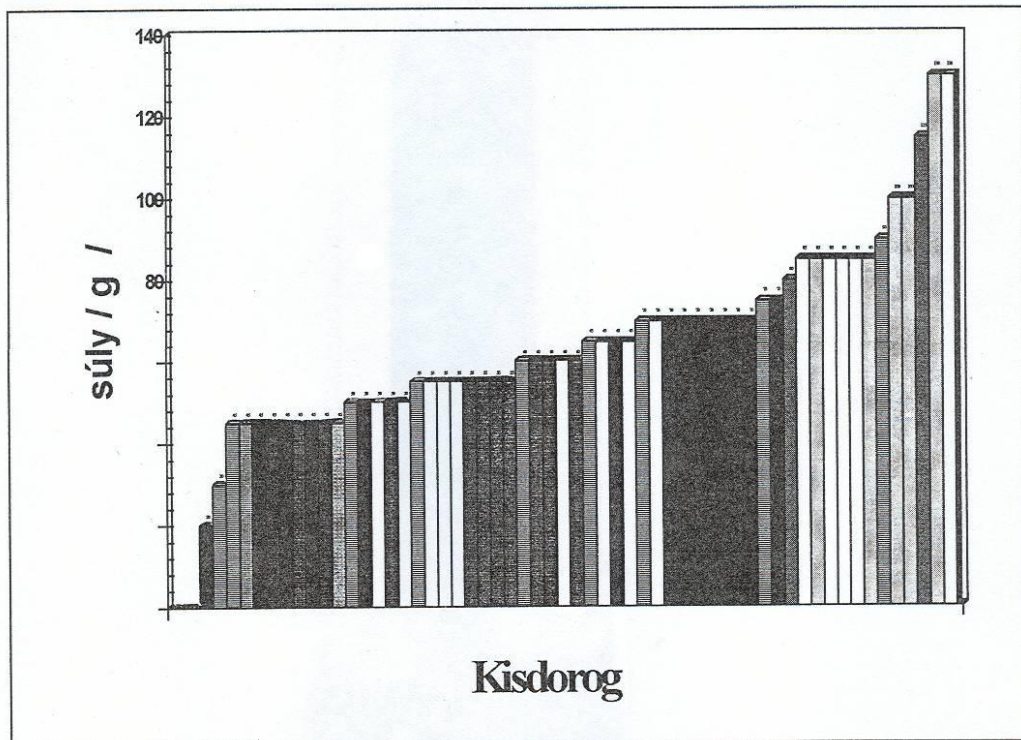
3

Lelőhely	Leltári szám	Súly	Átmérő	Vastagság	Szélesség	Kiterített hossz
Szakály-F	Ö.94.7.9.	15.0	0.0	5.0	7.0	9.0
Szakály-F	Ö.94.7.17.	25.0	75.0	4.0	5.0	28.0
Szakály-F	Ö.94.7.20.	30.0	90.0	4.5	5.0	28.0
Szakály-F	Ö.94.7.8.	30.0	85.0	5.0	7.0	19.0
Szakály-F	Ö.94.7.22.	40.0	105.0	5.0	6.0	30.5
Szakály-F	Ö.94.7.18.	45.0	75.0	4.5	6.5	29.5
Szakály-F	Ö.94.7.15.	45.0	85.0	5.0	5.5	28.0
Szakály-F	Ö.94.7.14.	45.0	85.0	5.0	6.0	31.5
Szakály-F	Ö.94.7.7.	50.0	83.0	5.0	7.0	0.0
Szakály-F	Ö.94.7.5.	50.0	85.0	5.0	7.0	0.0
Szakály-F	Ö.94.7.21.	50.0	90.0	6.0	6.0	29.5
Szakály-F	Ö.94.7.6.	50.0	81.0	4.5	7.0	0.0
Szakály-F	Ö.94.7.13.	50.0	105.0	6.0	6.0	28.0
Szakály-F	Ö.94.7.4.	50.0	85.0	5.0	7.0	0.0
Szakály-F	Ö.94.7.3.	50.0	85.0	5.0	7.0	0.0
Szakály-F	Ö.94.7.12.	55.0	92.0	6.0	6.0	23.0
Szakály-F	Ö.94.7.2.	55.0	83.0	5.5	8.0	0.0
Szakály-F	Ö.94.7.11.	55.0	90.0	5.5	6.5	24.0
Szakály-F	Ö.94.7.19.	60.0	80.0	5.0	7.5	31.0
Szakály-F	Ö.94.7.16.	60.0	85.0	5.0	6.0	30.5
Szakály-F	Ö.94.7.10.	70.0	95.0	6.0	7.0	27.5
Szakály-F	Ö.94.7.1.	120.0	67.0	9.0	9.0	0.0

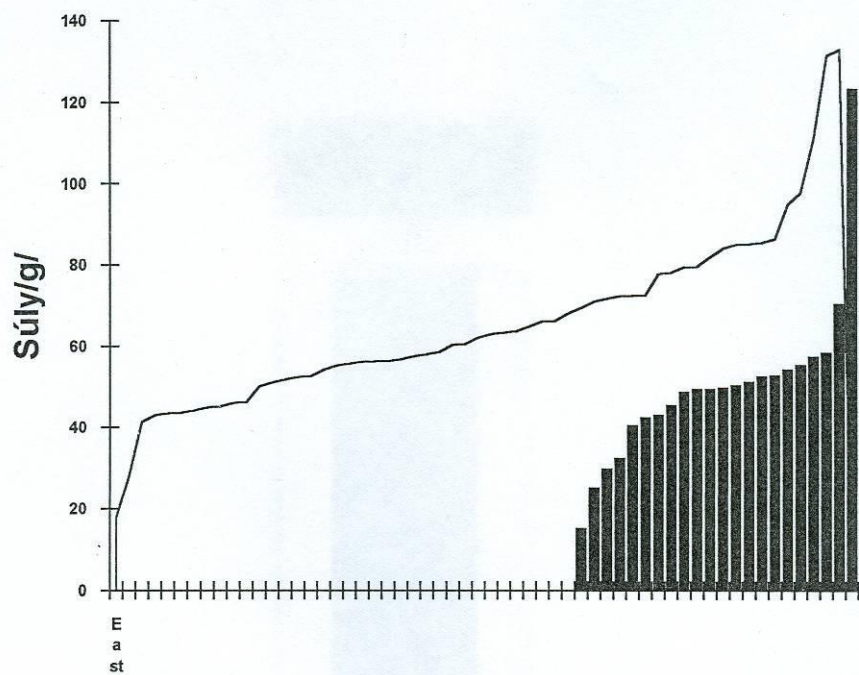
Súlyeloszlás



Súlyeloszlás



Kisdorog-Szakály



A réz legfontosabb ásványai I.

Típusa	Neve	Képlete	Legfontosabb lelőhelyei a Kárpát-medencében vagy Európában
<i>termésrész</i>	termésrész	Cu	Barabás, Reck, Rudabánya, Szababattyán, Velencei-hegység Szlovákia, Erdély
<i>oxidok</i>	kuprit	Cu ₂ O	Nagybörzsöny, Parádfürdő Reck, Rudabánya, Szababattyán, Velencei-hg., Szlovákia, Erdély
	tenorit	CuO	Reck, Rudabánya, Campania, Szicília
<i>oxisók</i>	antlerit	CuSO ₄ ·2Cu(OH) ₂	
	atacamit	CuCl ₂ ·3Cu(OH) ₂	
	azurit	2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	Bükkszentlélek, Balatonfüred, Magyarürög, Martonyi, Nagybörzsöny, Pécs, Reck, Rudabánya, Szababattyán, Velem, Velencei-hg.
	brochantit	CuSO ₄ ·3Cu(OH) ₂	Reck
	diopáz	Cu ₆ Si ₆ O ₁₈ ·6H ₂ O	Erdély (Rézbánya)
	kalkantit	CuSO ₄ ·5H ₂ O	Nagybörzsöny, Reck, Rudabánya
	krizokolla	CuSiO ₃ ·nH ₂ O	Reck, Velencei-hg., Szlovákia (Libetbánya, Úrvölgy)
	malachit	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	Balatonfüred, Erdősmecske, Legyesbénye, Magyarürög Martonyi, Nagybörzsöny, Pécs, Reck, Rudabánya, Szababattyán, Uppony, Velem Velencei-hg., Szlovákia, Erdély, Érchegeység, Ausztria

A réz legfontosabb ásványai II.

Típusa	Neve	Képlete	Legfontosabb lelőhelyei a Kárpát-medencében vagy Európában
<i>szulfidok</i>	bornit	Cu_3FeS_3	Bakonya, Martonyi, Nagybörzsöny, Recsk, Rudabánya, Erdély (Rézbánya), Érchegység, Norvégia, Svédország
	digenit	Cu_9S_5	
	kalkozin	Cu_2S	Bakonya, Balatonfüred, Erdősmecske, Gyöngyösoroszi, Martonyi, Nagybörzsöny, Parádfürdő, Recsk, Rudabánya, Szabadbattyán, Velencei-hg., Érchegység
	kovellin	CuS	Kovellin, Erdősmecske, Gyöngyösoroszi, Martonyi, Nagybörzsöny, Parádfürdő, Recsk, Rudabánya, Szabadbattyán, Velencei-hg., Jugoszlávia, Ausztria
<i>tiosók</i>	enargit	Cu_3AsS_4	Recsk, Velencei-hg., Bor,
	bournonit	CuPbSbS_3	Gyöngyösoroszi, Recsk, Rudabánya, Szabadbattyán, Erdély (Kapnikbánya, Felsőbánya) Szlovákia, Karintia, Harz-hegység,
	tennantit	$\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$	Bakonya, Erdősmecske, Nagybörzsöny, Parádfürdő, Velencei-hg., Szlovákia, Erdély
	tetraedrit	$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	Gyöngyösoroszi, Martonyi, Nagybörzsöny, Recsk, Rudabánya, Szabadbattyán, Telkibánya, Velencei-hg., Erdély (Kapnikbánya), Érchegység

