



Universitatea București
Facultatea de Geologie și Geofizică



TEZĂ DE DOCTORAT

*Cercetări mineralogice, fizico-chimice și geochimice comparative
asupra „bronzurilor” din siturile arheologice Arad, Șpălnaca
(Jud. Alba), Drajna (Jud. Prahova) și a minereurilor din ariile
potențiale sursă*

- R E Z U M A T -

Coordonator științific Prof.dr. **Gheorghe C. POPESCU**

drd. ing. **Monica BUSUIOC (căs. MACOVEI)**

Septembrie 2011

CUPRINS

1. INTRODUCERE.....	03
1.1. Problematika lucrării.....	03
1.2. Încadrarea geografică a perimetrelor vizate.....	06
1.3. Cadrul geologic – prezentarea ariilor potențiale - surse de materii prime	06
1.4. Cadrul istoric - Epoca Bronzului.....	07
1.5. Sursele probelor: piese arheologice din Muzeul Național de Istorie, piese arheologice din Complexul Muzeal Arad și eșantioane geologice din zăcămintele considerate posibile surse de metale.....	08
2. ISTORICUL CERCETĂRILOR.....	10
3. METODE DE ANALIZĂ.....	13
3.1. Recoltarea probelor: instrumente și metode.....	13
3.2. Metode de analiză specifice ce pot fi realizate asupra artefactelor arheologice.....	14
4. REZULTATELE OBȚINUTE	15
4.1. Studiu calcografic al probelor provenite din obiectele arheologice.....	15
4.2. Rezultate ale analizelor XRF realizate asupra probelor provenite din obiectele arheologice.....	18
4.3. Studiu calcografic al eșantioanelor provenite din ariile considerate.....	24
4.4. Analize chimice: XRF asupra probelor provenite din zăcămintele.....	24
4.5. Analiza izotopilor stabili de plumb.....	26
5. CONCLUZII.....	27
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....	29

Mulțumiri

Prima persoană ce a avut un rol deosebit în sprijinirea realizării acestei lucrări este Prof. dr. **Gheorghe C. Popescu**, îndrumătorul tezei mele de doctorat. Dânsul a fost cel care m-a determinat să încep activitatea doctorală, m-a îndrumat pe parcursul anilor cu sfaturi bune, sprijin moral și informațional.

Sprijinul financiar în această perioadă a venit din partea proiectului de Burse Doctorale „Suport financiar pentru studii doctorale privind complexitatea din natura, mediu și societatea umana”, Contract Nr. Contract nr.: POSDRU/6/1.5/S/24. Proiectul a fost desfășurat de următoarea echipă: Director proiect – **Prof. dr. Angheluță VĂDINEANU**; Manager proiect – **Magda BUCUR și Geta RĂȘNOVEANU**.

Profesorului dr. Mihai Ducea de la Universitatea din Arizona îi mulțumesc pentru sprijinul tehnic (aparatura de prelevat probe), sprijin informațional dar mai ales pentru ideea și realizarea de analize izotopice. Un aspect deosebit de important al lucrării. Mulțumesc ing. **Emanuel Costin Bundă** cu ajutorul căruia am reușit să îmi obțin primele probe din material arheologic, punându-mă în contact cu arheologii din cadrul Complexului Muzeal Arad. Probele mi-au fost facilitate de către **dr. Victor Sava**.

În practica din anul I am fost sprijinită de persoanele care au condus săpăturile arheologice din locul numit „La Podanc” de lângă orașul Lăpușul Românesc: **dr. Carol Kacsó**, de la Muzeul de Istorie din Baia Mare, **dr. Carola Metzner - Nebelsick** din cadrul Universității germane “Ludwing Maximilian” și **Prof. dr. Loius D. Nebelsick** de la Universitatea poloneza Wuzzynski.

Mulțumesc domnului **dr. Bogdan Constantinescu** precum și echipei sale de lucru de la Institutul de Fizică Nucleară Horia Hulubei: **Daniela Cristea și Cătălina Chiojdeanu**, care m-au ajutat în realizarea analizelor de raze X. Domnului B. Constantinescu îi mulțumesc de asemenea în mod deosebit pentru informațiile teoretice furnizate, numeroase articole, precum și sfaturi prețioase.

Tot pentru realizarea unor analize de raze X am fost sprijinită de domnul profesor **Cristian Panaiotu**.

De asemenea, un sprijin deosebit mi-a fost acordat de către colectivul de la Muzeul Național de Istorie: **dr. Eugen Silviu Teodor, drd. Corina Nicolae, Popescu Mircea**. Pentru obținerea probelor din artefactele de la Drajna de Jos precum și a unor cărți, articole și informații mulțumesc domnului **Mihai Ștefan Florea**.

Mulțumesc **dr. Mihaela Cioacă, Daniel Manuchian, conf.dr. Antonela Neacșu, conf.dr. Sorin Udubașa, dr. Muneanu Loreta, conf. dr. Gheorghe Ilinca** pe care i-am abordat-o cu întrebări din domeniul geologiei și care mi-a scutit din timpul de căutare a acestor răspunsuri în bibliografie și domnului **Dumitru Danci** pentru sprijin deosebit. De multe ori, în problemele tehnice am fost ajutată de domnul **Ilie Paul**. Mulțumiri aduc de asemenea domnilor **conf. dr. Radu Jude și M.c.alAcad.dr. Gheorghe Udubașa** pentru sfaturile sale date cu atâta căldură.

Deosebite mulțumiri aduc familiei mele care m-a sprijinit moral dar și financiar uneori.

1. INTRODUCERE

1.1 Problematika lucrării

Această lucrare se înscrie în spiritul actual al științelor prin realizarea unui studiu interdisciplinar. S-a încercat utilizarea metodelor ingineresti, geologice, caracterizate de analize precise într-un studiu aplicat unui domeniu socio-uman.

Lucrarea are la bază studierea unor lingouri și artefacte de origine arheologică aparținând Epocii Bronzului. Elementele de noutate constă atât în analizarea unor artefacte inedite cărora li s-a dorit elucidarea compoziției chimice cât și în încercarea de stabilire a sursei/surselor de materii prime care a stat la baza acestora. Artefacte ce erau clasificate în cataloagele muzeelor care le găzduiesc drept „bronz”. La nivelul actual de cunoaștere, încă nu a putut fi identificată concret, cu dovezi obiective, o sursă locală a materialului din care sunt realizate obiectele de cupru și bronz din Epoca Bronzului.

Intensificarea schimburilor și implicit a retopirii obiectelor vine ca un important impediment în stabilirea sursei de materii prime.

În primul rând trebuie avut în vedere faptul că denumirea de „bronz” este una generică, implicând o mare variabilitate a compoziției și care nu respectă standardele actuale de clasificare și identificare a bronzurilor metalurgice. Prelucrarea artizanală a materiei prime a dus la realizarea de obiecte-unicat atât în ceea ce privește forma dar și compoziția. Acest caracter de unicitate se păstrează chiar și în cazul în care obiectele sunt turnate, deoarece nu se utilizau presiuni crescute, centrifugare sau alte mijloace care fac aliajele moderne să fie uniforme din punct de vedere al compoziției.

Metodele de analiză au fost aplicate în ordinea accesibilității lor, ținând însă cont și de cantitatea mică de material pe care am avut posibilitatea de a-o preleva din obiectele arheologice: pornind de la elementarele observații macroscopice, trecând prin studiul microscopic amănunțit și ajungând până la determinarea compoziției întâi cu raze X (metodă non-distructivă) apoi recurând la analize de compoziție mai amănunțite, dar distructive.

Aceste analize și studii și-au dovedit aplicabilitatea în domeniul istoriei, aducând argumente palpabile acolo unde se fac de obicei presupuneri. Analizele realizate au avut drept scop final o încercare de stabilire a unei metode optime de certificare a originii materiei prime a obiectelor din siturile arheologice, cu o aplicabilitate specifică în câteva locații de pe teritoriul României: împrejurimile Aradului (Județul Arad), bazinul Mureșului, Șpălnaca (Județul Alba) și Drajna de Jos (Județul Prahova).

Trebuie subliniată importanța deosebită pe care o are subiectul abordat la nivelul teritoriului țării noastre și a legăturilor cu teritoriile învecinate. Este un bun prilej de a încerca dovedirea prin metode certe a existenței schimburilor la nivelul Epocii Bronzului și de a dovedi utilizarea materiilor prime existente în ocurențele de pe teritoriu românesc.

Studii de acest tip au fost realizate și în alte țării, de aceea sper ca lucrarea de față să vină în completarea informațiilor care există la acest subiect deoarece la nivelul țării noastre asemenea

studii sunt foarte puține. Poate și numărul lor redus este cauza pentru care acestea au rămas într-un oarecare anonim.

Participarea în proiectul ROMANIT, a asigurat o bază de plecare în vederea obținerii de probe din piese arheologice. În cadrul acestui proiect au fost prelevate aproximativ 1000 de probe din piese de chihlimbar. Metoda am aplicat-o apoi în mod similar și obiectelor de bronz din cadrul Complexului Muzeal Arad, secția de Arheologie și celor din cadrul Muzeului Național de Istorie a României. Diferența dintre cele două materiale s-a dovedit destul de mare, durata prelevării unei probe fiind mult mărită în cazul pieselor de bronz. Din cauza faptului că se acționa mai mult timp de-asupra probe (aerul care răcește motorul biaxului îndepărta pulberile fine), pierderile au fost un pic mai mari.

Bronzul reprezintă un aliaj deosebit de important în evoluția omenirii și mai ales în evoluția metodelor de prelucrare a metalelor, acesta fiind unul dintre primele aliaje descoperite de om.

După proporția elementelor de aliere aliajele pot fi clasificate în:

- Slab aliate: elemente de aliere sunt prezente în proporție de 2,5%
- Mediu aliate: elementele de aliere sunt prezente în proporție de 2,5-5,0%
- Bogat aliate: elementele de aliere sunt prezente în proporție de peste 10%

Aliajele mai pot conține în cantități de sub 0,1% alte elemente (elemente modificatoare) adăugate intenționat pentru a ameliora calitățile acestor aliaje.

Structura este determinată prin metode de analiză macro și microstructurale. Ea este direct determinată de constituția aliajului prin forma, distribuția, dimensiunile și natura acestora.

Alte criterii de clasificare a aliajelor, în afară de proporția elementelor de aliere, sunt: metalul de bază, numărul de componenți, respectiv faze, proprietăți, utilizări.

Apariția utilizării metalelor în civilizația umană a jucat un rol deosebit de important prin accelerarea dezvoltării societății. Alături de aur (care este citat ca primul metal utilizat de om) cuprul este cel mai vechi metal utilizat încă din Preistorie. Odată cu dezvoltarea, diversificarea și îmbunătățirea activităților oamenilor au simțit nevoia să modifice și metalul conform necesităților lor; prin urmare, au început alierea cuprului și astfel s-a făcut trecerea la o nouă epocă a omenirii: Epoca de Bronz. Inițial istoricii considerând suficientă această descoperire pentru marcarea limitei dintre Epoca Pietrei și cea a Metalelor (care debutează cu Epoca Cuprului). Ulterior s-a dovedit că simpla apariție a bronzului nu justifică delimitarea unei epoci, ci aceasta trebuia făcută pe criterii mai complexe care să aibă în vedere toate aspectele ce au transformat respectivul habitat, economia și tehnologia, dinamica populației, practicile funerare, viața spirituală. (Academia Română, 2001)

Rămâne în discuție dacă alierea a fost la început accidentală sau a fost de la bun început intenționată. Este posibil ca metalele de aliere a cuprului să fi provenit împreună cu acesta direct din minereu, iar în urma topirii oamenilor să fi sesizat faptul că obiectele realizate din astfel de minereu sunt mult mai rezistente decât cele realizate din cupru nativ. Cele mai utilizate minerale de cupru sunt de două tipuri oxidice și sulfuroase.

