

UNELE ASPECTE TEHNICO-ȘTIINȚIFICE PRIVIND METODELE DE REALIZARE A MONEDELOR ROMANE

George ARGHIR¹

georgearghir@hotmail.com

ABSTRACT: Monetary marks are one of the most important aspects defining the civilization level of an antiquity commons. The first monetary marks appears around of year 2000 B.C. in Crete Island. They were gold nuggets (sometimes electrum – natural gold – silver alloy) flattened and marked with some geometrical representation. The Greek civilization was famous for the silver dragma issued by different kingdoms and colonies established by them. The moneta term derive from the temple of Junona Moneta goddess where were issued the first roman coins. These coins feature a good alloy quality (gold, silver and even bronze) and a wonderful inscription and graphics details. The becoming of Roman Empire is figured in coins design and quality like in a mirror. Usually, the roman coins were struck in very good gold or silver quality (e.g. 900 ‰) or bronze with average composition of Cu 80 Sn 20% wt. The Roman Empire expansion over the whole Europe involve in some difficulties in the cash flow from the Rome to the provinces. The problem was resolved by provincial issues which replicates the coins minted in Rome but at lower quality standards such poor silver Ag 70 Cu 30% able to be casted in clay moulds (a chipper technique than striking) but it represents a significant reducing of initial silver title. The fact is related also with the commerce with barbarian peoples. The barbarized copies of roman coins are often found having a poor text and graphic design. The major economical crisis over 200 A.C. Aurelian conducts to the fourree coins (silver plated copper) as a tolerate monetary practice. This practice was officialized during the Aurelian and Probus reign by mark XXI on the coin obverse meaning at 20 copper parts 1 is silver. All this aspects are revealed by the material analysis proving the high technical and scientific level achieved by roman monetary mintmasters.

KEYWORDS: roman coins, technology, striking, casting, fourree coins.

¹ Dr. inginer, membru al Diviziei de Istoria Științei a CRIFST al Academiei Române

Introducere

Extragerea, procesarea și utilizarea metalelor de către om constituie saltul calitativ decisiv în ceea ce privește definitivarea trasăturilor omului actual. Metalurgia constituie acea ramură industrială care a asigurat progresul tehnologic din cele mai timpurii raze ale răsăritului omenirii și continuă să fie un motor al dezvoltării societății tehnologizate specifice mileniului și secolului nostru.

Sub aspectul vieții economice metalul s-a dovedit a fi o valoare intrinsecă deosebită, adesea strategică, pentru o anumită organizare socială umană. Astfel, este de la sine înțeles că micile piese de metal au devenit etaloane de schimb economic. Pasul spre devenirea lor ca însemn monetar a fost calibrarea lor din punct de vedere cantitativ astfel încât să fie egale și însemnarea adecvată a acestora. Prin urmare primele însemne premonetare cunoscute de către lumea veche sunt jetoanele de aur masiv produse de regatul Lydian din insula Creta acum circa 4000 de ani vechime (cca. 2000 î. Chr.) [1–3]. Acestea reprezentau pepite din aliaj aur-argint în proporții variabile (denumit electrum) găsite în depozite aluviale și deformate plastic la rece prin batere sub formă aproximativ rotundă și însemnate cu diferite linii pe suprafața acestora.

Piese metalice cu rol în schimbul economic cele mai apropiate ca formă și iconografie de monedele actuale sunt drahmele de argint și staterii de aur emise de regatele elenistice în jur cu până la 1000 ani înainte de Christos [4–6]. În acest context trebuie să menționăm însemnele premonetare histriene din bronz sub formă de „frunză de salcie” și ulterior monedele histriene care prezintă pe avers un cap de geto-dac iar pe revers un delfin cu un vultur pe spate iar în exergă inscripția „ΙΣΤΡΙΑ”.

În anul 150 înainte de Christos apar primele monede propriu-zise adică acele piese metalice destinate schimbului comercial emise de Republica Romană și care au fost confecționate pentru prima oară în templul zeiței Junona Moneta. Remarcăm astfel moneda – însemnul monetar – ca fiind o caracteristică definitorie pentru o civilizație umană, care a făcut istorie. În acest context tehnologia de realizare a monedelor devine un aspect deosebit de important din punct de vedere al istoriei științei și tehnicii.

Denarii romani imperiali constituie o diversitate foarte mare de tipuri atât datorită procedeeleor de confecționare cât și datorită condițiilor socio – economice din perioada respectivă. Fenomene precum inflația, condițiile economice regionale și tendințele de spoliere a partenerilor de schimb mai slabi, denumiți în mod curent barbari,

au condus la o diversitate foarte mare de tipuri ale denarilor [7, 8]. Cea mai importantă clasă este constituită din denari standard, cu o masă netă de 3,90 grame de argint fin, la vremea respectivă circa 900 ‰ [9], confectionați prin matrițarea semifabricatelor circulare. Din aceștia derivă cea de a doua clasă, cea a denarilor fabricați în monetăriile din puncte îndepărtate ale imperiului, confectionați prin turnare în forme de turnare ceramice, modelele fiind denarii standard. Aceasta se datorește dificultăților ridicate de transportul unor cantități mari de monede de la monetăriile oficiale – mari –, iar monetăriile regionale, de fapt ateliere monetare fără să aibă adesea însemne specifice, nedispunând de meșteri iscusiți necesari confectionării matrițelor. Cea de a treia categorie de denari romani imperiali dar și cea mai controversată, sunt denarii suberați, cu miezul din cupru iar la suprafață au o folie mai groasă sau mai subțire de argint [10, 11]. Unii autori consideră ca denarii suberați sunt falsuri efectuate de falsificatori [8] iar alții susțin că aceștia sunt monede oficiale dar datorită inflației puternice cantitatea de argint din acestea s-a redus atât de mult încât autoritățile au fost puse în situația de a arginti piese de cupru [10, 11]. În acest context aspectul cel mai interesant este faptul că toate aceste tipuri de denari emiși în epoca imperială romană se aflau în circulație și aveau putere de cumpărare, constituind de fapt valuta convertibilă a acelor vremuri.