Az ón legfontosabb ásványai

Típusa	Neve	Képlete	Legfontosabb lelőhelyei a Kárpát-medencében és Európában
<i>oxidok</i>	kassziterit	SnO ₂	Horní Slavkov (Cs), Érchegység, Monte Valerio (I), Cornwall (NBr)
<i>szulfidok</i>	herzenbergit	SnS	
	sztannit	Cu ₂ FeSnS ₄	Gyöngyösoroszi, Nagybörzsöny, Cer (Yu) Erdély (Karánsebes), Érchegység

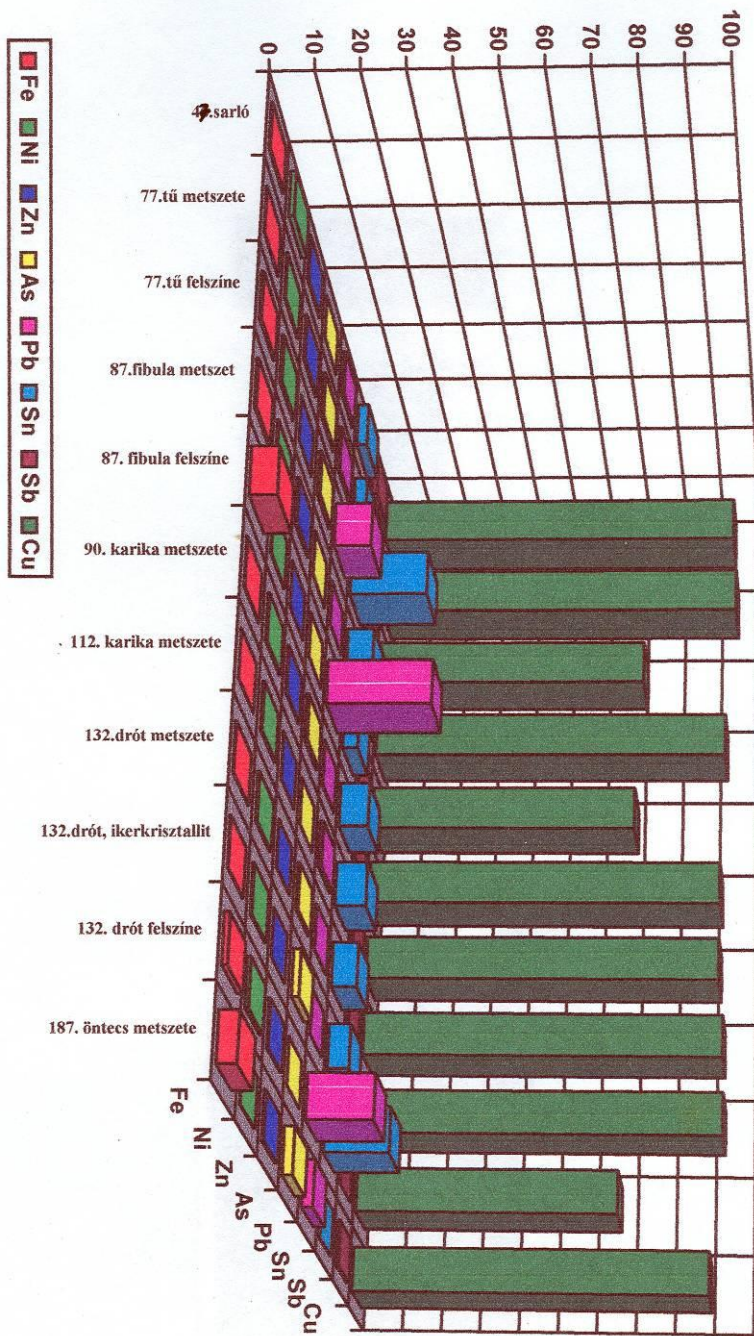
Az antimon legfontosabb ásványai

<i>oxidok</i>	cervantit	Sb_2O_4	Asztagkő, Mátraszentimre, Parádsasvár
	senarmontit	Sb_2O_3	Asztagkő, Pezinok (Cs)
	valentinit	Sb_2O_3	Gyöngyösoroszi
<i>szulfidok</i>	antimonit	Sb_2S_3	Asztagkő, Börzsöny, Ferőrákos, Gyöngyösoroszi, Mátraszentimre, Parádsasvár, Telkibánya, Velencei-hg., Szlovákia (Selmebánya) Erdély (Erzsébetbánya)
	boulangérit	$Pb_5Sb_4S_{11}$	Gyöngyösoroszi, Mátraszentimre, Reck, Erdély (Óradna), Příbram (Cs)
	bournonit	$PbCuSb_3S_3$	Gyöngyösoroszi, Reck, Rudabánya, Szabadbattyán, Erdély (Kapnikbánya, Felsőbánya), Harz-hegység
	famatinit	Cu_3SbS_4	Reck
	jamesonit	$Pb_4FeSb_6S_{14}$	Gyöngyösoroszi, Nagybörzsöny, Rudabánya, Erdély (Felsőbánya), Příbram (Cs)
	pirargirit	Ag_3SbS_3	Nagybörzsöny, Rudabánya, Telkibánya, Szlovákia (Körmöcbánya), Erdély (Felsőbánya)
	semseyit	$Pb_9Sb_8S_{21}$	Gyöngyösoroszi, Nagybörzsöny, Erdély (Felsőbánya, Herzsabánya)
	stefanit	Ag_5SbS_4	Nagybörzsöny, Szlovákia (Selmebánya)
	<i>többesszulfid fakőércek</i>	freibergit	$(Cu,Ag)_3SbS_{3-4}$
nagyágit		$Pb_5Au(Te,Sb)_4S_{5-8}$	Nagybörzsöny
tetraedrit		$(Cu,Fe)_{12}Sb_4S_{13}$	Gyöngyösoroszi, Martonyi, Nagybörzsöny, Rudabánya, Szabadbattyán, Telkibánya, Velencei-hg.,

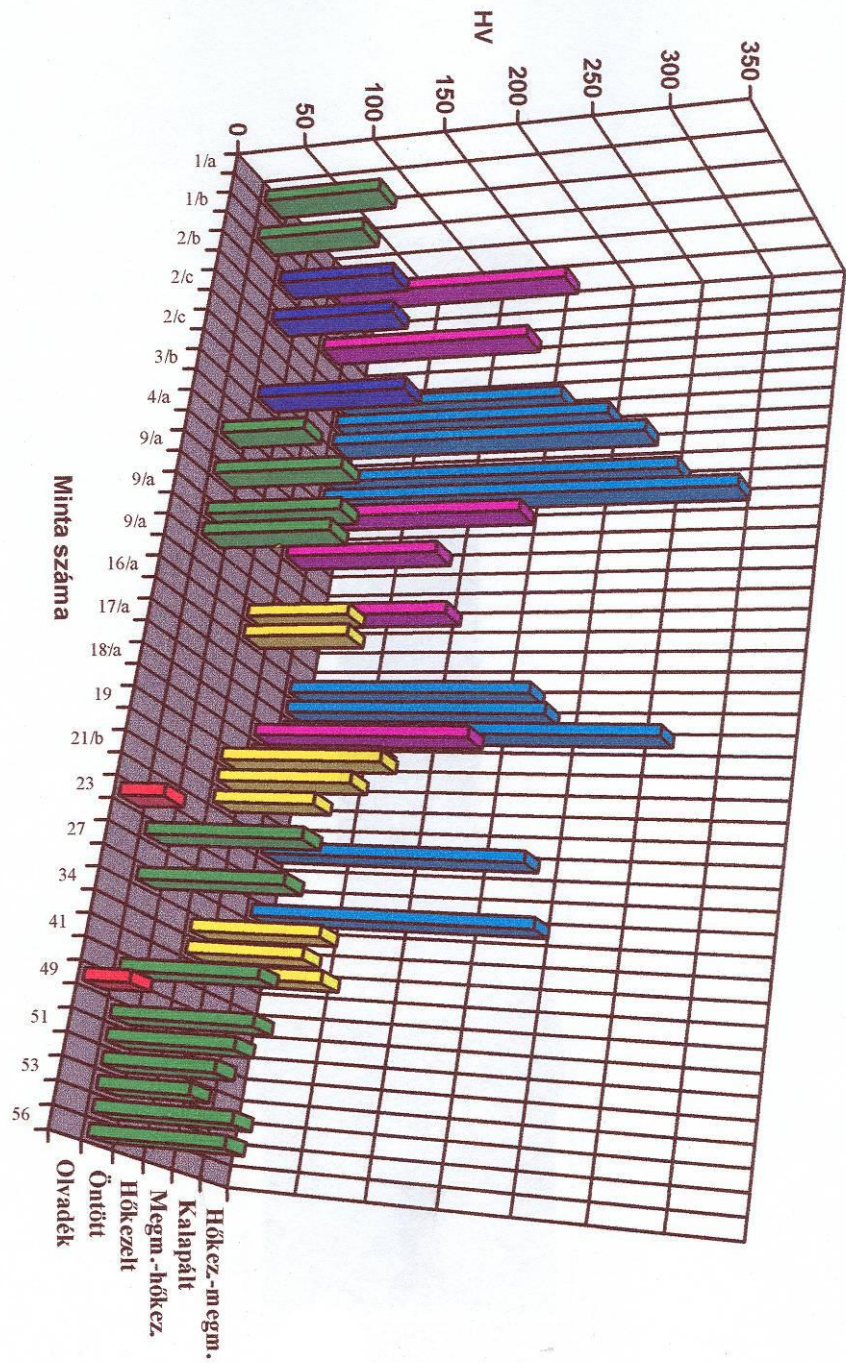
Kárpát-medencei késő bronzkori öntőlepenyek anyagösszetétel-elemzése