Cel mai adesea prelucrarea minereului de cupru are loc prin procese pirometalurgice, mai rar hidrometalurgice. Pirometalurgia utilizează pentru extragerea cuprului următoarele procedee:

prăjirea (900°C), topire (rezultă mata), convertizarea matei (realizată într-un convertizor care suflă aer sau oxigen) și rafinarea (electrolitică). (Hărtărăscu, 1982)

Din punct de vedere al modului în care realizează legături cu cuprul, elementele pot fi clasificate în trei grupe principale (conform Buzatu, 2009):

1. **elemente care se dizolvă în cupru** (ținându-se cont de procentul în care acestea sunt prezente) în stare solidă: Al, Fe, Si, Sn, Ag, Pt, Mo, Be, Zr, As, Mg, etc.
2. **elemente care nu pot fi dizolvate în cupru** (formează eutectice ușor fuzibile): N₂, Bi și Pb.
3. **elemente cu care formează compuși chimici**: oxigen, sulf, fosfor, etc.

Aliajele de cupru pot fi clasificate fie după elementul principal de aliere, fie după proprietățile și întrebuințările ulterioare sau după tehnologiile care duc la realizarea produselor și semiproduselor finite.

Lucrarea de față abordează mai mult clasificarea din punct de vedere compozițional (majoritatea obiectelor analizate fiind manufacturate din bronz cu un conținut redus de staniu, dar care prezintă și alte elemente de aliere). Potrivit acesteia alierea cuprului se face fie cu zinc (alame) fie cu alte metale alături de Sn (bronzuri) – Al, Mn, Ag, Ti, Zr, Pb, Ni, Si, Be, Cr, etc. Bronzurile, la rândul lor, sunt împărțite în bronzuri cu staniu și bronzuri cu alte metale.

Bronzurile cu staniu pot fi clasificate în:

- Bronzuri cu un conținut redus de staniu (8-9%), cu structură monofazică
- Bronzuri de turnătorie care conțin pe lângă staniu și alte elemente (Zn, P, Pb, Ni, Al, Si, Ti, Zr)
- Bronzuri speciale

Cel mai probabil, complexitatea aliajelor obținute în Epoca Bronzului nu au fost dictate de necesitățile tehnologice ci au fost rezultatul unei metalurgii incipiente care nu putea duce la crearea unui aliaj pur. Dar exista un alt factor important care a dus la realizarea unor aliaje destul de asemănătoare cu cele moderne: necesitatea obținerii anumitor proprietăți mecanice. Retopirea materialului, adăugarea fie de minereu de cupru, fie de adaos de aliere (staniu sau alte metale) a fost făcută în vederea obținerii unui material rezistent și ușor de prelucrat. Un alt factor important care a dus la segregarea unor aliaje bune a fost temperatura optimă de topire. Se pare, dovedesc studii recente efectuate experimental (Werthmann, 2011), că nu este ușoară obținerea de metal prin topirea unui minereu în cuptoare asemănătoare cu cele utilizate de predecesori. Folosirea unei anumite granulații de minereu și cărbune, adaosul continuu de aer în procesul de ardere, cantitățile și raporturile dintre materialul de combustie și minereu, toate trebuie să coexiste într-un echilibru optim. Se pare că singura rețetă care duce la rezultate optime este experiența meșterului.

Cuprul în arheologie mai joacă un rol, uneori neștiut de arheologi: zonele adiacente obiectelor de bronz sunt zone de oxidație, unde se conservă foarte bine resturi organice (polen, semințe) pe care se pot realiza analize izotopice pentru stabilirea vârstei nivelului respectiv din situl arheologic.

1.2. Încadrarea geografică a perimetrelor vizate

Piese probate pot fi separate în trei mari categorii din punct de vedere al locației siturilor arheologice cărora le aparțin: grupul de seceri care aparțin depozitului de la Drajna, piesele din siturile localizate în împrejurimile Aradului și două piese din locații diferite (turta de la Șpălnaca, comuna Hopârta, județul Alba și seceră de la Gușterița, lângă Sibiu).

1.3. Cadrul geologic – prezentarea ariilor potențiale surse de materii prime

Au fost considerate drept arii potențiale sursă de materii prime pentru confecționarea obiectelor în antichitate ariile corespunzătoare Munților Apuseni, precum și partea vestică a Carpaților Meridionali. Dintre acestea au fost selecționate câteva zăcăminte importante cu un cunoscut potențial cuprifer. Acestea reprezintă arii sursă potențiale pentru obiectele arheologice descoperite de-a lungul bazinului hidrografic al Mureșului.

Din punct de vedere al posibilelor surse de materie primă obiectele arheologice analizate se împart în două grupe, după cum au și fost prelevate probele. Prima, corespunzătoare sitului arheologic de la Drajna nu are o sursă proximală de cupru. Desigur, ar putea fi citate atât surse din Carpații Orientali (așa cum este zăcămintul de la Bălan), precum și zăcăminte situate la distanță ceva mai mare de tipul Altân Tepe (Dobrogea), dar proximitatea nu este atât de mare ca în cazul precedent, iar aglomerarea mare de obiecte în cadrul sitului arheologic de la Drajna poate duce la concluzia că acestea sunt strânse din diferite locații.

Pentru piesele aparținând Complexului Muzeal Arad surse de cupru pot fi identificate în Provincia Munților Apuseni și vestul Provinciei metalogenetice a Carpaților Meridionali.

În cazul Provinciei Munților Apuseni a fost luat în discuție zăcămintul de la Deva, cel de la Baia de Arieș, Băișoara. Pentru Meridionali a fost ales zăcămintul Moldova Nouă, cu activitate de extragere cunoscută în Epoca Bronzului și Ocna de Fier situat în proximitatea acestuia. Un alt zăcămint aparținând Carpaților Meridionali este cel de la Baia de Aramă și el cu menționate urme de extracție ce se adâncesc în istorie.

Munții Apuseni reprezintă cea mai importantă provincie metalogenetică a României. Cuprul este foarte comun în Apuseni, în special în Munții Metaliferi și apare în zăcăminte de vârste diferite și cu geneze diferite; uneori poate fi întâlnit în forma sa nativă, alteori în asociere cu alte minerale. În zonele de oxidație apare ca malahit, azurit, calcozină, cuprit foarte ușor de identificat după coloritul lor specific. Acestea din urmă reprezintă, cel mai probabil principala sursă de materie primă în Preistorie.

Unitatea metalogenetică a Munților Apuseni – individualizează o unitate de tip alpin – carpatic, cu caractere specifice pe de o parte, și cu caractere comune cu celelalte unități carpatice de pe teritoriul românesc, pe de altă parte ea concretizează, în esență, o unitate de subducție cu o metalogeneză corespunzătoare la nivelul Cretacicului superior, asociată magmatismului banatic, dar cuprinde și concentrațiuni de minerale utile aferente formațiunilor cristaline

prealpine, regenerate tectonic în orogeneza alpină, precum și acumulări metalifere specifice stadiului de expansiune – asociate magmatitelor ofiolitice.

În plus, activitatea vulcanică neogenă și zăcămintele asociate, pledează pentru continuarea evoluției unității Apusenilor în regim de convergență, dar modelele geodinamice avansate pentru explicarea acestor situații sunt încă discutabile. Pe fondul acțiunii factorilor crustali majori – divergența, convergența și fracturile crustale, au acționat factorii locali – petrogenetici și tectonici care au determinat individualizarea unităților metalogenetice de rang inferior – districte, sectoare, câmpuri și corpuri metalogenetice în cadrul Munților Apuseni.

La partea superioară a zăcămintelor de cupru din România cuprul nativ și calcopirita, principalele minerale din care se extrage cuprul, sunt asociate cu minerale de arsen. Mineralele de cupru care sunt găsite în cantități suficiente pentru a fi exploatare cuprind: azuritul, malachitul, tennantitul, calcopirita și bornitul, rar calcozina și covelina. Acest lucru se traduce în posibilitatea ca primele bronzuri realizate cu material autohton să fie bronzuri arsenifere (Manilici&Manilici, 2002).

1.4. Cadrul istoric – Epoca Bronzului

Încadrarea din punct de vedere istoric a obiectelor arheologice ce fac obiectul studiului de față se va face la nivel general, prin prezentarea de ansamblu asupra Epoci Bronzului și câteva noțiuni evolutive identificate la nivelul fiecărei etape ale acestei perioade istorice.

Încă din cele mai vechi timpuri zăcămintele din România au jucat un rol deosebit atât la nivel regional cât și la nivelul întregii țări. Fiecare epocă istorică este caracterizată de concentrarea pe exploatarea unor anumite resurse minerale, în funcție de cerințele evoluționare și deplin acord cu dezvoltarea tehnologiei.

Au fost exploatare în mod considerabil aurul, cuprul, zincul, plumbul, magneziul, fierul și sarea. Cele mai vechi mărturii atestă producerea aurului la Cireșata în Districtul Brad (Munții Apuseni) în timpul perioadei Neolitice (10.000 – 1900 î.e.n.) atât din aluviuni cât și direct din roca gazdă. Se presupune că în Moldova se extrăgea sarea și probabil cupru. Artefactele descoperite atestă utilizarea cuprului topit, iar ceramica colorată este o dovadă a utilizării magneziului (ca pigment) (Borcoș et al., 1998).

Cel mai prețuit metal exploatat pe teritoriul țării noastre, cu un rol economic deosebit este aurul. În Epoca Bronzului și, mai târziu, în cea a Fierului aurul are rol tot mai important în sublinierea ierarhiei sociale. Devine tezaur și tot mai puțini indivizi au acces la el. Utilizarea timpurie a aurului se explică prin ușurința cu care el este extras și prelucrat.

Odată cu dezvoltarea societății umane a crescut și necesarul de metale, utilizarea acestora fiind din ce în ce mai larg răspândită.

În timpul Epocii de Bronz și la începutul Epocii Fierului, aurul și cuprul erau produse în districtele din Transilvania, Banat, Oltenia și Dobrogea. Producția de aur era centrată în zona

munților Metaliferi, Districtul Brad și, probabil, la Roșia Montană. Producerea bronzului, aurului și fierului erau larg răspândite (Borcoș et al., 1998).

Prima perioadă a Epocii metalelor, subdiviziune culturală și cronologică a Preistoriei este denumită Epoca Bronzului. Pe teritoriul României, Epoca Bronzului se desfășoară între circa 2200 și 1100 î.Hr., distingându-se trei perioade: timpurie (circa 2200 – 1700 î.Hr.), mijlocie (circa 1700-1350/1300 î.Hr.) și târzie (circa 1350/1300 – 1100 î.Hr.). Epoca Bronzului se caracterizează prin înlocuirea treptată a uneltelor și armelor de aramă cu cele de bronz, aliaj de cupru cu cositor, tot mai numeroase în Epoca bronzului mijlociu și târziu, când apar diferite tipuri de arme și podoabe.

1.5. Sursele probelor: piese arheologice din Muzeul Național de Istorie, piese arheologice din Complexul Muzeal Arad și eșantioane geologice din zăcămintele considerate posibile arii sursă

De fiecare dată când avem ca obiect de studiu un artefact arheologic intervin probleme etice și uneori legale cu privire la intervenția asupra obiectului. Uneori însă, analizarea acestuia necesită obținerea unei cantități de material din respectivul obiect, mai cu seamă că nu este mereu permisă deplasarea obiectului din cadrul muzeului. Intervenția asupra obiectului trebuie să fie minimalizată și realizată astfel încât să intervină cât mai puțin asupra formei și aspectului inițial al obiectului.