Nominalele monetare din bronz folosite în Imperiul Roman sunt sesterții și așii (zece sesterți fiind echivalenți cu un denar). Aceștia au fost eliminați treptat din circuitul monetar obișnuit datorită deprecierei denarului care în timpul domniei împăratului Probus (276–282 d. Chr.) ajunge să fie doar argintat. Faptul se va oglindi ulterior în reforma monetară introdusă către sfârșitul domniei împăratului Dioclețian (305 d. Chr.) care introduce în locul denarilor și antoninienilor suberați, folissul de bronz (cupru).

Lucrarea de față își propune evidențierea modului de realizare a diferitelor monede romane în funcție de contextul în care au fost realizate. Astfel am studiat tehnologia de realizare a unui sesterț imperial, a unor denari precum și a unor antoninieni prin mijlocirea informațiilor științifice de material.

Metoda experimentală

Pentru analizele specifice de material s-a folosit în principal analiza de difracție cu raze X efectuată cu ajutorul unui difractometru de tip Dron 3 echipat cu modul de achiziție de date și softul de analiză Matmec VI.0. Analizele metalografice au fost efectuate cu ajutorul

unui microscop metalografic de tipul IOR 8 dotat cu o cameră de achiziție digitală Samsung de 8 MP. De asemenea s-au făcut determinări de durități folosind durimetru Vickers cu penetrator piramida de diamant de laborator standard.

Rezultate și discuții

Valoarea unei monede vechi este dată în primul rând de calitatea suprafeței acesteia și de calitatea patinei, în special pentru monedele de cupru și de bronz. În cazul de față avem un sesterț din perioada domniei lui Septimius Sever (193–211). Moneda este interesantă deoarece pe revers apare Septimius Sever împreună cu Caracalla, prin baterea acestui tip monetar se comemorează asocierea lui Caracalla la domnie.

Este interesant a se determina compoziția chimică a straturilor superficiale ale aversului și reversului acestei monede deoarece prin aceasta putem stabili exact materialul din care este confecționată și pe baza aceasta chiar autenticitatea piesei. Aceste analize nedistructive ale suprafețelor au la bază mai multe metode cum ar fi identificarea compușilor pe baza culorii utilizând datele din tabele speciale, analiza prin difracție cu raze X, analizele spectrale.

De asemenea proprietățile fizice ale suprafeței pot oferi date pentru identificarea certă a materialului. Analiza prin difracție cu raze X este o metodă specifică de determinare a compoziției fazelor din suprafața unui corp până la o adâncime de ordinul sutelor de straturi atomice [12, 13]. Acest lucru ne poate permite identificarea maximelor de difracție caracteristice pentru fiecare fază sau compus chimic din suprafață care depășește limita de detecție de 1%.

Prin urmare am analizat sesterțul vizual stabilind pe baza culorii suprafeței cu ajutorul datelor tabelare [13] compușii care ar putea apărea ținând cont de materialul din care ar trebui să fie confecționat un sesterț, și anume bronz, urmând a se confirma aceste rezultate prin difracție cu raze X. În figura 1 este prezentat fotografia sesterțului și se observă zone de patină dar și zone unde se vede aliajul de bază. Culoarea este galben auriu ceea ce indică posibilitatea ca să fie un bronz sau o alamă. Acest fapt este subliniat și de mirosul specific acestor aliaje. Dimensiunile monedei sunt următoarele: diametru vertical 31,5 mm, diametru orizontal 32,4 mm, grosime 4,2 mm. Masa acestuia este de 24,2218 grame, determinată cu balanța analitică.

Pe avers se observă urme de patină neagră specifică acestui tip de monede precum și unele zone maronii de asemenea specifice patinelor pieselor de bronz și de cupru. Se observă și o zonă roșie care ar putea constitui o zonă de alterare a patinei originale.

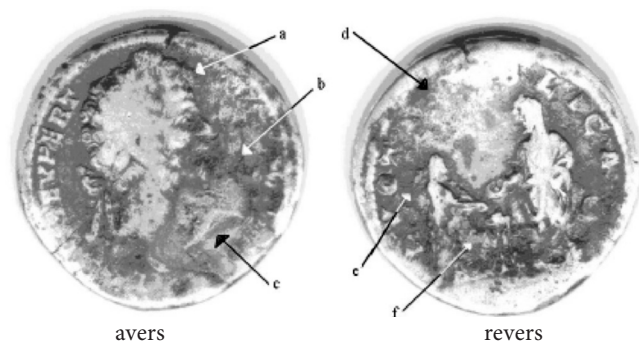


Fig. 1 – Sesterț: *avers*: a) CuO , b) amestec de CuO și Cu_2O , c) Cu_2O ; *revers*: d) amestec de CuO și Cu_2O , e) CuO , f) $\text{Cu}_2[\text{CO}_3(\text{OH})_2]$.

Tabelul 1 – Potențialii compuși din suprafață identificați după culoare [13]

Nr. crt.	Culoare compus	Denumire	Compoziție chimică
1.	Brun roșcată	Cuprit	Cu_2O
2.	Negru, negru argintiu	Tenorit	CuO
3.	Verde	Malachit	$\text{Cu}_2[\text{CO}_3(\text{OH})_2]$
4.	Galben auriu	Bronz	Aliaj binar Cu Sn

Pe revers se observă același tip de patină neagră combinată cu zone maronii dar și niște zone reduse ca dimensiuni dar puternic atacate și colorate în verde este iarăși o reminiscență a unui alt tip de patină specifică monedelor de bronz.

În tabelul 1 sunt identificați posibیلی compuși care compun stratul superficial al monedei atât pe avers cât și pe revers. Pentru a fi siguri de rezultatele obținute am supus difracției cu raze X atât aversul cât și reversul monedei.