Megnevezés	Zn	As	Ni	Ag	Fe	Pb	Sn	Sb	Cu	S
Velem 1.	0	0	0,24	0	0,22	0	0	1,34	98,06	0,14
Velem 2.	0	1,42	1,25	0,14	0	1,97	0	15,11	79,53	0,47
Velem 3.	0	1,75	2,20	0	0	37,37	0	13,2	45,54	0,12
Velem 4.	0	0	0,29	0	0,37	0	0,20	1,43	97,63	0,8
Velem 5.	0	4,05	0,38	0,94	0,17	1,10	0	18,56	74,80	0
Velem 6.	0	0	0	0	3,11	1,89	9,09	0,96	84,53	0
Velem 7.	0	0	0	0	0	31,71	3,41	0	65,22	0
Velem 335/4.	0	1,72	0	0	1,03	0,63	0	18,12	77,49	1,08
Velem 336/5.	0	3,86	0	0	0,35	0	0	15,15	77,68	1,38
Velem 337/6.	0	3,06	0	0,04	0,37	0	0	15,01	80,40	1,41
Velem 38/3.	0	1,94	0	0	0,57	0	0	10,85	80,35	3,66
Velem 341/10.	0	2,15	0	0,05	0,09	0	0	8,83	88,32	1,21
Velem 1277.	0	1,5	0	1,00	0,10	0,08	0	3,0	90,00	0
Velem 1278.	0	1,60	0	1,10	0,40	0,08	0	6,00	90,00	0
Velem 1279.	0	2,90	0	1,30	0	0	0,04	6,00	89,00	0
Nagydém	0	3,61	0	1,2	2,06	0	0	0	93,1	0
Nagykálló 19.	0	0	0,80	0	4,1	0	0	0	88,5	0
Regöly	0,44	2,79	0,18	0	4,28	2,63	0,13	0,59	89,46	0
Ispánlaka	0,13	0	0	0	0,29	0,35	0	0,36	84,83	0,04
Érmihályfalva	0	0	0,04	0	0,30	0,40	1,60	0,10	97,30	0
Erdély 1243.	0	0	0	0	0,30	0	0	0	98,80	0,73

Regöly-Veravár kincslelet tárgyainak SEM-analízise: metszet és felszín



Regöly-Veravár kincslelet tárgyainak keménységadatai



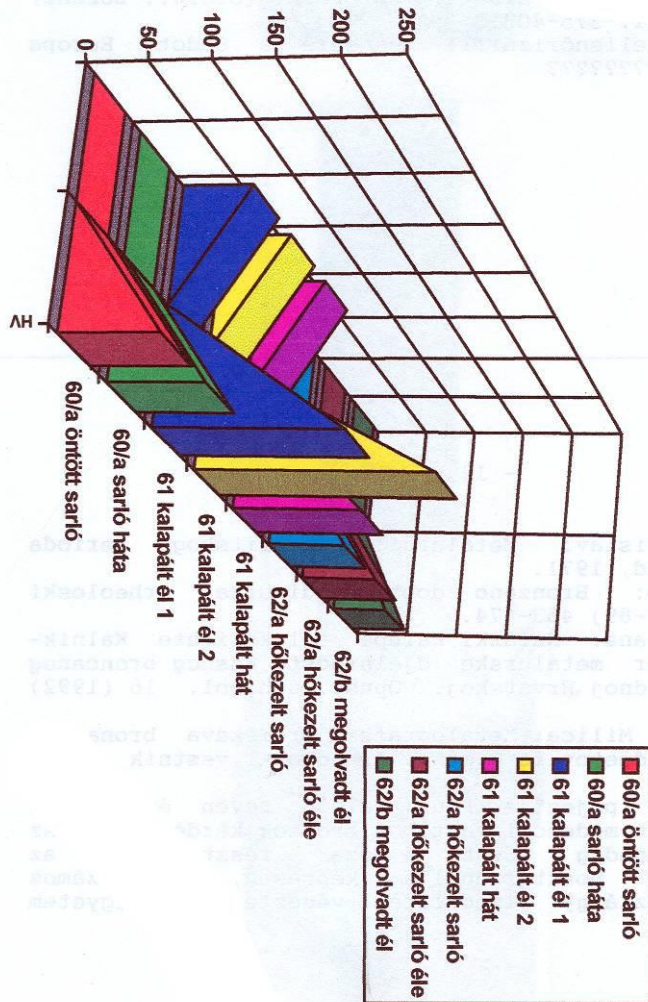
Regöly-Veravár kincslelet tárgyainak metallográfiai vizsgálata

REGÖLY- VERAVÁR	MINTA (BRBRONZ..)	MEGNEVEZÉS	MEGMUNKÁLÁS	HV
9. törpenge	1/a	tör nyele	öntött	86,0
9. törpenge	1/b	tör éle	hidegen megmunkált	177,0
9. törpenge	1/b	törpenge közepe	öntött	78,4
10. kés	2/a	kés nyele	hőkezelt	85,6
10. kés	2/b	szegecs a nyélből	megmunkált	155,0
10. kés	2/c	kés háta	hőkezelt	90,3
10. kés	2/c	kés éle 1.	hőkezelt, megmunkált	170,0
10. kés	2/c	kés éle 2.	hőkezelt, megmunkált	206,0
10. kés	2/c	kés éle 3.	hőkezelt, megmunkált	234,0
17. késpenge	3/a	kés nyele	hőkezelt	108,6
17. késpenge	3/b	kés éle	hőkezelt, megmunkált	260,0
17. késpenge	3/b	él széle	hőkezelt, megmunkált	303,0
21. tokosbalta	4/a	köpü pereme	öntött	61,0
21. tokosbalta	4/b	balta éle	hidegen megmunkált	168,1
47. sarló	9/a	sarló háta 1	öntött	92,9
47. sarló	9/a	sarló háta 2	öntött, kalapált	112,6
47. sarló	9/a	sarló háta 3	öntött	97,1
47. sarló	9/a	él belső része	öntött	92,3
47. sarló	9/a	él	hidegen megmunkált	126,3
63. fűrészlap tör.	14	fűrészlap közepe	megmunkált, hőkezelt	74,6
77. tű töredéke	16/a	tű vége	megmunkált, hőkezelt	76,8
77. tű töredéke	16/b	tű hegye	hőkezelt, megmunkált	177,3
79. hegy töredéke	17/a	hegy vastagabb vége	hőkezelt, megmunkált	190,0
79. hegy töredéke	17/b	hegy vége	hőkezelt, megmunkált	271,0
80. tű	18/a	tű feje	hidegen megmunkált	155,3
80. tű	18/b	tű teste	megmunkált	95,1
82. fibula töredéke	19	kengyel	megmunkált, hőkezelt	115,2
87. lemezható fibula	21/a	kengyel	megmunkált, hőkezelt	96,6
87. lemezható fibula	21/b	lemez	megmunkált, hőkezelt	73,0
88. fibula töredéke	22	kengyel	hőkezelt, megmunkált	190,0
89. fibula töredéke	23	összeolvadt korong	megolvadt	31,9
90. karika töredéke	24	karika metszete	öntött, hőkezelt	109,5
103. bonzsál tör.	27	bronzsál közepe	hőkezelt, megmunkált	203,0
111. karika töredéke	33	karika metszete	öntött	102,5
112. karika	34	karika metszete	megmunkált, hőkezelt	92,9
124. dróttekeres tör.	38	bronzsál közepe	megmunkált, hőkezelt	83,4
130. drótspirál	41	drótsál közepe	megmunkált, hőkezelt	99,0
154. lemezcsik	48	lemez közepe	öntött	95,9
168. lemeztöredék	49	lemez olvadt része	öntött	32,5
171. öntőlepeny	50	öntőlepeny metszete	öntött	98,0
174. öntőlepeny	51	öntőlepeny metszete	öntött	88,2
178. öntőlepeny	52	öntőlepeny metszete	öntött	77,8
181. öntőlepeny	53	öntőlepeny metszete	öntött	63,8
185. öntőlepeny	55	öntőlepeny metszete	öntött	95,1
187. öntőlepeny	56	öntőlepeny metszete	öntött	92,9

Sarló rekonstrukciójának metallográfiai vizsgálata

MINTA (BRBRONZ..)	MEGNEVEZÉS	MEGMUNKALÁS	HV
60/a	sarló éle	öntött	80,9
60/a	sarló háta	öntött	80,5
61	sarló éle 1	hidegen megmunkált	161,1
61	sarló éle 2	hidegen megmunkált	208
61	sarló háta	kalapált	115,6
62/a	sarló háta	hőkezelt	71,5
62/a	sarló éle	hőkezelt	71,2
62/b	sarló megolvadt éle	hőkezelt	51,9

Sarló rekonstrukciójának keménység-vizsgálata



Kárpát-medencei késő bronzkori tárgyak anyagösszetétel -elemzése 1.