O altă problemă este stratul de alterare care acoperă majoritatea obiectelor descoperite de către arheologi. Acest strat intervine ulterior în calcularea procentelor elementelor care compun materia primă a obiectelor. Cu cât piesele au fost expuse unor condiții mai corozive, cu atât cuprul din bronzuri este dizolvat, iar celelalte elemente sunt găsite în cantitate mai mare. Acolo unde nu este posibilă eliminarea alterației, trebuie neapărat menționată existența ei în probă, pentru a se ține cont de eventualele modificări induse de acesta.

În vederea realizării comparației cu posibilele surse de materie primă au fost alese probe geologice din următoarele locații: Baia de Aramă (SBAR_T2II; SBAR_T2I), Deva (SD), Moldova Nouă (SMN), Baia de Arieș (SBAS_M; SBASM_mi) și Ocna de Fier (SOF). Au fost de asemenea analizate și câteva probe de cupru nativ (Băița Bihor – C1, Altân Tepe – C2 și Bălan – C3), dar acestea nu au furnizat informații menite să indice posibilitatea identificării unei surse prin compararea acestui tip de mineralizație cu materialul din care au fost realizate artefactele arheologice.

Compoziția probelor de cupru nativ prezintă un procent de cupru de 99,4% pentru C1, 99,7% pentru C2 și 97,8% pentru C3. Alături de acesta au fost identificate urme de plumb, arsen, zinc și fier.

Prelevarea de probe din materialul arheologic a avut două etape: prelevarea probelor din cadrul Complexului Muzeal Arad și prelevarea probelor din cadrul Muzeului Național de Istorie a României.

Tabelul 1: Centralizarea piesele arheologice din cadrul Complexului Muzeal Arad ce sunt cuprinse în această lucrare

Nr. Crt.	Artefact	Nr. Inv.	Loc de proveniență	Anul intrării în muzeu	Datare istorică
A1	Topor	FNI	Păuliș	-	Bronz timpuriu
A2	Seceră	16742	Sântana – Cetatea Veche	Mart.1997	Bronz final (D)
A3	Seceră	16743	Sântana – Cetatea Veche	Mart.1997	Bronz final (D)
A4	Ace ornamentate	12544, 12549	Pecica	-	
A5	Brățară	Nou	Sântana	2009	Bronz final (D)
A6	Turtă	Nou	Sântana	2009	Bronz final (D)
A7	Lamă	Nou	Sântana – Cetatea Veche	Noe. 2008	Bronz final (D)
A8	Lamă	Nou	Sântana – Cetatea Veche	Noe. 2008	Bronz final (D)
A9	Celt	Nou	Sântana	2009	Bronz final (D)
A10	Brățară	Nou	Sântana	2009	Bronz final (D)
A11	Brâu ornamentat (2 bucăți)	Nou	Sântana – Cetatea Veche	Noe. 2008	Bronz final (D)
A12	Turtă	FNI	Zona Aradului	~1900	Bronz mediu
A13	Vârf de lance	12417	Păuliș	-	Bronz mediu
A14	Disc solar	FNI	Cicir (Păuliș)	-	Bronz mediu (C)
A15	Dălțiță	?	Socodor	-	Bronz mediu
A16	Brățară	1689	Păuliș	-	Bronz final (D)
A17	Brățară	1691	Păuliș	-	Bronz final (D)
A18	Brățară	1690	Păuliș	-	Bronz final (D)
A19	Seceră	12400	Gușterița	-	Bronz final (D) – H1
A20	Celt	12642	Sântana	-	Bronz final (D)
A21	Vârf de lance	1692(exp.)	Păuliș	-	Bronz final (D)
A22	Vârf de lance	1693(exp.)	Păuliș	-	Bronz final (D)
A23	Celt	1697(exp.)	Păuliș	-	Bronz final (D)
A24	Vârf de suliță	1606(exp.)	Păuliș	-	Bronz final (D)
A25	Topor de luptă	1694 (exp.)	Felnac	-	Bronz final (D)
A26	Ac	exp. (mic)	Felnac	-	Final de Bronz C
A27	Ac	exp.	Felnac	-	Final de Bronz C
A28	Turtă	12401	Șpălnaca	-	Bronz final (D)

Din inventarul Muzeului Național de Istoria României au fost selecționate 15 seceri aparținând aceluiași depozit arheologic – Drajna, Județul Prahova. Acestea prezintă tipologii diferite. Au fost recoltate 12 probe prăfoase și 16 fragmente. Probele prăfoase sunt în principal utilizate în stabilirea conținutului chimic, în vreme ce probele solide stau la baza observațiilor legate de structura internă, rezultat al proceselor de turnare și prelucrare.

Tabelul 2: Centralizarea piesele arheologice din cadrul Muzeului Național de Istorie – depozitul de la Drajna, Județul Prahova

Nr. Sursă arheologică	Obiect	Nr. Inv.	Loc de proveniență	Anul intrării în muzeu	Datare
A29	Fragment seceră	15868	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A30	Fragment seceră	15869	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A31	Fragment seceră	15863	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A32	Fragment seceră	15866	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A33	Seceră	13332	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A34	Seceră	13322	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A35	Seceră	13317	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A36	Seceră	13414	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A37	Seceră	13325	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A38	Seceră	13326	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A39	Seceră	13272	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A40	Seceră	13289	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A41	Seceră	15861	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A42	Seceră	13274	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
A43	Seceră	15870	Drajna de Jos	1978	Secolul - XIII î.e.n.
PXC	Material conservare	PXC	MNIR	?	recent

Ultima probă din tabel, notată cu PXC, este o probă din materialul protector cu care unele dintre piese erau acoperite. Ca aspect și duritate aceasta corespunde cu o ceară sintetică, de culoare albă. Proba a fost colectată în vederea analizării pentru a verifica dacă nu induce un grad de eroare în rezultatul analizelor. La prelevarea probelor din obiecte s-a încercat pe cât posibil eliminarea acestui strat acoperitor. În urma analizării probei la XRF s-a demonstrat că aceasta nu schimbă cu nimic spectrul elementar pentru obiectul analizat. Nu există date în legătură cu momentul în care a fost aplicat acest strat protector.

2. ISTORICUL CERCETĂRILOR

Urmele unor activități de prelucrare a bronzului au fost identificate în mai multe castre și așezări de tip vicus militaris sau chiar în mediul urban propriu-zis (Ulpia Traiana Sarmizegetusa, Napoca, de pildă). În raport cu informațiile documentare oferite de descoperirile arheologice, atelierele pot fi clasificate în trei grupe. Această împărțire, pe de o parte, reflectă stadiul actual al cercetărilor, iar pe de alta, încearcă să ordoneze informațiile arheologice de până acum.

În prima grupă sunt incluse atelierele de prelucrare a bronzului identificate în construcții din piatră sau din lemn (barăci) cu spații special amenajate și cu tot inventarul adiacent. O a doua grupă este reprezentată de descoperiri de unelte, creuzete, tipare, chiar și piese rebutate. În a treia

grupă au fost incluse localitățile unde s-au descoperit doar simple creuzete (Benea, 2001 în Țeposu-Marinescu & Pop, 2000). Exploatarea minereului cuprifera și a celui de plumb este documentat până acum doar în punctul Ogașul Băieșului, de la Moldova Nouă, unde s-au și descoperit turte de metal topit (Țeposu-Marinescu & Pop, 2000).

Încă din 1955 au fost publicate parțial rezultatele săpăturilor de pe „terasa cu ateliere metalurgice” de la Grădiștea de Munte (C. Daicoviciu și colab., 1955, în Rustoiu, 1996), urmate apoi de observațiile obținute prin cercetarea atelierului de la Cățelul Nou (Leahu, 1965 în Rustoiu, 1996). Complexele respective au ilustrat faptul că într-o serie de făurării a fost prelucrat și bronzul. Descoperirea atelierului de la Pecica (jud. Arad) (Crișan, în Rustoiu, 1996) a ilustrat existența unor ateliere de orfeverie în care se prelucra și bronzul și argintul.

Aceste observații au fost fructificate recent (Glodariu și Iaroslavschi, 1979 în Rustoiu, 1996) prin analizarea atelierelor de fierărie din Dacia preromană. În aceeași lucrare au fost sintetizate și uneltele de fier utilizate în erfeverie. De asemenea, în contextul metalurgiei fierului, s-a atras atenția asupra tehnicilor de extragere și de prelucrare primă a minereurilor. Aceste ultime aspecte au fost completate recent prin abordarea aceleiași problematicei în cazul metalurgiei bronzului și a altor metale neferoase (Medeleț, 1992; idem, 1994; Iaroslavschi, 1995, în Rustoiu, 1996).

Prima tentativă de sistematizare a informațiilor privind atelierele din Dacia în care s-a prelucrat bronzul aparține lui S. Cociș (Cociș, 1982-1983, în Rustoiu, 1996). Ulterior, concluziile sale au fost completate prin publicarea unor ateliere descoperite prin publicarea unor ateliere descoperite într-o serie de cetăți și așezări (Șerbănescu, 1985; Florea, 1992; Rustoiu, 1992, în Rustoiu, 1996). Pe baza ultimelor informații (Sârbu, 1992 în Rustoiu, 1996) a încercat să reliefeze probleme și direcții noi în cercetarea metalurgiei bronzului. În ceea ce privește produsele de bronz, studierea lor nu va fi posibilă fără publicarea detaliată a pieselor descoperite în diverse stațiuni arheologice. Rapoartele de săpături din unele așezări bogate în materiale arheologice au fost publicate p larg încă din perioada interbelică (Vulpe și Vulpe, 1924; idem, 1927-1932, etc. în Rustoiu, 1996). Cercetările au continuat în anii de după război, rezultatele fiind consemnate în „Studii și cercetări de istorie veche”, iar mai apoi în „Materiale și cercetări arheologice”. Încă din deceniul al șaselea au fost elaborate o serie de monografii arheologice (Daicoviciu, 1954 în Rustoiu, 1996). Acest gen de lucrări, deosebit de importante prin introducerea în circuitul științific a unei documentații bogate, s-a intensificat în ultimele două decenii. Monografiile stațiunilor Pecica, Marca, Sprâncenata, Căpâlna, Tilișca, Brad, etc., constituie repere de prima mărime în tentativa de sistematizare a artefactelor de bronz din Dacia preromană. Acestor lucrări li se adaugă studii, mai mult sau mai puțin cuprinzătoare, referitoare la unele așezări daco-getice ori cele care au vizat publicarea unor categorii de podoabe sau piese vestimentare din bronz.

Cercetarea aspectelor metalurgiei bronzului din Dacia preromană și a produselor de bronz a fost ușurată simțitor prin posibilitatea raportării pieselor daco-getice la descoperirile din alte zone etno-culturale. În acest sens, publicarea unor lucrări de specialitate vizând probleme tehnologice și analize pe categorii de piese descoperite în lumea romană ori în zonele locuite de celți,

germani etc. , au fost deosebit e utile în identificarea elementelor locale și a influențelor ori pieselor străine din lumea daco-getică. (Rustoiu, 1996)

Pentru zona Transilvaniei, studii de referință datează încă din 1880: J. Hampel și B. Milleker, cu multiple lucrări.