Se observă că analiza difractometrică confirmă identificarea compușilor identificați pe baza culorii și arată că patina monei este alcătuită din oxizi de cupru preponderent Cu_2O și CuO . De asemenea se confirmă că materialul

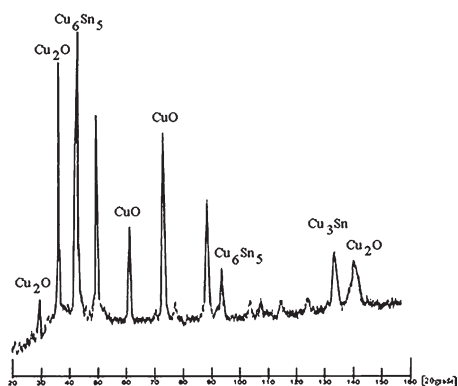


Fig. 2 – Difractograma suprafeței sesterțului Septimius Sever

de bază din care a fost confecționată moneda este bronz cu staniu fiind prezenți doi dintre compușii specifici acestui sistem. Acest lucru este foarte important după cum se va vedea în continuare. Din analiza difractometrică rezultă că aliajul din care este confecționată moneda este un bronz cu staniu.

La temperatura mediului ambiant se observă că avem stabil compusul Cu_6Sn_5 și Cu_3Sn [14, 15]. Faptul că au fost identificați amândoi compușii în masa aliajului din care este confecționată moneda ne indică faptul că procentul de staniu în cupru este de aproape 50% masa fapt care explică culoarea deschisă asemănătoare cu cea a alamei.

Se arată în [16] că bronzurile comerciale sunt bazate pe amestecul eutectoid care apare la 15% masa Sn peste acest procent bronzurile devenind prea dure și fragile pentru a prezenta interes economic. Alt autor [17] arată limita maximă a Sn utilizat la bronzuri ca fiind 25% deoarece peste această valoare fazele dure respectiv Cu_3Sn fragilizează aliajul.

Considerente de material ne indică necesitatea determinării durității precum și a densității materialului din care este confecționat sesterțul. Duritatea rezultată este de 152 HV, aceasta echivalată cu duritatea Brinell conform STAS 883-70 este de 142,5 HB. În continuare am preluat date referitoare la bronzurile cu staniu utilizate la scară largă.

Tabelul 2 – Caracteristicile bronzurilor uzuale STAS 197/2-76

Marca de bronz	Duritatea Brinell, HB	Densitate, kg/m^3
CuSn_{14}	75-80	8800
CuSn_{12}	80-90	8800
CuSn_{10}	65	8800

Se observă că am obținut o duritate mult mai mare decât cea obișnuită pentru bronzurile uzuale ceea ce concordă cu rezultatele difracției cu raze X.

Pentru determinarea densității a fost aplicată următoarea metodă experimentală: volumul exact, V , a fost determinat prin măsurarea volumului de lichid dezlocuit într-un cilindru gradat rezultând $295 \times 10^{-8} \text{ m}^3$. Masa, M , exactă măsurată cu balanța analitică este de 24,2218 grame. Densitatea:

$$\rho = M/V = 8,210 \text{ kg/m}^3 \quad (1)$$

Având determinată densitatea putem determina exact conținutul în Cu și Sn a sesterțului prin următorul algoritm. Considerăm

volumul total al sesterțului V ca suma a volumelor de Cu și Sn (2) și masa totală M a piesei ca sumă a maselor de Cu și Sn (3):

$$V = V_{Cu} + V_{Sn} \quad (2)$$

$$M = M_{Cu} + M_{Sn} \quad (3)$$

Utilizând relația de definiție a densității (1) și înlocuim, obținem următoarele:

$$\rho = M/V = (M_{Cu} + M_{Sn})/(V_{Cu} + V_{Sn}) = \\ (M_{Cu} + M_{Sn})/(M_{Cu}/\rho_{Cu} + M_{Sn}/\rho_{Sn})$$

Din aceasta se poate scoate valoarea raportului masă staniu/masă cupru (4):

$$M_{Sn}/M_{Cu} = (\rho - \rho_{Cu})/(\rho_{Sn} - \rho) \quad (4)$$

Considerând raportul maselor rezultat din (4) și faptul că MCu și MSn însumate reprezintă 100% masă, se poate calcula procentul din fiecare element după cum urmează:

$$M_{Sn}/M_{Cu} = 0,77 \quad (5)$$

$$M_{Cu} + M_{Sn} = 1 \quad (6)$$

Efectuând substituția obținem:

$$M_{Cu} = 1/(1 + 0,77) = 0,56 \quad (7)$$

$$M_{Sn} = 1,0 - 0,56 = 0,44 \quad (8)$$

Se observă densitatea mult mai mică a aliajului din care este confecționat sesterțul ceea ce indică un conținut mai ridicat de staniu. Acest lucru rezultă și din calculele efectuate unde am obținut conținutul de Cu de 56% masă iar de Sn de 44% masă. Acest lucru este în concordanță și cu diagrama de echilibru.

Faptul că această compoziție prezintă o duritate ridicată poate indica faptul că a fost special aleasă de către cei care au realizat moneda pentru a preveni uzura monedei. Acest lucru este confirmat de faptul că monedele romane aveau o perioadă lungă de circulație. Se remarcă după aproape două mii de ani calitatea sesterțului. Mare parte din inscripții sunt lizibile precum și efigia este în bună stare spre deosebire de alți sesterți care prezintă un grad de uzură mult mai mare. Cu toate că tindem să credem că metalurgia era destul de rudimentară comparativ cu cea din zilele noastre acest sesterț ne arată o pregătire

tehnică deosebită a personalului care se ocupa cu realizarea monedelor din perioada respectivă.

Prelucrarea acestui tip de bronz ar pune probleme destul de serioase în zilele noastre deoarece materialul este destul de fragil, se observă rețeaua de fisuri interne cauzate de baterea monedei. Date edificatoare despre modul de batere al monedei se pot obține prin analiză metalografică dar aceasta este o metodă care presupune șlefuirea unei anumite porțiuni din piesă și nu intră în categoria metodelor nedistructive.