Megnevezés	Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni	Ag	S	lelőhely	irodalmi adat
ciszta	0,05	81,46	0,0	0,0	13,95	4,57	0,0	0,05	0,11	0,0	Kurd	Loeczka 1885, 149.
kazán	0	88,68	0,0	0,0	0,0	11,44	0,0	0,0	0,03	0,0	Kurd	Loeczka 1885, 280-81.
öntörög	1,03	95,83	0,0	0,34	0,0	0,0	0,0	1,79	0,0	0,0	Pusztazenitnre	Hampel 1886- 181. (Loeczka)
öntörög	0,0	98,87	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0	0,04	0,0	0,22	Botdogkeresztúr	Hampel 1886- 181. (Loeczka)
öntörög	0,53	97,45	0,0	0,46	0,0	0,0	0,0	0,19	0,0	1,17	Botdogkeresztúr	Hampel 1886- 181. (Loeczka)
öntörög	0,31	98,47	0,0	0,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	Botdogkeresztúr	Hampel 1886- 181. (Loeczka)
öntörög	0,0	98,93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,26	0,89	Sopron-Ujfiak	Hampel 1886- 181-2(Loeczka)
rd	0	22,40	0,0	0,0	53,68	22,19	0	0	0	1,25	Velem	Miske 1907, 39. (Sewy)
rd	0	75,54	0	0	2,43	0	0	0,27	0	1,25	Velem	Miske 1907, 39. (Heim)
tű	2,46	91,60	0,32	0	2,34	2,95	0	0,44	0	0	Velem	Miske 1904, 127. (Jene)
tű	1,32	89,00	0,48	0	0,64	7,40	0	1,10	0	0	Velem	Miske 1907, 39. (Jene)
fibula	0	90,37	0	0	0	6,7	0	1,2	0	0	Velem	Miske 1904, 127. (Wartha)
fibula	0	90,35	0	0	0	8,73	0	0	0	0	Velem	Miske 1904, 127. (Wartha)
fibula	0,21	85,87	0	0	1,86	9,08	2,52	0,29	0	0,09	Velem	Miske 1904, 127. (Heim)
diszkorong	0,21	80,22	0	0,06	0,45	8,11	10,15	0,62	0	0,18	Velem	Miske 1904, 127. (Heim)
karperec	0,35	88,42	0	0	2,28	6,46	1,63	0,63	0	0,23	Tordos	Miske 1907, 38. (Heim)
diszkrét karkka	2,71	64,36	2,01	0	1,93	6,92	9,11	1,88	0	0	Tordos	Miske 1907, 38. (Heim)
bronzrög	0,29	84,83	0,13	0	0,35	0	0,36	0	0	0,04	Ispánlaka	Heim 1895, 763.
pálca	0,14	93,83	0,0	0,0	0,24	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	Ispánlaka	Hampel 1886- 182. (Loeczka)
lemez	0,28	82,4	0	0	0,50	13,38	1,54	0,81	0	0,38	Ispánlaka	Heim 1895, 763.
baltá	0,16	94,22	0	0	0	0	4,01	0,25	0,23	0,29	Ispánlaka	Heim 1895, 763.
tű	0,71	83,42	0	1,05	10,40	1,18	3,33	0,63	0,71	0,11	Ispánlaka	Heim 1895, 763.
bronzeszköz	0,21	77,04	4,02	0,09	12,57	5,59	0,44	0	0,04	0	Csákyva	Heim 1895, 764.
lemez	0	86,99	0	0	12,26	0,26	0,31	0,07	0,11	0	Csákyva	Heim 1895, 764.
lándzsa	0	92,14	0	1,75	0	2,16	2,96	0,36	0	0	Kapuvár	Miske 1907, 38. (Heim)
lándzsa	0	86,57	0	0	5,10	6,56	0,66	0,56	0,33	0,21	Vác	Miske 1907, 38. (Loeczka)
nyerszéz	4,76	81,31	0,86	0,88	8,48	0	0,70	0,88	0,32	1,13	Magyarország	Miske 1907, 33. (Krohke)
1. bronzrög	0,22	98,06	0	0	0	0	1,34	0,24	0	0,14	Velem	Miske 1904a 126. (Heim)
2. bronzrög	0	79,53	0	1,42	1,97	0	15,11	1,25	0,14	0,47	Velem	Miske 1904a 126. (Heim)
3. bronzrög	0	45,54	0	1,75	37,37	0	13,2	2,20	0	0,12	Velem	Miske 1904a 126. (Heim)
4. bronzrög	0,37	97,63	0	0	0	0,20	1,43	0,29	0	0,8	Velem	Miske 1904a 126. (Heim)
5. bronzrög	0,17	74,80	0	4,05	1,10	0	18,56	0,38	0,94	0	Velem	Miske 1904a 126. (Heim)
6. bronzrög	3,11	84,53	0	0	1,89	9,09	0,96	0	0	0	Velem	Miske 1904a 126. (Wartha)
7. bronzrög	0	65,22	0	0	31,71	3,41	0	0	0	0	Velem	Miske 1904a 126. (Wartha)
335/4	1,03	77,49	0	1,72	0,63	0	18,12	0	0	1,08	Velem	Miske 1907, 38. (Jene)
336/5	0,35	77,68	0	3,86	0	0	15,15	0	0	1,38	Velem	Miske 1907, 38. (Jene)
337/6.	0,37	80,40	0	3,06	0	0	15,01	0	0,04	1,41	Velem	Miske 1907, 38. (Jene)
38/3.	0,57	80,35	0	1,94	0	0	10,85	0	0	3,66	Velem	Miske 1907, 38. (Jene)
341/10.	0,09	88,32	0	2,15	0	0	8,83	0	0,05	1,21	Velem	Miske 1907, 38. (Jene)
öntörög	0	99,52	0	0	0,460	0	0	0	0	0	Sághegy	Lázár 1943, 284.
karperec	0	76,52	0	0	0,03	0	11,2	0	0	0	Sághegy	Lázár 1943, 284.
kés	0	70,7	0	0	9,11	0	13,1	0	0	0	Sághegy	Lázár 1943, 284.

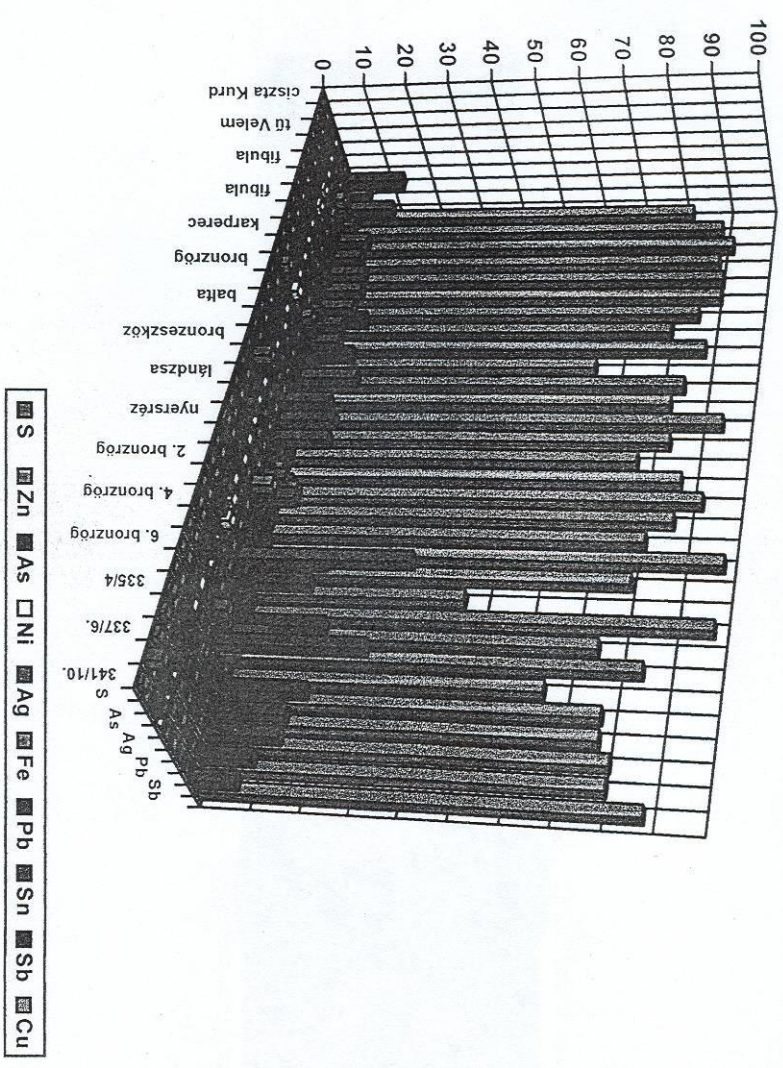
Kárpát-medencei késő bronzkori tárgyak anyagösszetétel -elemzése 2.

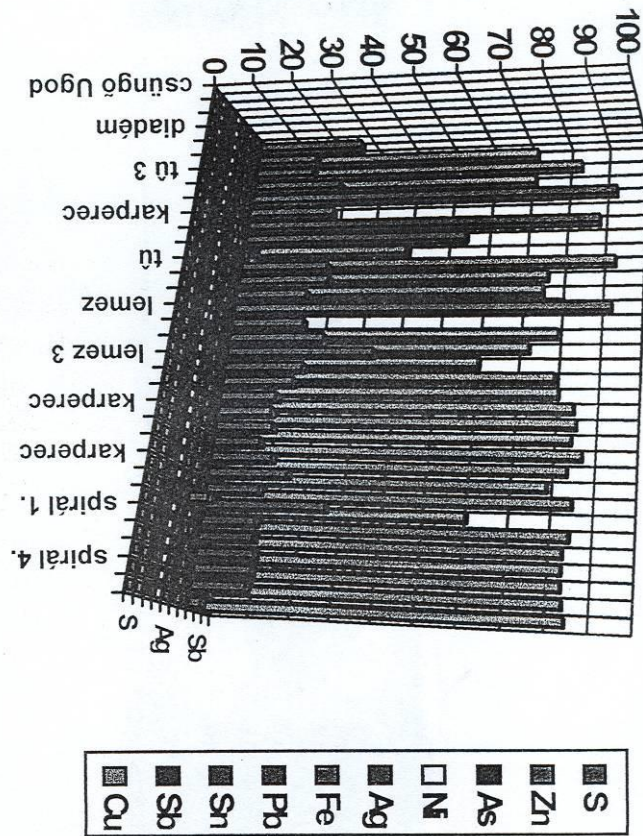
Megnevezés	Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni	Ag	S	hely	irodalmi adat
csingó	0	71,5	0	0,33	0,17	27,7	0	0,28	0,03	0	Ugod	Ilon 1989. 26. (Költő)
karperec	0	83,3	0	0,18	0,19	15,8	0	0,42	0,05	0	Németbánya	Ilon 1989. 26. (Költő)
karka	0,3	71,5	0	0,19	0,15	15,4	0	0,53	0,05	0	Németbánya	Ilon 1989. 26. (Költő)
diadem	0,22	75,8	0	0,24	0	23,2	0	0,5	0,06	0	Németbánya	Ilon 1989. 26. (Költő)
tű 1	0,48	4,0	0	0,71	0,16	94,0	0	0,52	0,17	0	Németbánya	Ilon 1989. 26. (Költő)
tű 2	0,43	71,4	0	0,15	0,09	22,4	0	0	0,04	0	Németbánya	Ilon 1989. 26. (Költő)
tű 3	0,16	8,1	0	0,88	0,26	90,1	0	0	0,17	0	Németbánya	Ilon 1989. 26. (Költő)
tű 4	1,4	39,8	0	0,54	0,39	57,1	0	0	0,05	0	Németbánya	Ilon 1989. 26. (Költő)
öntőleány	2,06	93,1	0	3,61	0	0	0	0	1,2	0	Nagydem	Ilon 1989. 26. (Költő)
karperec	0,00	76,2	0	0,38	0,09	22,6	0	0,61	0,05	0	Ugod	Költő-Kis Varga 1992. 1/a t.
tű	0,2	75,3	0	0,33	0,12	23,5	0	0,46	0,06	0	Ugod	Költő-Kis Varga 1992. 1/a t.
tű	0,13	80,9	0	0,25	0,00	18,2	0	0,43	0,02	0	Ugod	Költő-Kis Varga 1992. 1/a t.
tű	0,48	4,00	0	0,71	0,16	94,00	0	0,52	0,17	0	Németbánya	Költő-Kis Varga 1992. 1/a t.
karperec	0,00	79,8	0	0,16	0,63	18,6	0	0,74	0,04	0	Ugod	Költő-Kis Varga 1992. 1/a t.
karperec	0,21	72,7	0	1,00	0,00	24,3	0	1,72	0,02	0	Farkasgyepű	Költő-Kis Varga 1992. 1/a t.
lemez 1	0,00	60,7	0	0,85	0,60	37,3	0	0	0,03	0	Farkasgyepű	Költő-Kis Varga 1992. 1/a t.
lemez 2	0	79,5	0	0,28	0,11	19,9	0	0,17	0,04	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
lemez 3	0,04	84,6	0	0,38	0,17	18,00	0	0,21	0,07	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
lemez 4	0,03	85,4	0	0,63	0,26	14,2	0	0,16	0,06	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
karperec	0,16	84,4	0	0,55	0,16	13,6	0	0,19	0,07	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
karperec	0	87,2	0	0,51	0,11	11,8	0	0,35	0,06	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
karperec	0,07	83,8	0	0,31	0,06	15,4	0	0,23	0,05	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
karperec	0,14	79,2	0	0,42	0,09	19,8	0	0,27	0,05	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
karperec	0,04	85,4	0	0,38	0,3	13,4	0	0,36	0,07	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
karperec	4,85	60,9	0	2,58	0,91	30,1	0	0,42	0,15	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
karperec	0,21	85,1	0	0,44	0,17	13,6	0	0,45	0,05	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
spiral 1.	1,27	83,7	0	0,73	0,23	13,75	0	0,24	0,04	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
spiral 2.	0,73	83,6	0	0,61	0,16	14,5	0	0,34	0,05	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
spiral 3.	0,73	83,7	0	0,76	0,10	14,3	0	0,35	0,06	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
spiral 4.	0,83	84,2	0	0,75	0,21	13,6	0	0,33	0,05	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t
spiral 6.	0,9	84,9	0	0,68	0,15	03,0	0	0,28	0,04	0	Nagyberki	Költő-Kis Varga 1992. 1.t