Cercetări de chimism asupra obiectelor arheologice de bronz au fost realizate pentru prima oară de chimistul german Marin Heinrich Klaproth care a adunat cele peste 200 de lucrări ale sale în 6 volume (1795–1815).

Manuela Kadar (2007) menționează că prima oară când s-a pus în discuție, din punct de vedere al originii, bronzul Transilvan, a fost la sfârșitul secolului XIX. J. Loczka și O. Helm. Au fost cei doi autori care pe baza unor analize chimice au încercat elucidarea acestei dileme.

Încă din 1896 s-au ridicat diferite supoziții de valorificări a resurselor locale bazate pe proximitatea la care se află sursele cuprifere (J. Hampel).

Odată cu trecerea în secolul XX metodele analitice au câștigat teren în aplicabilitatea lor în acest domeniu.

Alte lucrări cu caracter arheologic, de la începutul secolului XX:, E. Orosz, 1900; importante sunt studiile asupra obiectelor de aramă și bronz ale lui Dorin Popescu (1925, 1932-1938, 1935-1936, 1937-1940) urmate de o lucrare de sinteză în 1944; I. Nestor, 1933 – o lucrare de sinteză asupra preistoriei României, desigur, autorul continuă publicarea și a altor studii; D. Popescu, 1935-1936, 1937-1940; I. Berciu, 1939-1942, D. Berciu, 1941; F. Schubert, 1965 precum și alte studii ulterioare ale aceluiași autor; Amália Mozsolics, 1967; D. Popescu și M. Rusu, 1966.

În 1968 apare o lucrare ce conține numeroase analize realizate pe obiecte de cupru și bronz (dintre care unele provin și de pe teritoriul României): *Studien zu den Anafängen der Metallurgie* - Kurt Bittel, Siegfried Jughans, Helmut Otto, Edward Sangmeister, Manfred Schroder. Conform autorilor lucrarea cuprinde 12.000 de analize (elementele identificate au fost As, Sb, Ag, Ni, Bi, au fost realizate hărți cu ariile acoperite de obiectele analizate precum și schița obiectului analizat). Din păcate unele din aceste analize și-au pierdut valoarea deoarece identificarea pieselor se face foarte greu datorită faptului că numerele de inventariere nu au fost păstrate, iar identificarea după schiță este discutabilă.

Mircea Rusu (1977) citează o listă cu zăcăminte de cupru, după E. Stoicovici și *Tabula Imperii Romani*.

Tot în Manuela Kadar (2007) găsim citați autori străini care au studiat această problematică după cel de-al doilea război mondial: R. Hachmann, E. Lomborg, I. Bóna, A. Mozsolics, M. Novotna, Vl. Miložčić, St. Foltiny, F. Schubert, M. Garašanin, J. Werner ș.a.

Probabil acesta poate fi considerat punctul de avânt pe care îl ia cercetarea în acest domeniu, deoarece perioada celor două războaie (fără a lua în considerare prea mult perioada interbelică) nu a lăsat prea mult loc dezvoltării cercetării istorice și arheologice. Finalul secolului XX reprezintă un elan tehnologic dar și un avânt în dezvoltarea cercetării în genere. Lucrările lui Al. Vulpe din 1973, respective 1974 continuă discutarea problemelor metalurgiei bronzului.

„Cartea de căpătâi” în studiul obiectelor de bronz, din punct de vedere arheologic, este lucrarea *Depozitele de bronzuri din România*, Petrescu-Dâmbovița M. (1977).

Ultimul deceniu al secolului XX începe să abunde de articole referitoare la diverse analize realizate asupra artefactelor arheologice. Sunt de menționat cercetători clujeni Z. Maxim și Gh. Lazarovici (Muzeul de Istorie a Transilvaniei) și cei de la Institutul Național de Fizică Atomică – A. Olariu, C. Beșliu, I.V. Popescu, T. Bădică. Alte nume emblematice studierii metalurgiei din Epoca Bronzului: H. Ciugudean, F. Gogâltan, I. Andrițoiu, G. Szabó, Fl. Crăciun, B. Bartok, Zs. Szekely, I Dénes.

O lucrare deosebit de importantă în studierea Epocii Bronzului este „*Bibliografia Epocii Bronzului pe teritoriul României*”, Eugen Comșa, 1996.

Pentru zona Transilvaniei mai există studii asupra ceramicilor de epoca bronzului, însoțite de analize ICP-MS, ICP-ES dar și analize microspice. (Hoeck et al., 2009).

O lucrare deosebit de interesantă din punct de vedere al realizării unor studii calcografice asupra obiectelor de bronz arheologic este cea a lui David A. Scott, 1991. Un amplu și complex studiu de cercetare la nivel regional aparține lui Lloyd R. Weekers – *Early metallurgy of the Persian Gulf*; studii cu privire la identificare originii materiei prime pentru Mesopotamia datează încă din 1930 – V.G. Childe.

De asemenea, sunt de amintit lucrările care vorbesc despre studiile izotopice realizate în zona considerată: Baron S., Tămaș C.G., Cauuet B. și Munoz M., 2011; Peter Andrăș, Martin Chovan, Vojtech Dirner, Ján Král' și Robert Bachlinski, 2010; Eric Marcoux, Luminița Grancea, Marian Lupulescu și Jean Pierre Mile, 2002; K.H. Bielicki și G. Tischendorf, 1991, etc.

Lista cercetărilor moderne este departe de a fi terminată, aceste studii au fost intensificate de-a lungul ultimelor decenii și au îmbrăcat cele mai diverse forme: volume, lucrări, articole, etc.

Acest scurt istoric reprezintă numai o imagine de ansamblu și este departe de a fi complet, numeroase titluri de lucrări marcante pot fi adăugate, dar aceasta ar putea face în sine subiectul unei cercetări separate.

3. METODE DE ANALIZĂ

3.1. Recoltarea probelor: instrumente și metode

Datorită durtății metalului s-a optat pentru o recoltare prin sfredelire, rareori obiectul a permis desprinderea manuală de mici fragmente, iar altele obiectele au fost probate cu ajutorul unei dălțițe.

Uneori obiectele au necesitat o curățare prealabilă și de alte materiale depuse, de exemplu, unele piese probate conțineau încă urme de sol. Curățarea s-a realizat cu apă (distilată) și cu ajutorul unor bețișoare cu vată de bumbac.

Pentru sfredelire au fost utilizate două tipuri de motoare biax: Proxon (unealtă de gravură GG12, 20 000 rpm și transformator de 12 V, 0,5 A) și Dremel (100 Series 35 000 rpm, 120 AC, 50-60 Hz, cu transformator). Pentru tăierea bucaților mai ample a fost de asemenea utilizată o dălțiță mică din oțel tratat, și un ciocan.

Nu a fost realizată o recondiționare a obiectelor respective, fie din pricină că obiectul nu era destinat expunerii publice, fie recoltarea s-a realizat undeva în interior, păstrând suprafața externă a obiectului intact. Problema restaurării rămâne la latitudinea custodelui. De cele mai multe ori este preferat ca obiectul să rămână așa, dar să fie consemnată operațiunea în fișa sa. Uneori însă se dorește ca spațiul rămas în urma recoltării să fie umplut, cel mai adesea cu un material total diferiți pentru a putea ușor decela ulterior intervențiile realizate asupra artefactului.

Fiecare piesă din care a fost recoltată o probă sau mai multe a fost documentată conform registrelor muzeului și a fost fotografiată.

Din păcate, în momentul recoltării nu am avut la dispoziție o balanță, prin urmare, cântărirea probelor s-a realizat ulterior. Pentru a nu risca pierdere de material, praful nu a fost cântărit, s-au cântărit doar 2 probe pentru a avea o estimare: s-a ales o probă foarte mică (84 mg) și una mare (187 mg). Cântărirea s-a realizat cu ajutorul unei balanțe electronice aflată în dotarea laboratorului Romanit, în cadrul Muzeului Național de Istorie a României: Mettler Toledo PR1203 (fig. 17). Aceasta poate cântări maxim 1210 g iar minim 0,001 g, prin urmare marja sa de eroare este de $\pm 0,001$ g.

În urma acestei campanii de probare au fost obținute 37 de probe din obiecte arheologice : 11 solide și 26 prăfoase, prezentate în amănunt în tabelul 3. Ele provin din 26 de obiecte arheologice din preajma Aradului: Păuliș, Sântana – Cetatea Veche, Cicir, Socodor, Felnac, Gușterița și 1 artefact din situl arheologic de la Șpălnaca.

Tot prin metode similare au fost recoltate și probele din cadrul Muzeului Național de Istorie a României (din 15 artefacte au rezultat 28 probe din care sub forma de pulbere 12). Probarea a fost realizată pe o parte din obiectele aparținând depozitul de la Drajna. Toate artefactele arheologice au fost fie seceri, fie fragmente ale acestora.

Alături de acestea se mai adaugă trei probe de cupru nativ din colecția Departamentului de Mineralogie al Facultății de Geologie și Geofizică și o proba (PXC) este provenită din materialul utilizat la conservarea artefactelor din depozitul de la Drajna.

3.2. Metode de analiză specifice ce pot fi realizate asupra artefactelor arheologice

Toate proprietățile caracteristice atât mineralelor cât și rocilor pe care acestea le formează pot fi utilizate oarecum la identificarea unui material, cu mențiunea că în cazul rocilor aceste proprietăți se manifestă mult mai neomogen datorită neomogenității structurale și a existenței porozității. Aliajele metalice pot fi asemănată cu agregate cristaline naturale.

Trebuie însă să ținem cont că materialul avut în discuție este unul arheologic, deseori cu valoare istorică, și care nu poate fi alterat, ori distrus. De aceea în studiul obiectelor arheologice vor fi utilizate de preferință acele metode non-distructive sau care intervin foarte puțin asupra obiectelor.

Proprietățile fizice specifice numai rocilor își găsesc foarte greu o utilitate practică în cazul studierii obiectelor de podoabă arheologice, mai ales având în vedere caracterul distructiv al determinării lor.

Dintre analizele care distrug în întregime, și iremediabil proba: Spectrometria de Masă Cuplată Inductiv (ICP-MS) Cromatografia Gazoasă – Spectrometrie de Masă (CG-MS), Spectrometria de Absorbție Atomică, analizele termice și datarea cu carbon.

Există și analize care distrug parțial, sau numai anumite proprietăți ale probei/obiectului, așa cum este cazul datării cu termoluminescență, care resetează la 0 vârsta obiectului.

Chiar și analizele care nu necesită recoltarea unei probe pot fi considerate riscante, fie și prin simpla manipulare a obiectului (așa cum este cazul analizelor de tip XRF).

4. REZULTATELE OBȚINUTE

4.1. Studiu calcografic al probelor provenite din obiectele arheologice

Fragmente ce au putut fi detașate din obiectele arheologice au reprezentat principalul material de studiu calcografic al acestei lucrări. Cu o singură excepție (proba P37) fragmentele erau mult prea mici pentru a permite lustruirea în formă în care au fost ele prelevate. Prin urmare, au necesitat înglobarea într-o rășină acrilică în vederea măririi suprafeței de susținere.

În prima probă analizată (P3) au fost identificate 2 faze metalice principale: o masă fundamentală preponderent formată din cupru și staniu și o fază ce se separă formând structuri dendritice de nuanță gri deschis, în lumină reflectată. Prezența staniului (19,5%) alături de cupru (74,7%) face ca masa fundamentală să prezinte o slabă anizotropie. Conform analizelor, proba conține, la nivel procentual, plumb (cca 2%) care, conform hărții de distribuție a elementelor este destul de uniform distribuit în cadrul aliajului. De asemenea este semnalată prezența fierului (sub 1%), destul de neomogenă (unele analize XRF îl identifică altele nu, ceea ce presupune o dispunere neuniformă în masa aliajului).