Se poate concluziona că patina monedei este naturală formată în urma reacțiilor dintre materialul monedei și mediul în care s-a aflat neavând urme de adaosuri artificiale. Aliajul din care este confecționată moneda face parte din categoria bronzurilor cu staniu având o compoziție chimică diferită de cea uzuală pentru bronzurile utilizate curent în zilele noastre. Acest lucru confirmă autenticitatea monedei deoarece un fals din zilele noastre ar prezenta o compoziție specifică bronzurilor utilizate curent în industrie. Metodele de analiză chimică nedistructivă a suprafeței sunt fiabile, răspund competent la problemele ridicate de studiile numismatice și prezintă avantajul că piesa rămâne intactă. Comparativ cu analiza chimică clasică se pot identifica direct fazele existente.

Unul din cele mai fierbinți puncte ale istoriei acestor meleaguri românești este cucerirea Daciei de către împăratul Traian în urma războaielor din 105–106 d. Chr, în formarea și perpetuarea poporului. Prin urmare am luat în considerare spre investigare un denar cu efigia împăratului Traian, figura 3a, unde se distinge în mod evident un fragment de inscripție: IMP-TRAIANO, care permite fără dubii identificarea acestuia. Reversul monetei prezintă fragmente de inscripție PMTRP = Pontifex Maximus Tribuniciae Potestatis; COS VI = ales consul a 6-a oară, PP = Pater Patriae, iar în centru se distinge perfect reprezentarea virtuții zeificate. Aceste indicii arată

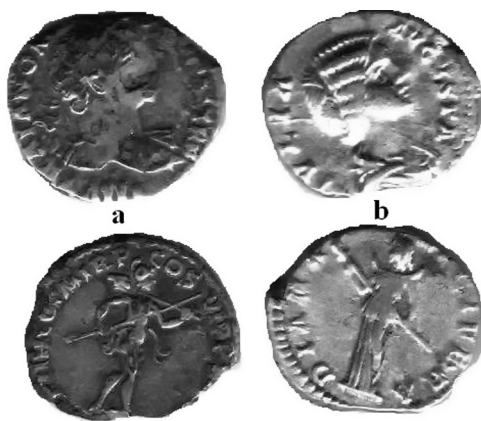


Fig. 3 – Denari romani impariali avers – revers: a) Traian și b) Iulia Doamna.

faptul că moneda a fost bătută undeva spre partea de sfârșit a domniei împăratului Traian care se încheie în anul 117 d. Chr. Aspectul mone-dei este alterat parțial cu evidente urme de coroziune care a implicat pierderea părții superioare cu aproape $\frac{1}{2}$ din inscripție.

Dacă perioada împăratului Traian reprezintă cucerirea Daciei, perioada 211–217 când la conducerea imperiului roman era Iulia Doamna Augusta mama împăratului Caracalla reprezintă o perioadă de înflorire a relațiilor economice. Faptul se oglindește în istoria noastră printr-un monument unic în acea perioadă din această parte a Imperiului Roman și anume statuia ecvestră în mărime naturală a împăratului Caracalla de la Porolissum (Zalău). Se spune că statuia de bronz era reprezentată cu calul cabrat sprijinindu-se de soclu doar pe picioarele din spate. Pe de altă parte Porolissum, cel mai îndepărtat castru roman important, aflat cel mai aproape de granița nordestică a Imperiului aproape de Dacia Liberă. Astfel avem în figura 3b un denar cu efigia Iuliei Doamna. Observăm calitatea deosebită a monetei păstrată odată cu trecerea timpului și totodată distingem pe avers inscripția IVLIA AVGVSTA, iar pe revers inscripția DIANA LVCIFERA încadrând reprezentarea acestei zeițe.

Având două perioade istorice importante pentru istoria noastră și două fragmente de istorie din aceste perioade concretizate de monedele prezentate în figura 3 este deosebit de interesant să vedem ce ne spun prin graiul specific materialului prelucrat și a tehnologiei prin care i s-a dat forma finală în care se află. Analizând foarte atent denarul din perioada împăratului Traian observăm în primul rând literele din inscripție foarte bine evidențiate, cu contururi clare presate în masa de metal iar asemenea literelor inscripțiilor se evidențiază în aceeași manieră și partea vizibilă din efigie și reprezentarea virtuții. Acest fapt indică utilizarea unor matrițe metalice cu care a fost bătută moneda. Fapt confirmat și de dispunerea perfect plană a desenului monedei pe ambele fețe. În zonele neafectate de coroziune se observă prezența unui argint de calitate superioară, testarea acestuia cu soluție standard indică un titlu de 900 ‰. Zona fisurată și atacată profund de coroziune a fost investigată prin microscopie optică în câmp întunecat. Astfel în figura 4a se observă dispunerea foarte rugoasă a straturilor oxidat, mergând cu observația spre partea neatacată de coroziune, figura 4b, se observă o zonă de joncțiune: partea mai joasă întunecată fiind zona corodată iar partea luminoasă plasată mai înalt este constituită de argintul evidențiat pe suprafață.

Desigur aceste aprecieri sunt strict orientative în această fază a investigației. Pentru aprofundarea acestor aspecte urmează a fi efectuate

investigații privind structura fazic-cristalografică a straturilor evidențiate de către microscopia optică. Identificarea compușilor cristalizați și a maselor metalice se poate face prin difracție cu raze X fără ca să fie necesară distrugerea monedei [12]. Analize asemănătoare au fost efectuate pentru investigarea unor sesterți imperiali romani [18].

Denarul Iulia Doamna prezentat în figura 3b constituie o piesă numismatică foarte bine păstrată dar în afara acestui aspect evident reies unele aspecte de formă cu implicații tehnologice. Se remarcă literele evidente dar cu muchii groase și rotunjite pierzându-se treptat în planul monedei, iar efigia este considerabil ieșită în relief având același aspect rotunjit al muchiilor (remarci valabile atât pentru avers cât și pentru revers). Se remarcă și o deplasare de circa 1,5 mm a planului aversului față de revers. Toate aceste observații conduc la singura explicație tehnologică viabilă și anume moneda a fost realizată prin turnare. Această tehnologie specifică atelierelor monetare mici aflate în provincii presupune utilizarea unor monede matrițate ca și model imprimat în niște forme de lut moi care rețin tiparul.