Kárpát-medencei késő bronzkori tárgyak anyagösszetétel -elemzésesei 3.

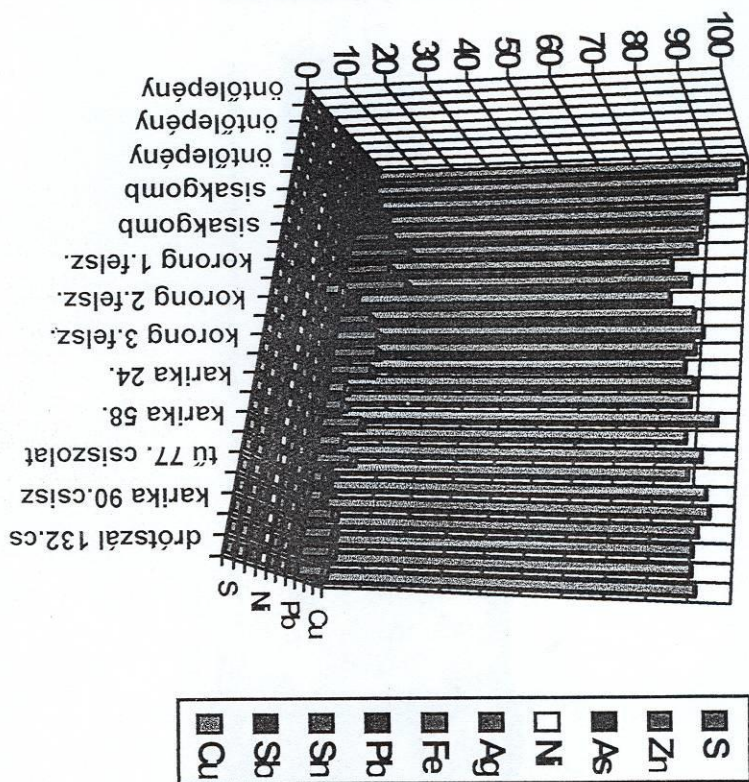
Megnevezés	Fe	Cu	Zn	As	Pb	Sn	Sb	Ni	Ag	S	lelőhely	irodalmi adat
öntölepény	0,30	98,80	0	0	0	0	0	0	0	0,73	Erdély	Otto-W.itter 1952. 202. 1243.
öntölepény	0,30	97,30	0	0	0,40	1,60	0,10	0,04	0	0	Erményfalva	Otto-Witter 1952. 202. 1257.
öntölepény	0,10	90,00	0	1,5	0,08	0	3,0	0	1,00	0	Velem	Otto-Witter 1952. 204. 1277.
öntölepény	0,40	90,00	0	1,60	0,08	0	6,00	0	1,10	0	Velem	Otto-Witter 1952. 204. 1278.
öntölepény	0	89,00	0	2,90	0	0,04	6,00	0	1,30	0	Velem	Otto-W.itter 1952. 204. 1279.
sisak	0	88,0	0	0	1,57	10,43	0	0	0	0	Hajduböszörm	Born 1992.346.
sisakgomb	0	82,0	0	0	1,01	16,16	0	0	0	0	Hajduböszörm	Born 1992.346.
sisak	0	87,0	0	0	0,80	11,57	0	0	0	0	Mezőkövesd	Born 1992.346.
sisakgomb	0	82,0	0	0	1,04	16,65	0	0	0	0	Mezőkövesd	Born 1992. 346.
öntölepény 19.	4,1	88,5	0	0	0	0	0	0,80	0	0	Nagykálló	Mozsolics1963a259.(Hegedűs
korong 1 félsz.	0,29	90,95	0	0	0	8,45	0	0	0	0,30	Dunaröldvár	Nacsa 1993. 134. (Gondár)
korong 1 csisz.	0	89,1	0	0	0	10,99	0	0	0	0	Dunaröldvár	Nacsa 1993. 134. (Gondár)
korong 2. félsz.	0	86,89	0	0	0	11,66	0	0	0	0,76	Dunaröldvár	Nacsa 1993. 134. (Gondár)
korong 2 csisz.	0	89,34	0	0	0	10,66	0	0	0	0	Dunaröldvár	Nacsa 1993. 134. (Gondár)
korong 3. félsz.	0,21	88,70	0	0	0	4,59	0	0	0	0	Dunaröldvár	Nacsa 1993. 134. (Gondár)
korong 3 csisz.	0	95,42	0	0	0	4,58	0	0	0	0	Dunaröldvár	Nacsa 1993. 134. (Gondár)
karika 24.	0,05	88,00	0	0	0,18	10,01	0	0,33	0	0	Székely 24.	Szabó-O. 1996. 96. (Oszvaid)
karika 23.	0,15	92,00	0	0	0,70	5,88	0	0,42	0	0	Székely 23.	Szabó-O. 1996. 97. (Oszvaid)
karika 58.	0,11	89,0	0	0	0,09	9,05	0	0,37	0	0	Kisdorog 58.	Szabó-O. 1996. 94. (Oszvaid)
sarló 4#	0,35	93,65	0,28	0	0,63	2,56	1,3	1,23	0	0	Regöly 47.	Szabó 1997.
tű 77. csiszolat	0,14	94,54	0,38	0,63	0,60	3,1	0,34	0,28	0	0	Regöly 77.	Szabó 1997.
fibula 87. csisz	0,44	92,03	0,52	0	0	6,55	0,15	0,31	0	0	Regöly 87.	Szabó 1997.
karika 90 csisz	0,18	91,08	0,25	0,64	0,16	7,22	0,09	0,38	0	0	Regöly 90.	Szabó 1997.
karika 112 cs.	0,07	91,00	0,07	0	0,78	7,53	0,54	0,37	0	0	Regöly 112.	Szabó 1997.
drótszál 132 cs	0,19	92,15	0,05	0,53	0,17	6,22	0,32	0,37	0	0	Regöly 132.	Szabó 1997.