Probele diferă atât din punct de vedere al compoziției, implicit al structurii interne dar și al gradului de alterare. Diferită de proba P3 este proba P65, amândouă făcând parte din seceri. Masa fundamentală a probei P65 este mult mai omogenă iar alterația mult mai spectaculoasă. De această dată plumbul nu mai este prezent, fierul este în cantități foarte mici. Elementele de aliare în afară de staniu (cca 15%) sunt arsenul și nichelul, elemente total miscibile cu cuprul.

Cel mai adesea avem de a face cu două sau trei faze minerale: masa fundamentală preponderent cuprifera și o altă fază/alte două faze - formate din elementele imiscibile în cupru (sau cele care sunt parțial miscibile și au depășit un anumit procent compozițional) (Vezi fig. 1).

În secțiunea probei P1 masa fundamentală este foarte omogenă, include două faze minerale dispuse sub formă de granule mai puțin sau mai mult izometrice uneori cu forme dendritice. Una dintre faze este deschisă la culoare, aproape de alb. Cea de a doua fază este de un gri închis. Ambele faze sunt izotrope, nu prezintă macles sau reflexe interne. Alterația observată în această secțiune este preponderent formată din malachit și este destul de slabă ca intensitate. Proba este alcătuită din patru fragmente mici de material „proaspăt” și un fragment desprins din crusta de alterație a obiectului. Pe aceasta din urmă au fost identificate două minerale principale: malachitul și cupritul.

Secțiunea probei P3 prezintă aceleași trei faze minerale ca și P1. Masa cupriferă în momentul oxidării aeriene este brăzdată de linii roșietice dispuse în „grătar”. Secțiunea este prezentată în planșa XIV. Și de această dată gradul de alterare este destul de slab, intruderea patinei fiind foarte spectaculoasă, prin crearea unor structuri dendritice.

Secțiunea P7 este mult mai omogenă fiind alcătuită din 2 faze minerale, granulele de culoare albă lipsind de această dată. Un alt fapt inedit îl reprezintă orientarea granulelor prezente și alungirea acestora după forma obiectului. Aceste alungiri reprezintă urme directe ale prelucrării obiectului.

În cazul probei P12 se revine la existența celor trei faze minerale, granulele deschise la culoare nu sunt însă atât de abundente ca în cazul probelor P1 și P3. Alterația de această dată este mult mai intensă.

Secțiunea lustruită a probei P13 s-a realizat pe un fragment de material „proaspăt” și alte câteva fragmente aparținând crustei de alterație. Fragmentul de bronz prezintă o alterație marginală, precum și fisuri ce străbat masa probei. Și de această dată avem de a face numai cu două faze minerale și cu o slabă orientare a granulelor de culoare gri.

Proba P16 este formată din trei faze minerale, granulele de culoare albă sunt foarte rezistente la oxidarea aeriană (în vreme ce pe seama masei fundamentale secțiunea dezvoltă cuprit, granulele deschise la culoare nu prezintă nici un tip de alterare ieșind în evidență). De această dată avem de a face cu o alterație intensă accentuată de fisurarea materialului și de o porozitate destul de ridicată.

Un tip de material aparte este cel al probei P17. De această dată avem de a face nu cu un obiect manufacturat ci cu o turtă de materie primă, ce nu prezintă urme de prelucrare nici la suprafață, nici în structura sa internă.

Materialul este de tipul bi-fazic, granulele prezente în masa fundamentală sunt de tipul celor gri închis, izotrope. Morfologia acestor granule și gruparea lor este complexă și variată. Sunt prezente de la granule perfect rotunjite până la forme stelate. Dispunerea lor este fie diseminată și haotică, fie orientată formând structuri asemănătoare penelor sau a frunzelor de ferigă. Aceasta este dovada unei răcirii a materialului neuniformă și a absenței prelucrării ulterioare.

În jurul granulelor, mai ales în cazul granulelor de mari dimensiuni, se pot observa halouri mai deschise ceea ce sugerează o modificare compozițională a masei fundamentale în acea zonă. Analizele arată că aceste granule sunt formate preponderent din fier cu ceva nichel și sulf. După aspectul lor în lumină reflectată acestea corespund oxidului $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ – maghemit. Prezența acestuia poate fi considerată drept un indicator de temperatură. De asemenea un indicator bun de temperatură sunt și relictule de pirită descoperite.

Proba P19 prezintă o mai mare omogenitate (ilustrată în fig. 1). Materialul poate fi asemănat cu cel din topitura ilustrată cu ajutorul probei P17. Unele fisuri sunt umplute cu oxid de fier, cel mai probabil inserat secundar. Ca și în cazul probei P17 în jurul granulelor sunt semnalate halouri mai deschise la culoare decât restul masei fundamentale.

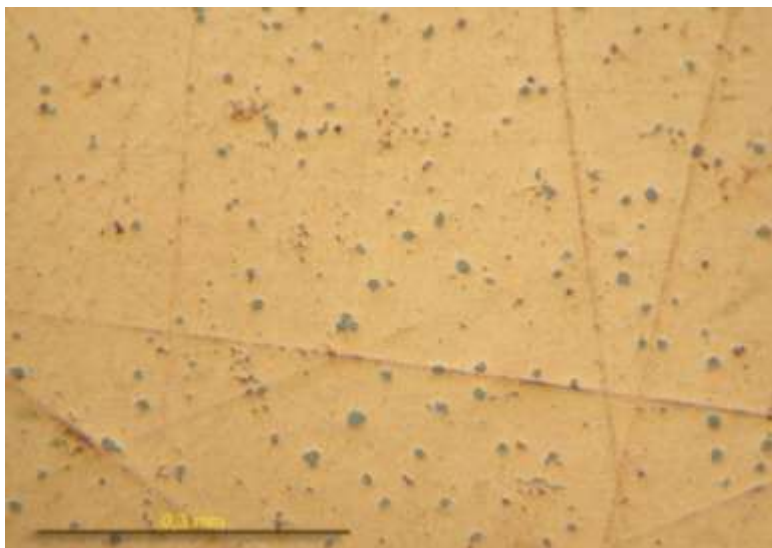


Fig. 1: Secțiune lustruită a probei P19, observată la microscop în lumină reflectată. Secțiunea prezintă zgârieturi, fără o anumită orientare ce străbat o masă cuprifera ce găzduiește diferite granule de topitură metalică (de culoare gri închis).

Asemănătoare este și proba P21 care prezintă un material omogen, bi-fazic, puțin oxidat. Gradul de porozitate este destul de mare, prin urmare și alterarea este una intensă.

Din nou un caz aparte este cel al probei P37 și aceasta provenită dintr-o topitură. De această dată avem de a face cu un material compus din trei faze. Granulele deschise la culoare (aproape albe) au fost analizate și rezultatele au indicat că acestea sunt alcătuite preponderent din fier. După aspectul lor în lumină reflectată putem spune că de această dată nu mai este vorba de un oxid ci de fier nativ. Dacă observăm secțiunea lustruită fără o curățare recentă aceasta dezvoltă repede o alterare superficială, iar diferențele de compoziționale ale masei fundamentale din jurul granulelor fie de oxid fie de fier sunt mult mai evidente.

Proba P39 este de tipul materialului tri-fazic, granulele deschise la culoare fiind semnalate ceva mai rar. Materialul prezintă fisuri pe care s-au format minerale secundare (cuprit, tenorit, malahit). A fost identificată și o zonă cu o porozitate ceva mai mare în care se observă în mod clar o intensificare a alterației.

Asemănătoare sunt și probele P41 și P42. În cazul probei P41 sunt semnalate goluri de formă rotunjită iar alterația este redusă în ciuda prezenței lor. În cazul probei P42 o fisură veche în material a dus la formarea unei alterații importante chiar în mijlocul secțiunii.

P 44 prezintă o mai mare omogenitate, materialul continuând însă să prezinte două faze. Granulele ce se evidențiază din masa fundamentală de aliaj sunt de tipul celor gri închis, dar de această dată dimensiunile lor sunt reduse, gradul de diseminare mai ridicat. Formele lor sunt de la izometrice până la structuri dendritice. Materialul se oxidează uniform. Alterația este puțină și dispusă numai marginal.

În cazul probei P45 masa fundamentală este aproape bi-fazică. Nu mai avem de a face cu o masă fundamentală formată majoritar din cupru, aliajul fiind format din două faze (una dintre ele evident mai bogate în cupru) amestecate în structuri dendritice. Dendritele mai sărace în

cupru, deschise la culoare sunt mai rezistente la oxidare și chiar la alterare. Gradul de alterare al probei este foarte intens și datorită structurii neomogene alterația s-a dispus după o structură asemănătoare cu un grătar, urmărind zonele mai cuprifere. Aceste zone de alterați conțin malahit, cuprit, tenorit.

Proba P 46 prezintă numeroase fisuri pe care alterația dispusă inițial numai la suprafață s-a putut insera spre interiorul materialului, Și această probă prezintă trei faze ale aliajului, în mod similar se prezintă și probele P48, P51, P52 și P59 cu diferite grade de alterare. La fel ca în cazul probei P45 alterația este dispusă uneori într-o structură de tip „grătar”.

Secțiunea lustruită a probei P54 revine la modelul ceva mai omogen, păstrând cele trei faze minerale și prezentând numai alterație la nivel superficial.

Proba P45 este surprinzătoare prin revenirea formelor de tip stelat ale fazelor ce se separă în masa cuprifera. Uneori, dendrite și forme stelate ale fazei de culoare gri închis sunt inserate în formele dendritice ale fazei de culoare albicioasă. Alterația este slabă, superficială. Materialul este pe alocuri fisurat (în zona de fisurație alterația este aproape absentă ceea ce sugerează că această fisurație ar fi putut surveni în urma desprinderii fragmentului din artefactul din care provine). Este vizibilă și o porozitate destul de accentuată. Toate acestea duc la concluzia că acest obiect (sau cel puțin această parte a artefactului) nu a fost deloc prelucrat ulterior turnării nici prin tratamente termice nici mecanice. În urma prelucrării ulterioare materialul tinde să se omogenizeze, golurile sunt estompate iar structurile dendritice, în cazul în care se mai păstrează, încep să prezinte o oarecare orientare.

În cazul probei P 61 materialul proaspăt nu este foarte expus, se poate foarte ușor observa alterația formată la suprafața obiectului. Masa preponderent cuprifera găzduiește doar granul de culoare gri care prezintă o slabă orientare.

Proba P62 este slab alterată, tri-fazică fără orientări deosebite ale granulelor metalice.

Un exemplu de material foarte omogen este proba P65. Rareori sunt semnalate zone cu material diferit. Așa cum rezultă din analize a fost identificată o zonă cu 5% argint. Argintul de cele mai multe ori se separă din aliajul de bronz. Dacă răcirea a fost rapidă, separarea nu este completă.

4.2. Rezultate ale analizelor XRF realizate asupra probelor provenite din obiectele arheologice

Probele au fost analizate în cadrul Institutului Național de Fizică Atomică Horia Hulubei de către o echipă formată din: dr. Bogdan CONSTANTINESCU, dr. Cătălina CHIOJDEANU și drd. Daniela CRISTEA. Aparatul utilizat a fost XMET 3000TX Oxford Instruments, un aparat specializat în măsurarea nondistructivă a diferitelor aliaje metalice în vederea identificării elementelor metalice constitutive.