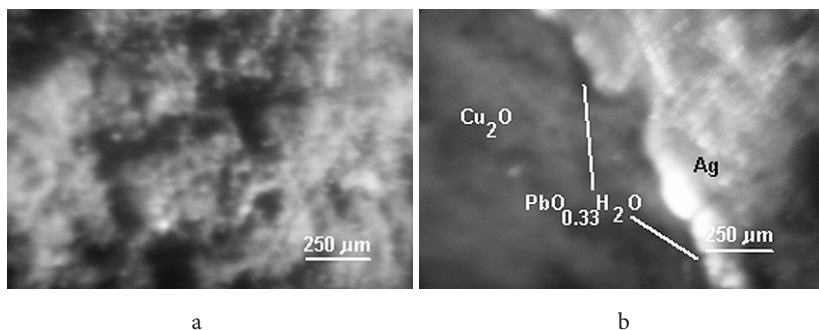


Fig. 4 – Microstructurile suprafeței denarului Traian: a) detaliu strat corodat și b) detaliu folie de argint.

În acestea uscate și asamblate se toarnă aliajul lichid iar după solidificare monedele sunt dezbătute și debitate de pe rețeaua de turnare. Astfel rezultă detalii mai rotunjite ale inscripțiilor datorită tensiunii superficiale a aliajului care umple forma. Pe de altă parte se explică și deplasarea relativă a centrului aversului față de cel al reversului. Analiza de difracție cu raze X va confirma sau infirma dacă aliajul denarului Iulia Doamna este fezabil turnării.

În figura 5 sunt prezentate difractogramele înregistrate pentru denarii investigați, iar datele de difracție apar prezentate în tabelul 3. Pentru identificarea compușilor s-a utilizat baza de date MATCH.

Din difractograma denarului Traian, figura 5a, a fost identificat argintul ca și component majoritar. Cuprul metallic a fost identificat doar ca urme puțin relevante dar a fost pus în evidență prin prezența Cu_2O și a $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ [12, 19], acești compuși chimici ai cuprului sunt specifici siturilor de coroziune la zacere în pământ deci este evident că aceste maxime provin din zona de ruptură puternic corodată evidențiată în figura 4a și respectiv 4b.

Argintul metallic se evidențiază net la suprafața monedei iar zona corodată undeva înspre partea corespunzătoare miezului acesteia. În acest context deosebit de interesant difractograma pune în evidență maxime specifice $\text{PbO} \cdot 0,33\text{H}_2\text{O}$ [20].

Prezența oxidului de plumb hidratat în masa monetei este un indiciu prețios care confirmă pe deplin observațiile de natură tehnologică discutate. Una din metodele curente de realizarea a denarilor suberați este cea a foliei groase de argint care acoperă mizul de cupru iar între miez și folia exterioară de argint se introduce un strat subțire de plumb [8, 10, 11]. Prin urmare în figura 4b se evidențiază clar stratul oxidat de cupru aferent miezului în zona mai joasă iar în zona ridicată, luminoasă, se observă folia de argint, iar la limita de demarcație dintre acestea foarte greu se observă urmele de oxid de plumb hidratat. Prin urmare denarul din perioada Traian este un denar suberat prin metoda foliei groase de argint, ceea ce se cheamă un denar suberat de calitate superioară.

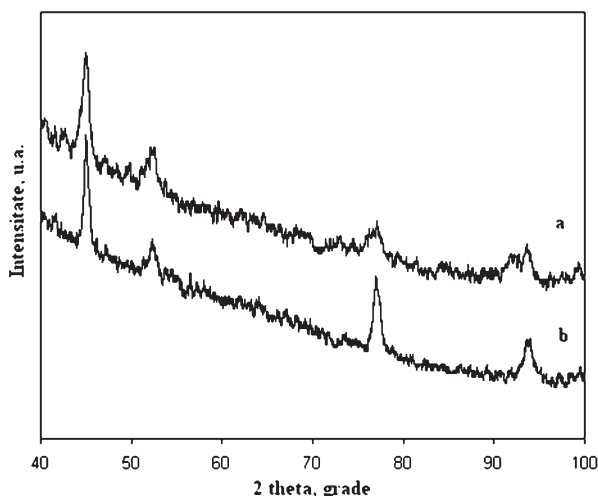


Fig. 5 – Difractogramele denarilor romani imperiali: a) Traian și b) Iulia Doamna.

Din punct de vedere istoric, având în vedere că acest denar cu efigia lui Traian este o piesă oarecare izolată de un anumit context arheologic, este dificil a se face o conexiune cu eforturile economice și financiare necesare intenselor războaie purtate de Traian și emiterea denarilor suberați. Totuși prezența acestui denar suberat păstrat după atâtea secole poate indica o situație financiar-economică mai dificilă spre sfârșitul domniei lui Traian.

Difractograma rezultată pentru denarul Iulia Doamna, figura 5b, arată maxime mult mai intense de argint asociate cu maxime relativ slabe de cupru metalic, izolat fiind semnalat oxid de cupru. Se remarcă prezența pe suprafața monedei a sulfatului de argint hidratat [21], materializat microscopic prin niște puncte negre. Prin urmare aliajul acestui denar are la bază argintul, determinarea prin reacție cu soluția standard arată un titlu de 800 ‰. Acest fapt coroborat cu evidențierea de maxime slabe de Cu metalic indică o structură cu doi componenți structurali: Ag de puritate 1000 ‰, și un amestec eutectic cu compoziția Ag70Cu30% masă. Prezența acestui eutectic în compoziția aliajului de argint este benefică turnării datorită ameliorării proprietăților de turnabilitate ale argintului pur prin creșterea fluidității aliajului la temperaturi mai mici decât temperatura de topire a Ag pur precum și ameliorarea proprietăților de umplere a detaliului forme de turnare. Astfel structura aliajului de argint evidențiată de difracția cu raze X confirmă aspectele tehnologice din discuția anterioară.