Kárpát-medencei késő bronzkori tárgyak anyagösszetétel-elemzése a századfordulón

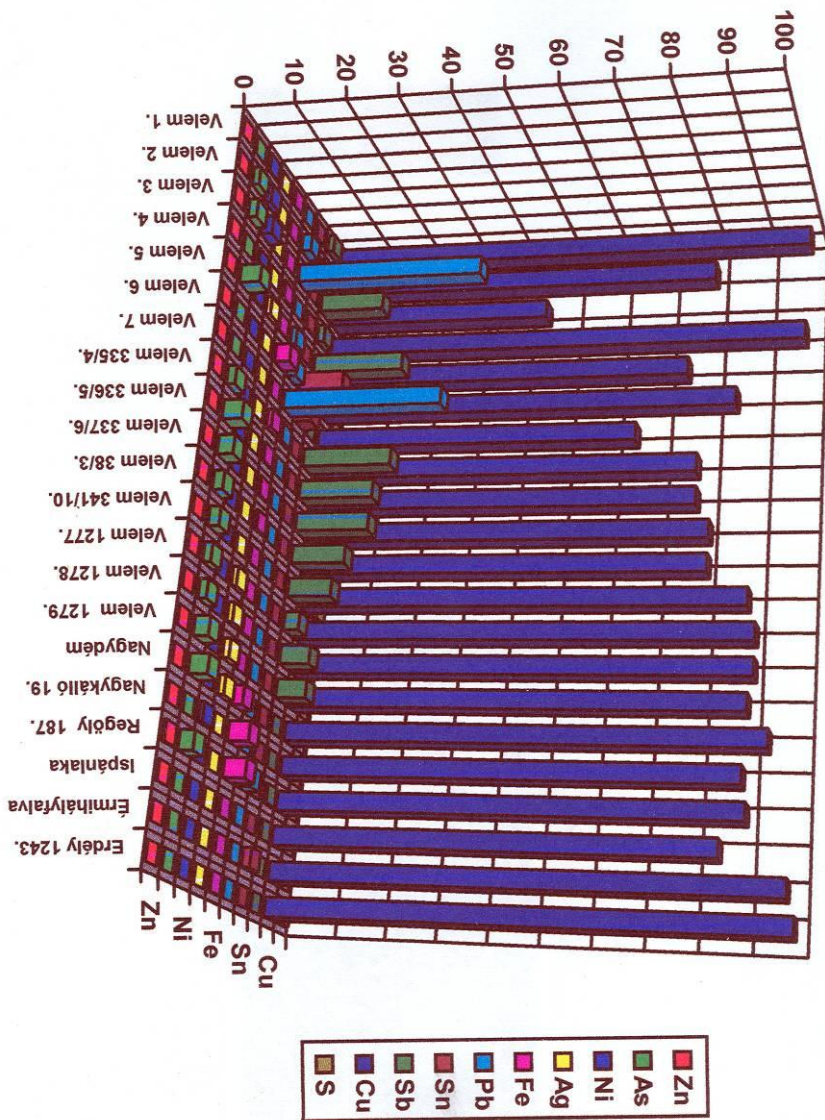




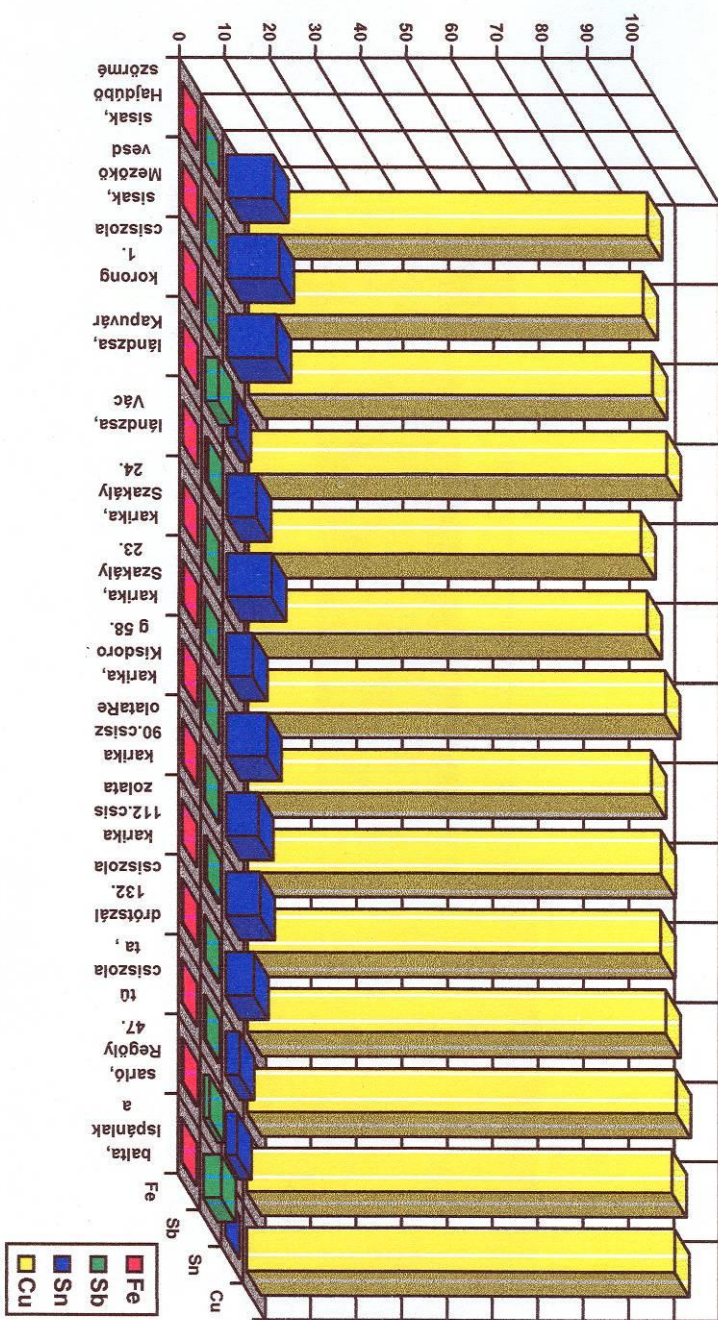
Kárpát-medencei késő bronzkori tárgyak anyagösszetétel -elemzése



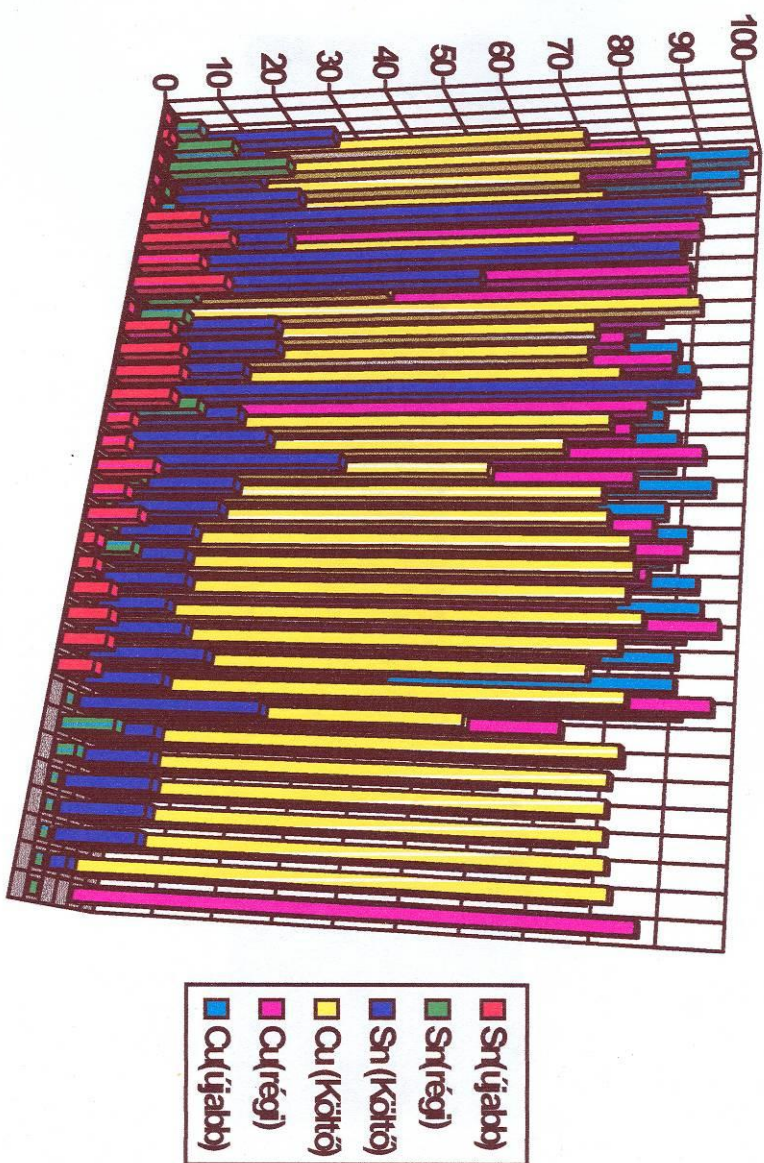
Kárpát-medencei késő bronzkori öntőlépények anyagösszetétel-elemzése



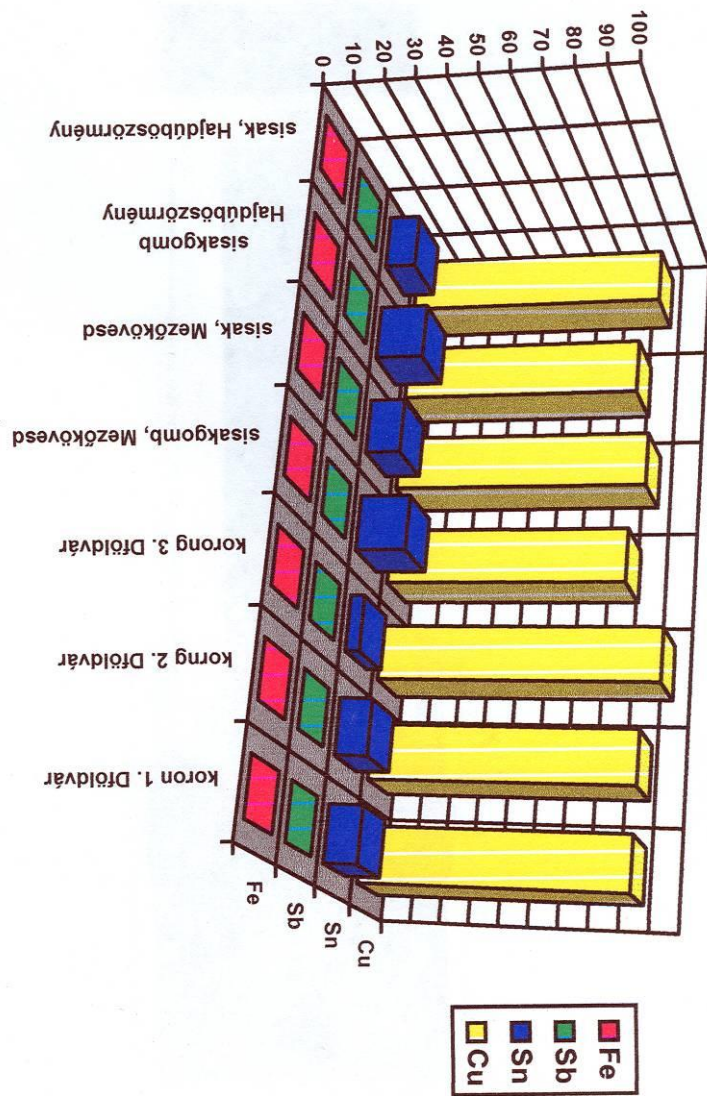
Központi- és helyi műhelyekben készített tárgyak anyagösszetétel-elemzése (Fe-, Sb-, Sn-, Cu-tartalom)