X-MET 3000TX este un analizor elemental portabil. Principala destinație a aparatului este măsurarea metalelor, a aliajelor, solurilor, minereuri. Acest dispozitiv nu a fost selecționat

aleatoriu, ci s-a avut în vedere alegerea în prima etapă a unor metode de analiză non-distructive și un grad mare de accesibilitate (având în vedere gradul scăzut de prelevabilitate a artefactelor arheologice).

Tabelul 3: rezultatele analizelor XRF realizate cu spectrometrul X-MET 3000TX

Nr. Crt.	Cu %	Sn %	Pb* %	Zn %	As* %	Ni %	Ag %	Fe %	Sb %
P1	92.4	7.1	urme vagi	0	0.1	0	0	0.4	0
P2	95.9	3.5	urme	0	0.1	0	0	0.4	0
P3	74.7	20	3.7	0	0.6	0.4	urme	0.9	urme
P4	90.3	6	1.9	0.3	0.4	0.4	0	0.5	urme
P5	93.7	4.8	0.1	0	0.4	0.4	0	0.5	0
P6	93.8	4.8	0.05	0	0.25	0.4	0	0.4	urme
P7	78.3	17	0.2	0	1.1	0.8	urme	3	urme
P8	95.3	2.2	0.1	0	0.4	0.5	0	1.4	0
P9	98	0	0.1	0.1	urme	0	0	1.5	urme
P10	97.9	urme	0.05	0.4	0.05		urme	1.5	0
P11	97.8	urme	0.1	0.4	0	0	urme	1.6	0
P12	89.3	9.1	0.2	0	0.3	urme	urme vagi	1	urme
P13	93.8	4.2	0.5	0	0.1	0	urme vagi	1.4	urme
P14	93.6	4.4	0.2	0	0.5	0.3	0	1	urme
P15	89	7.3	0.6	0	0.3	0.2	0	2.6	urme
P16	88.3	9.6	0.3	0	0.3	0.2	0	1.4	urme
P17	93.2	0	urme vagi	0.3	0.1	0.6	urme vagi	5.6	0
P18	96	2.2	0.45	0	0.05	urme vagi	0	1.2	urme
P19	84.5	14	urme vagi	0.2	2	0.2	0	0.5	urme vagi
P20	93	6	urme vagi	0	0.2	0.1	0	0.6	urme
P21	82.2	15	1.5	0	0.2	urme	urme vagi	0.6	urme
P22	91.7	6.8	0.6	0	0.3	0.1	urme vagi	0.5	urme
P23	80.1	1.2	3.6	14.7	0	0	0	0.5	urme
P24	78	0.4	3.3	17.8	0	0	urme	0.4	urme
P25	79	1.5	2.7	16.5	0	0	0	0.3	urme
P26	93.5	4	0	0	urme vagi	urme	0	0.6	urme
P27	89.8	7.7	0.2	urme	0.2	0.5	0	1	urme vagi
P28	88.2	8.5		urme	0.1	0	0	1.7	urme
P29	93.6	5.3	urme	0	0.1	0.4	0	0.5	
P30	86.5	10	0.9	0	0.8	0.4	0.3	0.4	urme
P31	96.8		0	0.3	urme vagi	0	0	2	
P32	97.7	1	0	0	urme	0	0	0.4	

P33	88	7.6	0.1	0	0.3	0.6	0	0.5	urme
P34	92	4.7	urme vagi	1	0.15	0.6	0	0.4	
P35	88	7.6	0.1	0	0.3	0.6	0	0.5	0.7
P36	88.8			0	urme	0.6	0	6.3	3.7
P37	85.5	urme vagi	urme vagi	0	2	0.7	0	6	5.3
P39	90.7	7.7	0.9	0	0	0	0	0.8	0
P41	84	14	1.28	0	0.32	urme vagi	0	1	0
P42	93.4	1.4	4.1	0	0	0	0	1.1	urme
P45	60.6	28	5.04	0	1.26		0	1.4	4.1
P46	88.3	10	0.4	0	0.2	0.3	0	0.8	urme vagi
P47	81.5	16	0.9	0	0.6	0.1	0	0.6	0
P48	81.4	16	0.65	0	0.65	0.2	urme	0.6	0
P51	65.8	31	1.14	0	0.76	0.2	urme	0.7	urme
P52	78.7	19	0.68	0	1.02	0.3		0.6	urme
P54	92.3	4.8	0.25	0	0.25	0	0	2.1	urme
P55	87.4	5.3	0.26	0	1.04	0.6	urme f vagi	1.6	3.8
P58	96	2.7	0.03	0	0.27	0.4	0	0.5	
P59	93.2	5.6	urme	0	0.2	0.4	0	0.4	
P61	90.5	7.4	0.06	0	0.24	0.1	0	1.6	urme
P62	87.5	10	0.12	0	0.68	0.7	0	0.5	urme
P63	94.5	3.5	0.1	0	0.6	0.8	0	0.4	urme
P64	95	3.7	0.15	0	0.35	0.5	0	0.4	urme
P65	91	7.8	0.15	0	0.35	0.2	0	0.3	urme
PxC	75.4	0	16.4	0	0	0	0	5.2	0
C1	99.4	0		urme vagi	urme vagi	0	0	0.3	0
C2	99.7	0	urme	0	0	0	0	0.3	0
C3	97.8	0	1.5	0	0	0	0	0.6	0
Nr. Crt.	Cu %	Sn %	Pb* %	Zn %	As* %	Ni %	Ag %	Fe %	Sb %

Nu au fost analizate toate probele recoltate din depozitul de la Drajna, au fost analizate câte o probă din fiecare piesă (cu două excepții A32 și A36).

Unde în tabel apare valoarea „0”, acolo fie elementul nu există, fie se află sub limita de detecție a aparatului. Unde au fost identificate „urme” conținutul este între 0,1 și 0,05 iar termenul de „urme vagi” se traduce prin conținuturi sub valoarea de 0,05% din elementul respectiv.

Diferența de procentaj până la 100% (uneori ceea ce depășește 100%) este dată fie de rotunjirile la 1 sau 2 zecimale, fie de interpretarea ușor subiectivă a interferențelor cu alte picuri

ale altor elemente ce nu pot fi detectate în mod obișnuit de aparat sau de interferența datelor ale elementelor care împart același pic.

Rezultatul acestor analize este deosebit de util în compararea și verificarea acuității de detectare a metodelor XRF realizate asupra acelorași probe. Concluziile care se pot trage la o primă vedere sunt asupra gradului mare de neomogenitate o probei. Prin urmare, analizarea pe o suprafață mai mare, o analiză globală, poate oferi informații utile unei priviri de ansamblu, unei clasificări statistice a materialului. Dacă însă dorim analizarea probei în vederea stabilirii structurii interne atunci analizele punctuale sunt indispensabile.

Pentru detalierea și aprofundarea rezultatelor au mai fost realizate, pe unele dintre probe, și analize la un accelerator de tip Van de Graaff.

Analiza a fost realizată numai pe probele solide, atât înainte de șlefuire cât și după. Este de semnalat faptul că diferențele nu au fost notabile între cele două stadii de prelucrare, a fost semnalată dispariția uneori totală a silicaților, o ușoară scădere a procentului de fier și minore modificări ale raportului Cu-Sn.

Au fost realizate cu ajutorul utilitarului MAPPIX hărți de distribuție a elementelor.

Cu ajutorul Microscopului analitic - XGT-7000 am analizat toate probele solide. Diferența față de analizele realizate de echipa de la I.F.I.N.-H.H. nu au fost notabile și sunt total explicabile prin diferența de detaliu a analizei și prin marea neomogenitate a materialului analizat. De asemenea am realizat analize pe probele geologice pentru a avea posibilitatea realizării unei comparații obiective.

Am sintetizat analizele sub forma prezenței procentuale a elementelor identificate, la calculul formulei chimice programul a utilizat închiderea pe oxizi. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 5.

Tabelul 4: Rezultatele analizării probelor P39, P41, P42, P44, P45, P48, P51, P52, P59, P61, P65 la acceleratorul de tip Van der Graaf, AN2000 de la INFN, Laboratori Nazionali di Legnaro, Italia.

Seceri Drajna	Fe (ppm)	Ni(ppm)	Cu(ppm)	Zn(ppm)	As(ppm)	Se(ppm)	Br(ppm)	Ag(ppm)	Sn(ppm)	Sb(ppm)	Pb(ppm)
P41	588.5	16.48	737752	0	3661	0	0	4254	242459	0	11319
P42	977	481.3	137482	0	18274	287.7	0	0	4064	4211	833852
P42	666.4	0	930503	0	7135	165.3	0	0	21485	0	36287
P42	396.3	0	941869	0	4042	0	0	0	29147	0	20240
P45	2499	786.2	333192	0	16236	29.65	0	1029	545800	67827	31878
P45	451.4	249.9	548181	0	11893	192	545	692.1	348939	40371	47065
P48	365.2	1569	710765	0	6040	0	0	1509	273034	4298	0
P59	282.2	1918	808629	0	11295	0	0	0	173427	0	0
P61	1819	609.6	564238	0	13703	0	0	0	405084	11607	1028
P65	795.3	522.4	799556	0	5638	0	0	57951	127403	0	0
C1	0	1239	993862	0	0	0	1437	0	0	0	0
C1	497.5	145.1	148117	0	19729	0	0	0	0	0	829084
P39	776.8	0	791879	0	1255	138.5	0	2662	200039	0	2484
P44	680.1	2060	402815	521593	5523	7954	2037	4679	0	0	0
P44	653	1948	720318	0	8435	0	0	3538	256498	7715	0
P51	328.7	1699	817480	0	5791	0	0	1757	159937	8427	0
P51	949.7	0	315599	0	15433	0	0	0	650422	0	9972
P52	322.1	1262	746823	0	6153	0	0	683.6	229427	8371	3451
P52	1039	0	870730	0	5998	0	1386	0	110032	8294	0

Tabelul 5: Rezultatele analizei efectuate la microscopul analitic XGT-7000.

Mass [%]	P12	P37	P17	P59	P19	P1	P13	P7	P3	P16	P21	P39	P48	P51	P52	P41	P42	P44	P45	P46	P54	P55	P61	P62	P65
Cu	85.84	82.68	89.11	88.58	86.76	84.89	89.28	88.06	81.59	82.67	81.55	90.83	80.61	84.93	87.36	84.48	94	88.57	78.22	83.25	88.78	85.11	85.23	88.66	78.76
Sn	9.86	0	6.97	6.81	10.92	12.64	5.33	6	13.2	11.69	12.42	6.27	15.05	11.28	11.44	12.75	1	8.5	13.88	15.24	7.11	6.19	13.51	7.95	18.08
Al	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Si	0.56	0	0	0.12	0.08	1.55	0.66	0.11	0	2.34	3.57	0.01	0.44	0	0	0	0	0	0	0.35	0.25	0	0	0	0.38
S	0.64	0.52	0.37	0.37	0.46	0.25	0.24	0.5	0	0.2	0.12	0	0.14	0.37	0.18	0.44	0.42	0.18	0.27	0.22	0.73	0.92	0.17	0.2	0.15
Ca	0.16	0		0.38	0	0	0.32	0.26	0.31	0.3	0.46	0.17	0.29	0.54	0.3	0	0.29	0	0.35	0.36	0.4	0	0.41	0.49	0.5
Cr	0.03	0.1	0.03	0.03	0	0.15	0.08	0.03	0	0.1	0.09	0.05	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0.02	0	0.04	0.04	0	0	0	0.06	0	0	0.03	0	0.09	0.05	0	0.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	0.42	5.56	0.06	0.06	0	0	0.21	0.38	0	0.1		0.19	0.14	0	0	0	0.32	0.18	0.16		0	0.37	0.05	0.02	0
Ni	0.47	0.66	0.51	0.51	0.2	0	0.14	0.65	0.35	0.36	0.15	0	0.4	0.34	0.4	0.12	0.1	0.43	0	0.3	0.28	0.71	0.31	0.95	0
As	0.13	2	0.37	0.37	1.06	0	0	0.12	0	0.27	0.08	0	0.29	0.3	0.31	0.19	0	0.29	0	0.28	0.33	0.75	0.31	0.55	0.41
Cd	0.59	3.82	1.95	2.15	0	0	2.85	3.03	2.26	1.96	0.53	2.2	1.02	2.19	0	1.88	0	1.85	0		2.12	0	0	0	0
Pb	0.97	0	0.52	0.52	0	0.52	0.65	0.76	1.68	0	0.79	0.27	0.26	0	0	0	3.78	0	0		0	0	0	0	0
Sb	0	4.66	0	0	0	0	0	0	0.61	0	0	0	0.56	0	0	0	0	0	2.5		0	3.22	0	1.17	1.73
Co	0	0	0.07	0.07	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nd	0	0	0	0	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gd	0	0	0	0	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr	0	0	0	0	0	0	0.24	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.87	0	0	0
Pd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.87	0	0	0

4.3. Studiu calcografic al eșantioanelor provenite din ariile considerate

În aceleași condiții optice ca și probele din piesele arheologice au fost analizate și secțiuni lustruite realizate din probele geologice provenite din zăcămintele considerate ca potențiale arii sursă pentru obiectele arheologice descoperite în bazinul Mureșului.