Se pare că această soluție tehnică este deosebit de ingenioasă deoarece rezolvă două probleme economice majore: problema emiterii monedelor în provinciile îndepărtate ale Imperiului Roman precum și o problemă de parcimonie prin diminuarea titlului monedelor fără ca acest lucru să se evidențieze ușor. Desigur această piesă numismatică oarecare este prea individuală pentru caracterizarea unui aspect istoric, dar poate arăta că aplicarea acestei soluții tehnico economice cu ingeniozitate poate conduce la o perioadă de stabilitate sau chiar de înflorire economică.

În anul 215 împăratul Caracalla (Marcus Aurelius Antoninus) a inițiat o reformă monetară cu scopul conservării calității argintului din monede introducând o monedă nouă, inițial considerată a fi denar dublu [7, 9] – tip monetar – recunoscut ulterior sub denumirea de antoninian. Acesta prezintă un design foarte similar denarilor de argint dar efigia împăratului este reprezentată întotdeauna cu cununa de raze. Inițial titlul argintului din antoninieni nu scădea sub 835 ‰ și masa acestuia se situa în jurul valorii de 6 grame.

Tabelul nr. 3 – Datele de difracție cu raze X

Nr. Crt.	2 θ (grade)	Intensitate (%)	Distanța interplanară pm	Compus	Indicii Miller
Traian					
1	41,54	15	252,43	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	240
2	42,70	22	245,88	Cu_2O	111
3	44,89	100	234,46	Ag	111
4	45,08	95	233,52	$\text{PbO}^*_{0,33}\text{H}_2\text{O}$	004
5	47,29	12	223,19	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	-311
6	48,41	18	218,33	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	311
7	49,84	20	212,45	Cu_2O	200
8	51,70	44	205,30	Cu	111
9	52,07	52	203,94	Ag	200
10	53,78	25	197,92	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	241
11	59,60	5	180,12	$\text{PbO}^*_{0,33}\text{H}_2\text{O}$	323
12	67,92	3	160,24	$\text{PbO}^*_{0,33}\text{H}_2\text{O}$	430
13	72,75	15	150,93	Cu_2O	220
14	76,60	35	144,43	Ag	220
15	79,40	8	140,14	$\text{PbO}^*_{0,33}\text{H}_2\text{O}$	513
16	81,51	6	137,12	$\text{PbO}^*_{0,33}\text{H}_2\text{O}$	530
17	93,64	30	122,75	Cu_2O	222
18	99,30	28	117,43	Ag	222
Iulia Doamna					
1	41,69	8	251,56	AgHSO_4	600
2	44,99	100	233,96	Ag	111
3	51,32	12	206,72	Cu	111
4	52,25	45	203,29	Ag	200
5	56,49	18	189,15	AgHSO_4	132
6	57,95	8	184,78	Cu	200
7	64,00	6	168,92	AgHSO_4	720
8	73,71	10	149,24	AgHSO_4	442
9	76,92	75	143,92	Ag	220
10	89,25	8	127,43	Cu	220
11	93,63	50	122,76	Cu_2O	222
12	99,52	10	117,26	Ag	222

La scurt timp titlul argintului a ajuns să se deprecieze simțitor spre valoarea de 700‰ [9, 22], iar greutatea acestuia a ajuns de la circa 6 grame la 5 grame, propriu-zis devenind echivalentul unui denar și jumătate cu toate că titlul oficial al acestuia era de doi denari [23]. Datorită acestor aspecte s-a raportat, deosebit de important, tendința de teaurizare a denarilor de argint și menținerea intensivă în circulație a antoninienilor [9, 23].

În cateva decenii situația economică devine din ce în ce mai precară astfel încât majoritatea monedelor în circulație de tipul antoninienilor devin suberate cum ar fi antoninienii emiși de Aurelian începând cu anul 270. În acest sens cercetările numismatice au relevat o gama variată de antoninieni suberați cu efigia lui Aurelian, care în prima fază sub aspectul legendei și iconografiei nu se deosebesc foarte mult de cei emiși anterior. Pe parcurs intervine o inscripție deosebit de interesantă pe revers în câmpul monedei, în exergă, și anume XXI [9, 22]. Unii autori postulează că aceasta înseamnă 20 de piese de tipul acesta fac una de alt tip, adică 20 de antoninieni fac un aureus [9]. Alți autori postulează o idee deosebit de interesantă și anume că inscripția XXI înseamnă de fapt că în moneda respectivă la 20 de părți de cupru o parte este argint, fapt care situează titlul total al monetei suberate la 4,7% Ag [22].

Având în vedere faptul că inscripția XXI apare eminent pe antoninieni suberați emiși începând cu împăratul Aurelian cea de a doua ipoteza pare mai veridică. Aliajele de argint prezintă culoare albă specifică doar de la 40% în sus, iar sub această limită aliajul are aspect de bronz și sau de cupru în funcție de concentrație. Astfel necesitatea ca antoninianul să prezinte aparență de argint s-a concretizat prin suberare, adică prin placarea cu o folie subțire de argint de bună calitate a unui miez corespunzător de cupru. Din aceste semifabricate placcate se confecționau monedele prin matrițare la cald [8, 11]. Astfel este posibil ca o monedă să aibă aparență de argint la un titlu scăzut.

După atâta timp de la aceste evenimente trecute este foarte dificilă interpretarea corectă a inscripției XXI, care la vremea respectivă era implicită. Totuși prin anumite investigații de material utilizând metode științifice moderne se pot aduce argumente care să susțină una din cele două ipoteze emise de către istorici.