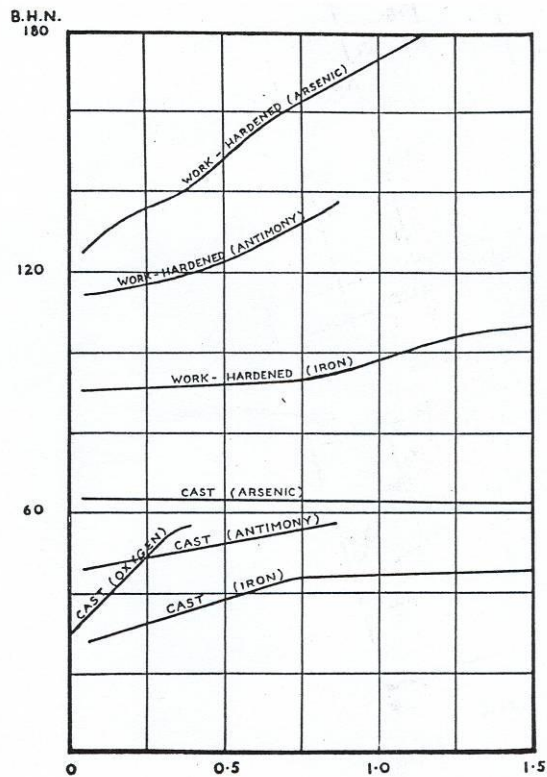


Kárpát-medencei bronzlárgyak Cu és Sn tartalma a különböző vizsgálati módszerek szerint

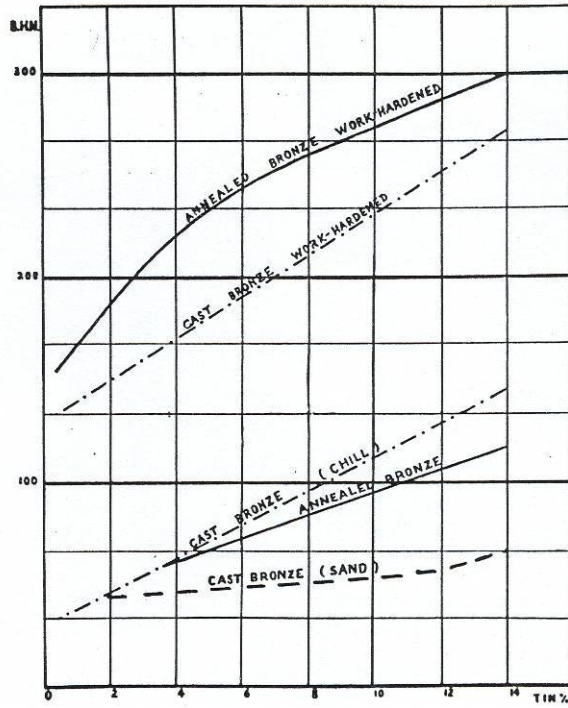


Röntgenes technikával készített tárgyak anyagösszetétel-elemzése

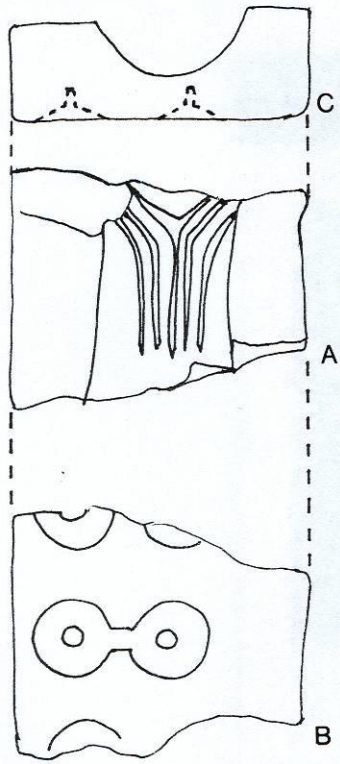




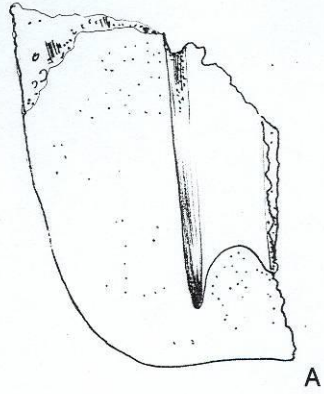
A réz keménységének változása az ötvözőanyagok és a megmunkálás hatására
(Allen 1970. Fig. 1. alapján)



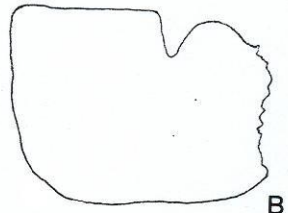
A bronz keménységének változása az ötvözőanyagok és a megmunkálás hatására
(Allen 1970. Fig. 1. alapján)



1

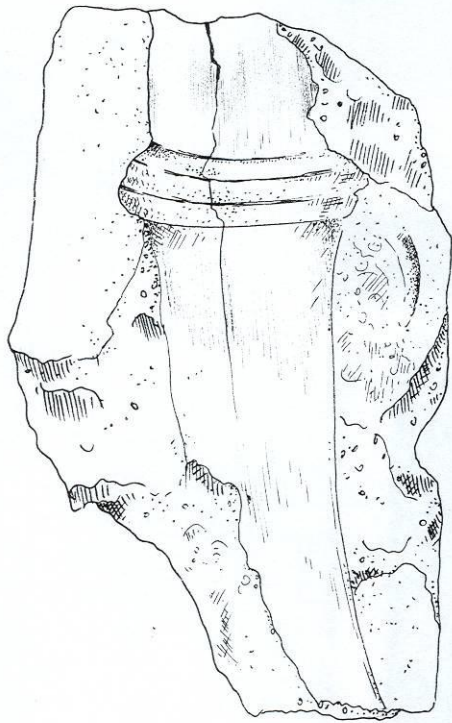


A

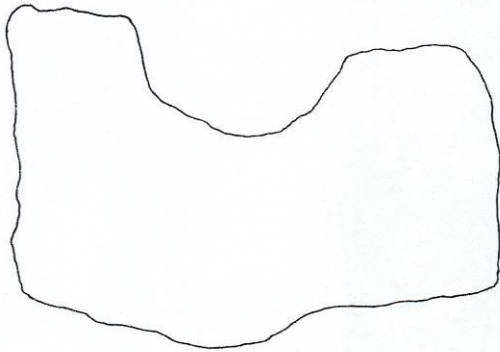


B

2

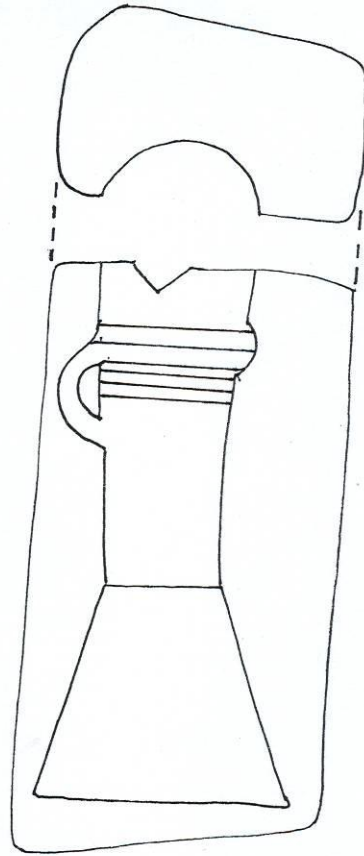


A



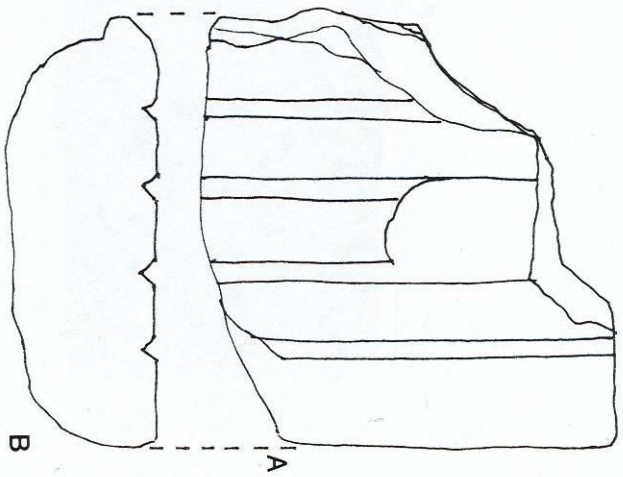
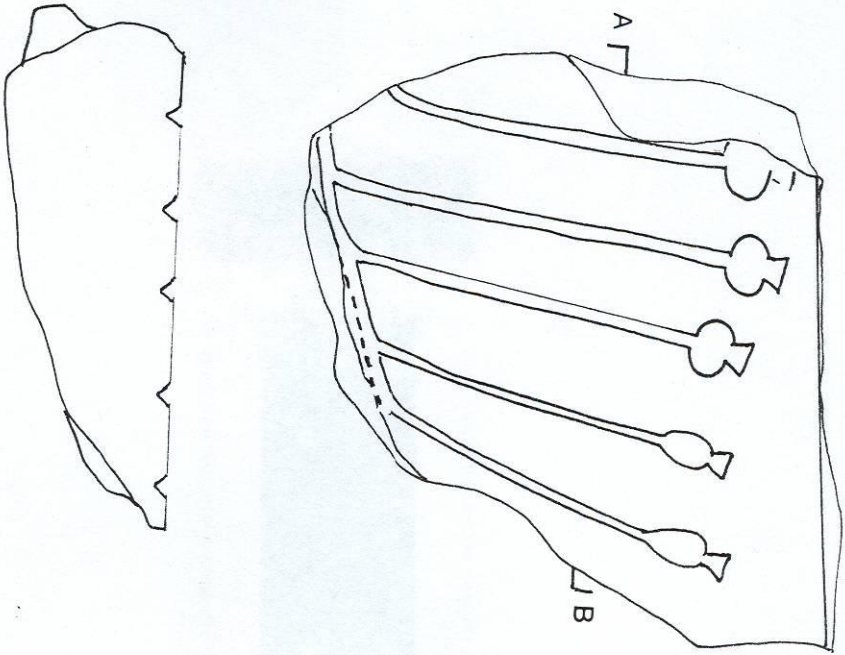
B