Primul dintre zăcămintele considerate este prezentat cel de la Moldova Nouă.

Zăcămintul de la Ocna de Fier a prezentat, în secțiunea lustruită aleasă ca exemplificare (fig. 2), o mineralizație cuprifera destul de masivă (calcopirită preponderent, bornit), cu intercalații de blendă și pirită. În figura următoare sunt prezentate două zone de calcopirită masivă ce include blenda.

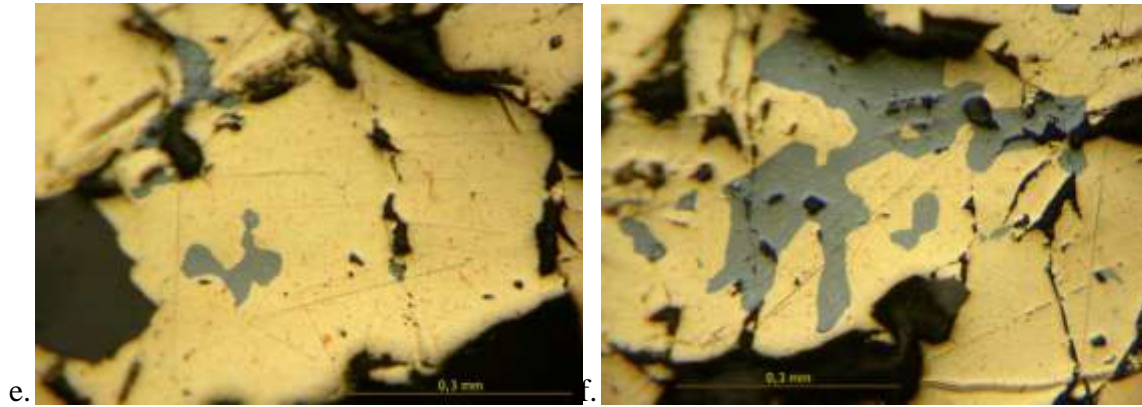


Fig. 2: Mineralizație cuprifera de la Ocna de Fier (SOF) (calcopirită) cu blendă. Ambele fotografii sunt realizate cu N//.

Următoarea secțiune analizată a fost ce corespundând zăcămintului Deva. Pe aceasta au putut fi văzute substituții ale bornitului de către calcozină, ale calcozinei de către covelină.

La final au fost observate în lumină reflectată secțiunile lustruite ale zăcămintelor Baia de Aramă și, respectiv, Baia de Arieș. Cel din urmă este singura secțiune în care calcopirită nu este prezentă masiv ci este diseminată în masa rocii.

4.4. Analize chimice: XRF asupra probelor provenite din zăcămintele

Probele aferente zăcămintelor considerate au fost analizate cu ajutorul Microscopului Analitic de raze X XGT-7000. Mărimea spotului analizor este de 100 μm . Precizia aparatului este de 0,01% (100 ppm). Precizia mai poate fi afectată de interferențele cu alte pick-uri ale altor elemente.

Analizele XRF nu au evidențiat elemente notabile în afara celor care erau de așteptat în urma studiului calcografic. Rarele cazuri în care au intervenit alte elemente procentul lor este deosebit de redus (rareori 1%, cel mai adesea sub această valoare).

Tabelul 6: Analiza XRF asupra probei SBAS_M (zăcământul Baia de Arieș) la Microscopul Analitic de raze X XGT-7000

Elem.	Line	Mass[%]
16 S	K	49.43
20 Ca	K	0.12
22 Ti	K	0.26
26 Fe	K	48.28
30 Zn	K	0.26
33 As	K	0.31
71 Lu	L	1.35

Tabelul 7: Analiza XRF a probei SD (zăcământul Deva) la Microscopul Analitic XGT-7000

Elem.	Line	Mass[%]
14 Si	K	0.83
16 S	K	33.27
20 Ca	K	0.13
21 Sc	K	1.66
24 Cr	K	0.31
26 Fe	K	28.86
29 Cu	K	34.76
33 As	K	0.11
34 Se	K	0.07

Tabelul 8: Analiza XRF asupra probei SBAR_T2I (zăcământul Baia de Aramă) la Microscopul Analitic de raze X XGT-7000

Elem.	Line	Mass[%]
14 Si	K	50.53
16 S	K	17.84
24 Cr	K	0.10
26 Fe	K	16.45
29 Cu	K	15.09

Tabelul 9: Analiza XRF asupra probei SBAR_T2II (zăcământul Baia de Aramă) la Microscopul Analitic de raze X XGT-7000

Elem.	Line	Mass[%]
14 Si	K	42.76
16 S	K	20.82
20 Ca	K	0.13
24 Cr	K	0.19
26 Fe	K	18.23
29 Cu	K	17.87

4.5. Analiza izotopilor stabili de plumb

Plumbul are patru izotopi - ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , și ^{208}Pb -, care sunt cu toții prezenți în momentul formării Pământului. Ultimii trei sunt de asemenea produși ulterior prin dezintegrarea izotopilor de ^{235}U (timp de înjumătățire 703.8 Mil.de ani), ^{238}U (4.468 Miliarde de ani), și ^{232}Th (14.01 Miliarde de ani).

Un amănunt deosebit de important din punct de vedere arheologic este că nici topirea parțială sau totală a metalului respectiv nu afectează raportul izotopilor de plumb.

Dacă sistemul ar fi ideal atunci diagrama realizată pentru rapoartele izotopice generează o „amprentă” unică pentru fiecare zăcământ. Din păcate, în domeniul arheologiei deseori avem de a face cu surse multiple și cu retopiri ale materialului.

Analizele izotopilor de plumb au fost realizate pe un Spectrometru de masă multicolector cuplat inductiv cu plasmă – GV Instruments, Hudson NH, la Unversitatea din Arizona.

Cea mai importantă diagramă de realizat este generată de raporturile $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ și $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (fig. 3). Ea prezintă izocronele care pot fi trasate pentru obiectele arheologice. Se observă cum acestea se dispun la distanțe diferite pe verticală dar păstrând aceeași pantă (vârsta a zăcământului – sursă de materii prime). Vârsta rezultată nu este una precisă, fiind doar orientativă ~300 mil.ani (conform programului ISOPLOT, versiunea 3.20).

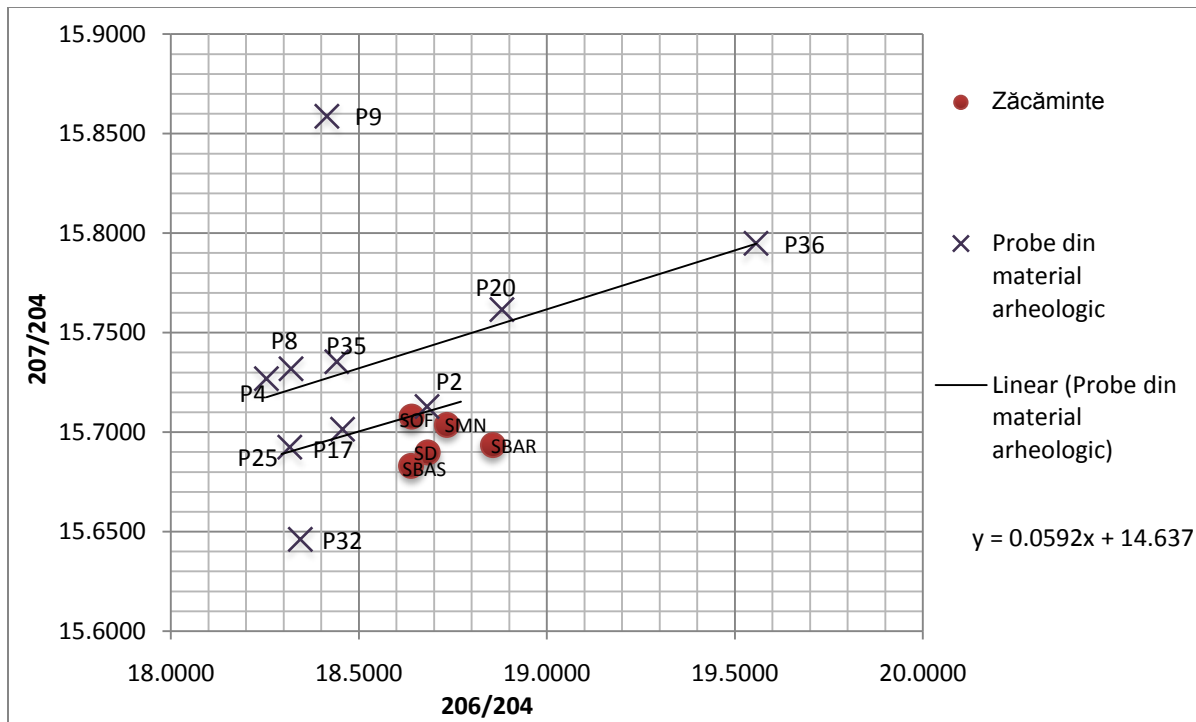


Fig. 3: Diagrama raporturilor izotopice $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$: P2 (Topor A1, Păuliș), P4 (Seceră A2, Sântana), P8 (Brățară A5, Sântana), P9 (Turtă A6, Sântana), P17 (Turtă A12, Arad), P20 (Disc solar A14, Cicir), P25 (Brățară A18, Păuliș), P32 (Vârf de sulită A24, Păuliș), P35 (Ac A27, Felnac), P36 (Turtă A28, Sântana), SOF (Ocna de Fier), SMN (Moldova Nouă), SBAR (Baia de Aramă), SD (Deva), SBAS (Baia de Arieș)

5. CONCLUZII

Din analizarea probelor a rezultat că materialul nu este nici pe departe același din punct de vedere al compoziției chimice, chiar și în cazul în care probele provin din aceeași locație. Micile erori induse de stratul de alterare ce nu a putut fi îndepărtat în totalitate nu au putut avea o importanță majoră, mai cu seamă că s-a observat în urma analizării unor probe din același obiect – una provenind din stratul de alterare, alta din material „proaspăt” – că diferențele dintre cele două analize nu sunt mari și păstrează și un anumit patern (așa cum este, în principal sărăcirea în conținutul de cupru – celelalte metale conținute în aliajele analizate având o rezistență chimică și mecanică mai mare).