Împăratul Aurelian a domnit între anii 270–275, o mare parte din monedele emise de acesta sunt de tipul antoninienilor. În lucrarea de față am investigat un astfel de antoninian din categoria celor suberați, figura 6a, având pe avers inscripția parțial lizibilă IMPCAURELIANUS AVG care înconjură efigia împăratului purtând cununa de raze,

iar pe revers textul IOVI CONSERVATOR înconjurând reprezentarea lui Jupiter. În exergă se observă parțial inscripția *S, ceea ce înseamnă că moneda a fost emisă la Serdica, actuala Sofia capitala Bulgariei.



Fig. 6 – Antoninienii investigați, imagini avers (sus) și revers (jos):
a) Aurelian, b) Probus și c) Diocletian.

Împăratul care urmează lui Aurelianus este Probus care a condus Imperiul Roman pe perioada anilor 276–282. De la acest împărat am investigat un antoninian suberțat, figura 6b, aflat într-o stare de conservare mult mai bună decât cel de la Aurelian. Pe aversul monedei se poate citi legenda IMPPROBVS PFAVG însoțită de efigia împăratului cu cununa de raze. Reversul monedei prezintă inscripția ORIENS AVG, însoțită de reprezentarea unui sol care stă în picioare cu mâna stângă întinsă și cu doi prizonieri legați jos, însoțită de litera T, marca monetăriei Ticinum. În exergă este foarte lizibilă inscripția specifică XXI.

Împăratul Dioclețian a domnit între anii 284–305, fiind situat foarte aproape de Probus. De la acesta am investigat un antoninian din categoria celor suberțati aflat într-o stare de conservare a detaliului foarte bună dar cu unele puncte de coroziune adânci care într-un loc aproape străpung moneda, figura 6c. Pe avers în jurul efigiei cu coroana de raze se observă în totalitate inscripția IMPCVALDIOCLETIANVS AVG. Reversul monedei prezintă o inscripție trunchiată HERCULI CONSERVATOR. Reprezentarea de pe avers este atacată parțial dar sunt suficiente detalii ca să fie identificat Hercules. Numeralul XXI din exergă este însoțit de litera T, marcă a monetăriei Ticinum, actuala localitate Pavia din Italia.

Din aspectele istorice prezentate anterior rezultă faptul că sub domnia împăratului Aurelian, cel care a retras administrația romană din Dacia [24], au fost emiși antoninieni suberați în cantități mari, scoțând denarii și antoninienii de argint de pe piață. Sub domnia acestui împărat apare pentru prima oară pe antoninieni inscripția XXI, care se menține până sub Diocletianus, ultimul împărat care emite antoninieni. În cazul de față am luat în studiu un antoninian de la împăratul Aurelian dinaintea introducerii inscripției XXI, figura 1a. Ceilalți doi antoniniei prezintă această inscripție.

Din punctul de vedere al materialului, piesele numismatice din figura 1, sunt afectate puternic de coroziunea datorată mediului de zacere. Remarcăm lipsa totală a foliei de argint care s-a pierdut în timp datorită coroziunii. Pentru fiecare monedă este evidentă o patină maronie-roșcată spre negru închis datorită produșilor de coroziune specifici cuprului.

Având în vedere faptul că cuprul și argintul formează un sistem binar cu solubilitate totală în fază solidă cu formare de eutectic [13] la orice conținut de argint vor exista cristalite ale acestuia amestecate la nivel microstructural cu cele de cupru. Dacă aliajul din care au fost confecționate ar conține argint (de la 1% în sus) ar trebui ca în patină să existe compuși de coroziune specifici argintului cum ar fi sulfura de argint (Ag_2S – de culoare neagră) sau oxidul de argint Ag_2O . Lipsa acestora din compoziția patinei implică lipsa argintului din masa monedei.

Acești trei antoninieni au fost investigați prin difracție cu raze X, folosind anticatod de cobalt, în vederea stabilirii exacte a compoziției

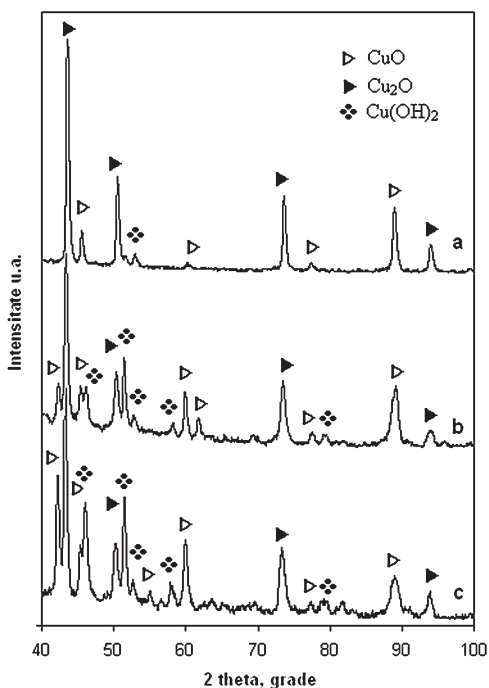


Fig. 7 – Difractogramele antoninienilor cu patina: a) Aurelian, b) Probus, și c) Diocletian.

fazice a patinei, difractogramele rezultate fiind prezentate în figura 7. Maximele de difracție au fost identificate pe baza extraselor de fișe ASTM [12, 13, 17].

Remarcăm în difractograma antoninianului emis de Aurelian prezența maximelor de CuO și Cu_2O (apare doar un maxim foarte slab intens de oxid de cupru hidratat) ceea ce indică prezența unei patine compacte care protejează moneda împotriva extinderii coroziunii. Faptul se datorește zacerii întrun mediu mai uscat. Remarcăm lipsa totală a compușilor de coroziune specifici argintului.