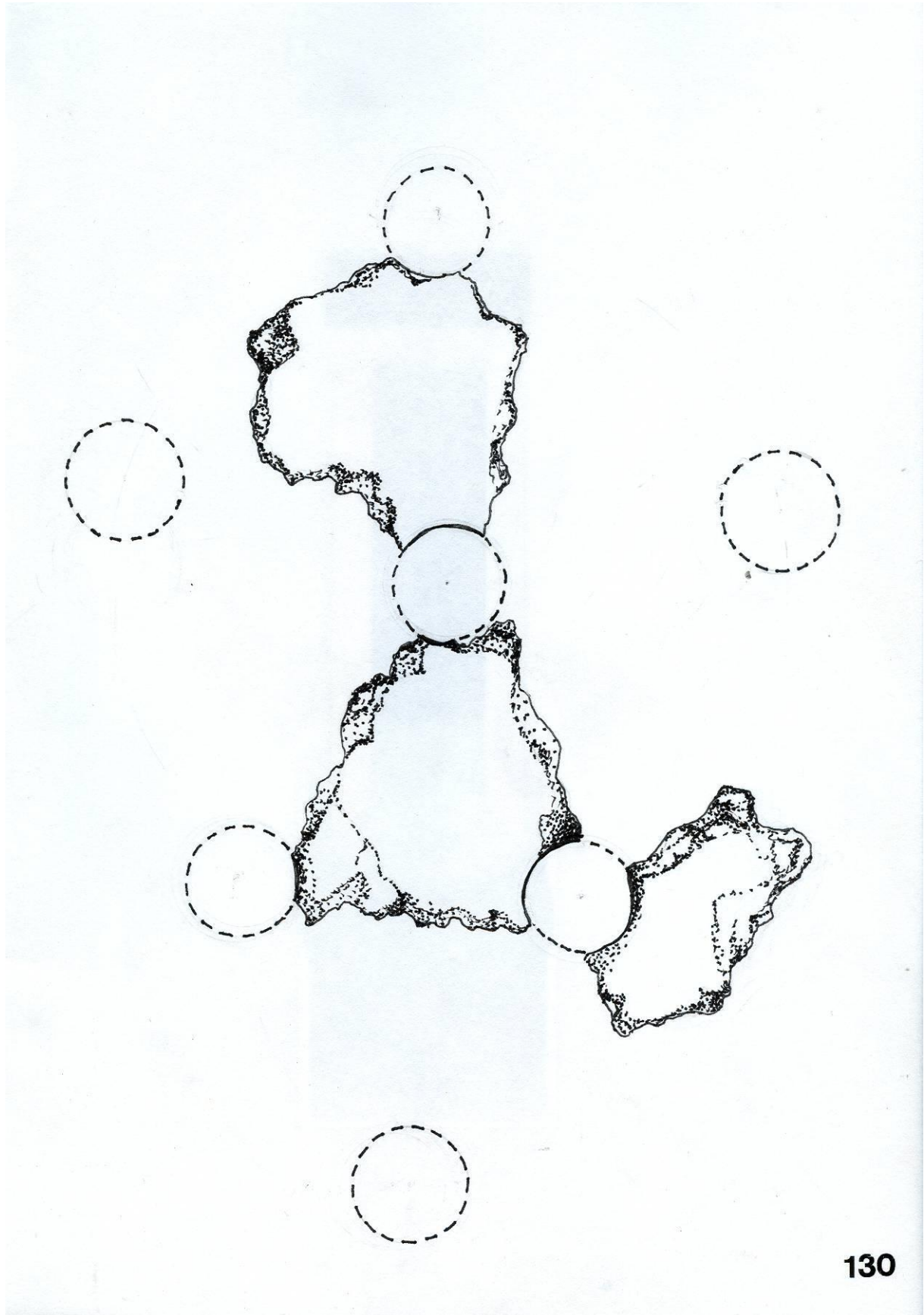
1



2

128

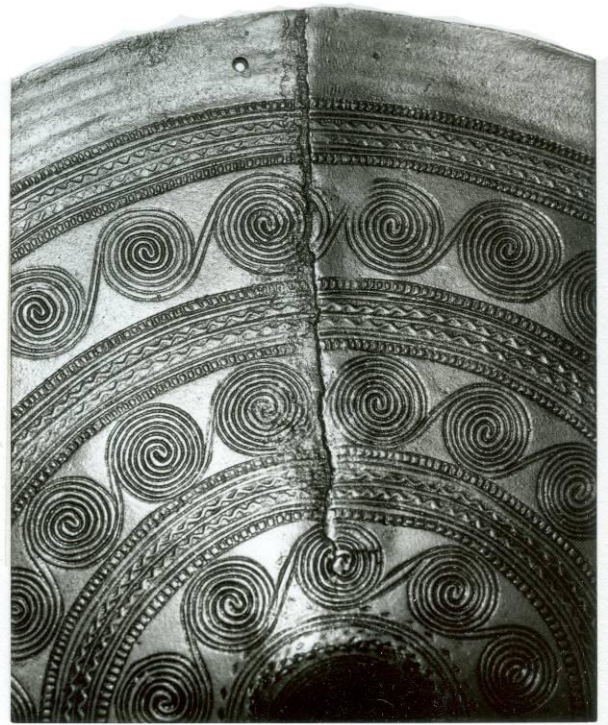




130



1



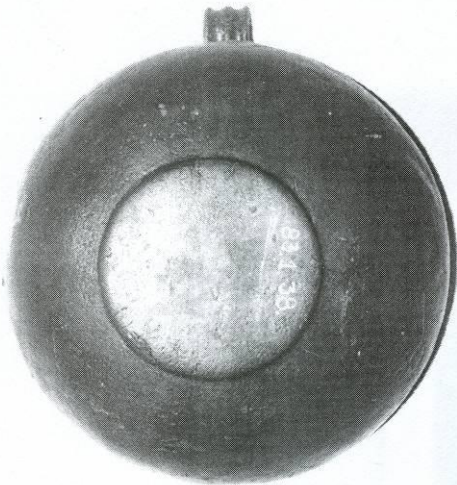
2



3



4



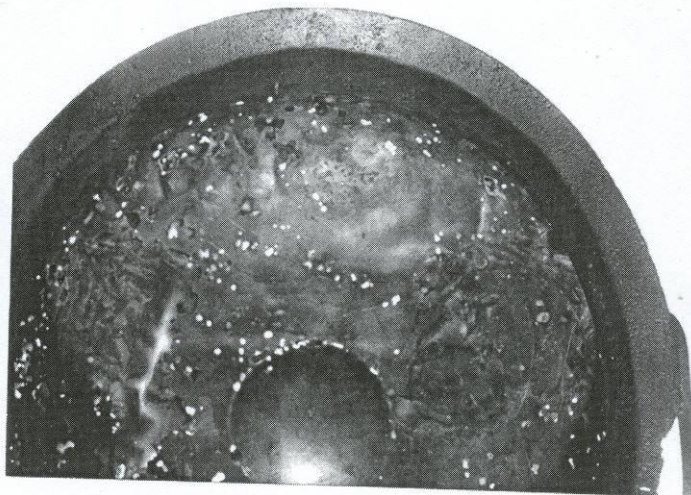
1



2



3



4

132



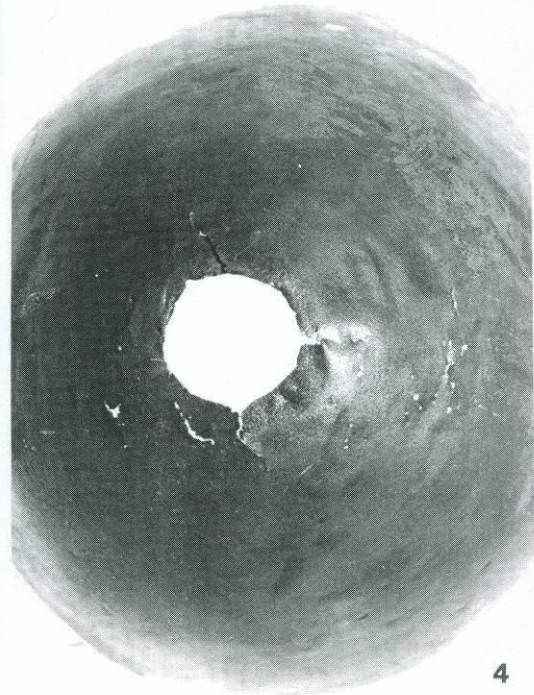
1



2

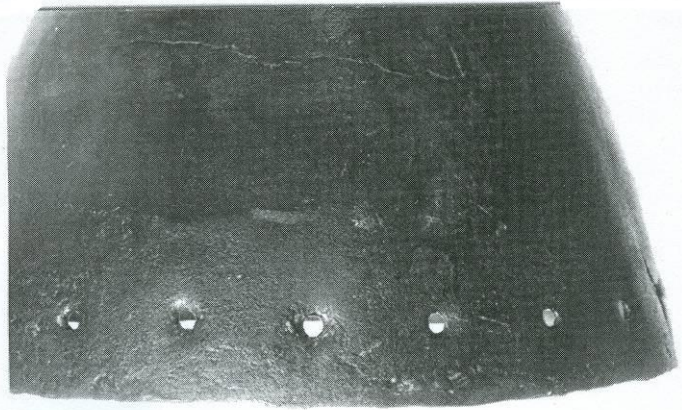


3

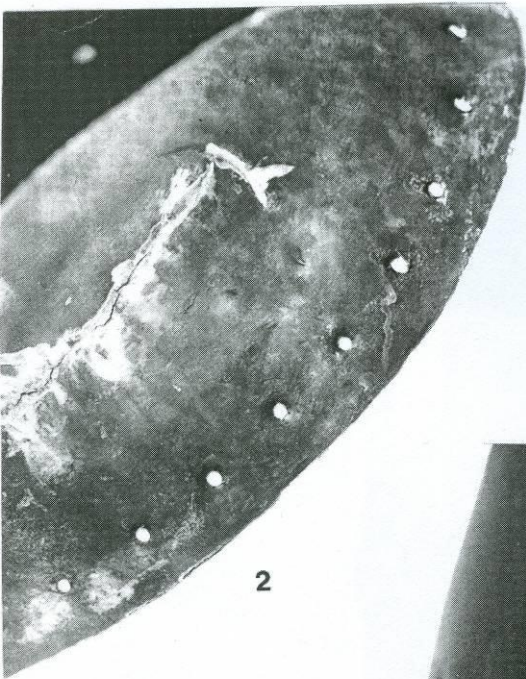


4

133



1



2