Dacă urmărim cursul Mureșului putem presupune ca posibile surse de cupru pentru manufacturarea obiectelor arheologice *Districtul metalogenetic al concentrațiilor asociate granitoidelor din Highiș Drocea*. Mineralizația cuprifera este prezentă în șisturile cristaline epimetamorfice de la Păiușeni și în granitele și rocile alcaline tardiorogene care sunt în legătură cu seria de Păiușeni. Calcopirita, pirita, hematitul și uneori blenda și galena se află cantonate în filoane de cuarț și carbonați (Sectorul Șoimoș-Highiș include o mineralizație polimetalică, de asemenea și Secaș-Valea Prundului – unde calcopirita joacă un rol important), Districtul Drocea-Roșia Nouă (Sectorul metalogenetic cu pirită și cupru, sulfuri de nichel de la Căzănești – Roșia Nouă – Pietriș), Districtul Metalogenetic Săvârșin-Cerbia-Măgureaua Vaței are un potențial scăzut cu sulfuri polimetalice rare și ceva calcopirită, Districtul Tămășești – Dealul Mare (mineralizație polimetalică) (Popescu 1986).

După cum s-a mai amintit, râurile, în trecut, constituiau o importantă cale de transport și de aceea este posibil ca materia primă să fi fost adusă și din amonte. Primul întâlnit pe parcurs este *Câmpul metalogenetic Deva* unde mineralizația cuprifera este localizată în corpul andezitic aflat sub Pârâul Băilor; mineralizație ce a avut în partea superioară un conținut ceva mai mare de cupru și chiar și aur (Petruțian, 1973).

În sud poate fi menționat Sectorul cu mineralizație polimetalică Muncelul Mic – Vețel unde au fost indicate importante mobilizări, cataclazări și piritizări ale rocilor înconjurătoare. Ocurențe polimetalice se întâlnesc de asemenea și la Românești. O altă sursă de cupru, situată mult mai la sud, este reprezentată de Câmpul metalogenetic Ocna de Fier – Dognecea unde sunt cunoscute urme ale exploatării cuprului încă din Epoca Bronzului. În secolul XVIII aceasta era una dintre cele mai importante surse de cupru pentru România (Ciobanu, 1999)

Unele urme ale exploatării de cupru din trecut au fost găsite la Șoimoș – Cosliac. De asemenea minerit ceva mai modern la Milova (www.cimec.ro) .

În vederea realizării de analize izotopice au fost preferate obiectele care aveau un conținut cât mai redus de staniu (crescând astfel șansele analizării unui material autohton). Un alt criteriu de selecție a fost cantitatea de material obținută precum și procentul de alterație prezent în aceasta. De exemplu, a fost preferată alegerea unei brățări (A5) deoarece cantitatea mare de plumb din seceră (A19) poate sugera un adaos intenționat, ceea ce nu este de dorit.

Prezența sulfurului în cantități mici arată faptul că în procesul de manufacturare erau implicate și sulfuri de cupru nu numai oxizi, prin urmare se atestă proveniența materialului dintr-un zăcământ de sulfuri. Acest fapt are consecințe în interpretarea modului de procurare a materiei prime, care se pare ca nu era pur și simplu exploatată doar în zonele de oxidare, cele mai vizibile și accesibile fiind situate și în adâncime. De asemenea, prezența sulfurului atestă încă odată că temperaturile și durata de topire nu au fost suficiente pentru îndepărtarea totală a acestuia.

În ceea ce privește compoziția celor două turte, aceasta nu reprezintă echivalentul unui aliaj comun perioadei căreia le sunt atribuite. Conținutul mare de fier poate fi explicat cu ușurință prin prezența relictelor de magnetit (vezi cazul turtei de la Șpălnaca). Incluziunile cuprifere din acestea provin din minereul de cupru care a fost utilizat.

Prima concluzie care poate fi trasă în urma analizării rezultatelor analizei izotopice este cu privire la turta de la Șpălnaca, care în mod surprinzător se diferențiază net de restul probelor. Există două explicații posibile: fie materialul provine din cu totul altă zonă, fie aportul de magnetit (presupus din conținutul mare de fier prezent în analize) a influențat datele în sensul îmbogățirii în izotopi stabili de plumb. Mai probabilă este cea de-a doua variantă.

Piese arheologice vizate au foarte mari șanse să conțină material autohton datorită situațiilor foarte aproape de zăcămintele din unitățile metalogenetice proximale. Deplasarea pe verticală a izocronelor corespunzătoare obiectelor, față de zăcămintele reprezintă consecința aportului de staniu, metal care nu se găsește în zăcămintele autohtone decât, eventual, ca element minor. Deplasarea nu este mare, prin urmare trebuie căutată o sursă apropiată din punct de vedere al raporturilor izotopice de plumb din zăcămintele analizate. Cea mai plauzibilă sursă este Erzgebirge (Germania). Zona corespunde atât din punct de vedere al raporturilor izotopice (Niederschlag, 2003) cât și din punct de vedere istoric. Exploatarea de staniu din Erzgebirge erau în desfășurare în Epoca Bronzului. De asemenea, proximitatea față de cursul Dunării al celor două zone le asigură o cale facilă de comunicare din punct de vedere al transportului de materii prime.

Un impediment în interpretare este creat de neomogenitatea materialului din care este confecționat obiectul arheologic. Este posibil ca variația raportului Cu/Sn să influențeze poziționarea în diagrama raporturilor izotopice de plumb a obiectului datorită afinității pe care o prezintă cassiteritul pentru uraniu și thoriu.

Cel mai bun candidat, dintre artefactele analizate, pentru a conține material autohton este P2 (Topor, Păuliș), situat imediat deasupra zăcămintelor analizate (vezi fig. 3). Majoritatea metalului care-l compune (cupru) provine din zăcămintele de pe teritoriul țării noastre (o sursă apropiată fiind zăcământul Deva, sau cel mai probabil o ocurență locală situată la aproape de Păuliș); staniul deplasează izocrona corespunzătoare acestuia în sens vertical, deasupra zăcămintelor. Asemănător este și cazul probei P20 (Disc Solar, Cicir) care prezintă ceva mai mult staniu (aproximativ 6%) și este în mod corespunzător mult mai distanțat pe verticală față de zăcămintele locale.

Pentru depozitul de la Drajna, nu au fost făcute încă analize izotopice, prin urmare identificare unei arii surse, sau decelarea între potențiale candidate nu poate fi făcută exclusiv pe baza unor determinări microscopice.

Din punct de vedere al izotopilor plumbului, între zăcăminte considerate nu au existat diferențe majore, ele fiind oarecum grupate în diagrame.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ:

- Academia Română (2001), *Istoria Românilor, Vol. 1 – Moștenirea timpurilor îndepărtate*, coordonatori: Petrescu-Dîmbovița M., Vulpe, A., Editura Enciclopedică, București, p. 865
- Andráš P., Chovan M., Dirner V., Král J., Bachlinski R. (2010), *Pb-Isotope Study in Sb-Mineralisation from Western Carpathian (Slovakia)*, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, Vol. 5, No. 2, p. 71 – 80
- Baron S., Tămaș C.G., Cauuet B. și Munoz M. (2011), *Lead Isotope Analyses of Gold – Silver I Ores from Rosia Montană (Romania): a first step of a metal provenance study of Roman Mining Activity in Alburnus Maior (Roman Dacia)*, în *Journal of Archaeological Science*, Nr. 38, p.1090-1100
- Bielicki K.H. și Tischendorf G. (1991), *Lead isotope and Pb- Pb model age determinations of ores from Central Europe and their metallogenetic interpretation*, *Contributions to Mineral Petrology*, Springer Verlag, nr. 106, p. 440-461
- Borcoș M., Vlad Ș., Udubașa G., Găbudeanu B. (1998), *Qualitative and quantitative metallogenetic analysis of the ore genetic units în Romania*, *Romanian Journal of Mineral Deposits*, vol. 78 – Special Issue, București, p. 7-107
- Ciobanu Cristiana Liana (1999), *Studiul mineralizațiilor din skarnele de la Ocna de Fier, Banat – Teză de doctorat*, București, p. 225
- Comșa E. (1996), *Bibliografia Epocii Bronzului pe teritoriul României*, editor Popovici D., Muzeul Național de Istorie a României, București, p. 256
- Marcoux E., Grancea Luminita, Lupulescu M. și Mile J.P. (2002), *Lead isotope signatures of epithermal and porphyry-type ore deposits from the Romanian Carpathian Mountains*, *Mineralium Deposita*, vol. 37, p. 173–184
- Hărtărăscu, O. (1982), *Metale în epoca actuală*, Colecția Sinteze Lyceum, Editura Albatros, București, p. 286
- Hoeck V., Ionescu Corina, Ghergari Lucreția, Precup Carmen (2009), *Towards mineralogical land geochemical reference groups for some Bronze Age ceramics from Transylvania (Romania)*, *Studia Universitas Babeș-Bolyai*, vol. 54, Issue 2, Cluj, p. 41-55
- Kadar Manuela (2007), *Începuturile și dezvoltarea metalurgiei bronzului în Transilvania*, Editura Aeternitas, Alba Iulia, p. 320
- Manilici V., Manilici E. (2002), *Piatra și metalul în evoluția civilizației umane - vol. I și II*, Editura Academiei Române, București, p. 319 + p. 301

- Marcoux E., Grancea Luminița, Lupulescu M., Milé J.P. (2002), *Lead isotope signatures of epithermal and porphyry-type ore deposits from the Romanian Carpathian Mountains*, *Mineralium Deposita*, 37, p.173–184
- Niederschlag E., Pernicka E., Seifert Th., Bartelheim M. (2003), *The determination of lead isotope ratios by multiple collector ICP-MS: a case of study of Early Bronze Age artefacts and their possible relation with ore deposits of the Erzgebirge*, *Archaeometry*, no. 45, I, Great Britain, p. 61-100
- Petrescu-Dâmbovița M. (1977), *Depozitele de bronzuri din România*, Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, p. 249 + anexe
- Petruțian N. (1973), *Zăcămintele de substanțe minerale utile*, Ed. Tehnică, București, p.504
- Popescu Gh. C. (1986), *Metalogenie aplicată și prognoză geologică. Partea a II -a*, Centrul de multiplicare al Univ. Buc., p. 316
- Rustoiu A. (1996), *Metalurgia bronzului la daci (Sec. II î.Chr. – sec. I d.Chr). Tehnici, ateliere și produse de bronz*, Editat de VAVILS EDINF SRL, București, p. 356
- Rusu M. (1977), *Transilvania și Banatul în sec. VI-IX*, Banatica, vol. IV., Reșița, p. 169-214
- Scott D.A. (1991), *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*, Tien Wah Press, Ltd., Singapore, p.155
- Țeposu-Marinescu Lucia și Pop C. (2000), *Statuete de bronz din Dacia romană*, București, http://www.cimec.ro/Arheologie/Statuete_bronz/ (Textul informatic prezintă într-o formă revăzută, completată și corectată statuetele antropomorfe publicate în lucrarea inițială) (accesat 2009)
- Werthmann R. (2011), *Chemical investigations on iron production around the archaeological site of Altenburg near Niedenstein*, Hessen (D), 6th International Symposium on archaeological Mining History, Valkenburg a/d Geul, Netherlands, p. 110-125
<http://www.cimec.ro>