Difractograma antoninianului emis de Probus, figura 7b, prezintă maximele specifice oxizilor de cupru CuO și Cu_2O dar de asemenea prezintă maxime intense de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ fapt care se poate observa în prezența

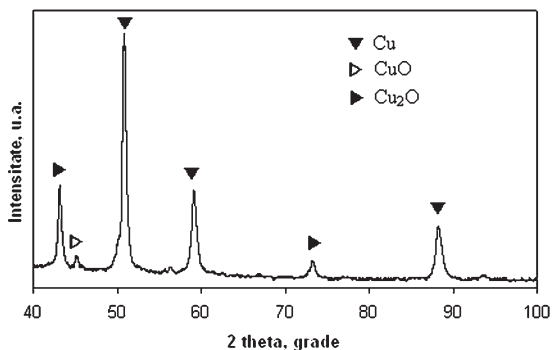


Fig. 8 – Difractograma antoninianului emis de Aurelian, după operația de șlefuire.

unor pete cu tentă verzuie în unele zone ale patinei. Faptul se datorește cel mai probabil umidității relativ crescute din solul de zacere. De asemenea nu s-au evidențiat produși de coroziune ai argintului.

Difractograma antoninianului emis de Dioclețian, figura 7c, este foarte asemănătoare cu cea pentru antoninianul emis de Probus. Și în cazul de față se remarcă lipsa compușilor de coroziune ai argintului.

Aceste observații indică cu certitudine lipsa argintului din masa monedei precum și pierderea completă a foliei de argint cu care aceștia au fost placați inițial. Însă pentru a elimina orice dubii am procedat la șlefuirea antoninianului emis de Aurelian, și l-am supus din nou difracției cu raze X. Spectrul rezultat este prezentat în figura nr. 8.

Din figura nr. 8 observăm maximele foarte intense specifice cuprului tehnic pur, fără alte elemente metalice în masa acestuia. Se mai observă unele maxime relativ slabe de oxizi de cupru, CuO și Cu_2O , fapt care atestă coroziunea avansată spre profunzime a straturilor superficiale ale monedei. Dovada materială ne arată că singurul aport de argint în acești antoninieni emiși pe perioada împăraților: Aurelian, Probus și Dioclețian, este adus numai de către folia de argint aplicată inițial.

Prin urmare dacă considerăm dimensiunile specifice medii pentru un antoninian: diametrul mediu 20 mm, greutatea medie 5 g, grosime medie folie argint aplicată 40 μm , putem calcula aportul procentual de argint din monetă. În prima etapă determinăm volumul foliei de argint, din care cunoscând densitatea acestuia de 10,490 kg/m^3 determinăm masa foliei de argint aferentă unui antoninian suberat.

Efectuând calculele obținem 0,26 g Ag pentru un antoninian Ținând cont de masa medie totală a monetei și de masa rezultată pentru folia de argint rezultă un conținut total de 5,24% Ag. Valoarea obținută este foarte apropiată de valoarea teoretică de 4,7% luată în considerare de unii autori, diferența se datorește în principal grosimii medii a foliei luată în considerare, care ar putea varia în funcție de detaliul monedei.

Prin urmarea pe baza analizelor de materialn misterul inscripției XXI s-a elucidat în sensul că ea înseamnă: în această monetă la 20 de părți de cupru există o parte de argint. Introducerea inscripției pe parcursul domniei lui Aurelian se dovedește o măsură onestă de recunoaștere oficială a deprecierei titlului monetei, pentru a marca net diferența față de antoninienii emiși anterior care au conținuturi mai mari de argint. Acest declin al antoninienilor a condus spre sfârșitul domniei lui Dioclețian la o reformă monetară care a introdus folisul de cupru.

Concluzii

Lucrarea de față tratează în mod exhaustiv problematica tehnologiei de realizare a monedelor romane. Metalul nobil și aliajele acestuia s-au împletit în mod artistic prin mijlocirea meseriei măștrilor monetari astfel încât să ofere suportul necesar desfășurării activităților socio-economice în condițiile dictate de perioadele de înflorire sau de restriște ale Imperiului Roman. Dacă tehnologia standard de realizare a monedelor romane era matrițarea la cald, în virtutea nevoilor socio-economice stringente au fost adoptate alte metode utile cum ar fi turnarea monedelor sau suberarea acestora. Ca un fel de concluzie generală care se desprinde din analiza de material și a tehnologiei de realizare a monedelor romane ar fi următorul aforism: „Uită-te bine la moneda emisă de o civilizație ca să știi în ce situație se află”.

Bibliografie

- [1] Habashi F., *Gold – An historical introduction, Development in Mineral Processing*, 15, 2005, p. 25–47.
- [2] M.F. Guerra, *The study of the characterisation and provenance of coins and other metalwork using XRF, PIXE and Activation Analysis, Radiation in Art and Archeometry*, 2000, p. 378–416.
- [3] S. Moisa, *Biblia și metalurgia*, Ed. Galaxia Gutenberg, Bucuresti, 2011.
- [4] S.W. Grose, *Greek coins and their story: The Webber Collection, The Lancet*, 201, issue 5187, 1923, p.199–200.
- [5] N. Kallithrakas-Kontos, A.A. Katsanos, J. Touratsoglou, *Trace element analysis of Alexander the Great's silver tetradrachms minted in Macedonia*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 171, 3, 2000, p. 342–349.
- [6] Preda C., *Istoria monedei in Dacia preromană*, Ed. Enciclopedică, București, 1998.
- [7] Dumitru T., *Enciclopedia Civilizației Romane*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [8] Marotta M., *Genuine countrefait ancients, Plated coins in Greek and Roman times*, www.coin-newbies.com, iulie 1998.
- [9] Csiki E., *Ghid numismatic: monete grecești, romane și bizantine*, Ed. Kriterion, București 1988.
- [10] Barry K., *Countrefaits and countrefaiters: The ancient world*, www.ancient-times.com 2002.
- [11] Petean I., Arghir G., *Materialele – o problemă pentru suberații romani imperiali*, Acta Musei Porolisensis, Arheologie – Restaurare – Conservare, Zalău, ISSN 1016–2081, 2005, p. 435–438.
- [12] Arghir G., *Caracterizarea cristalografică a metalelor și aliajelor prin difracție cu raze X*, Litografia UTC – N, 1993.
- [13] Arghir G., Gherghari M., *Cristalografie Mineralogie, Îndrumător lucrări de laborator*, Litografia IPC – N, 1989.
- [14] ***, *NIST Materials Science and Engeneering Laboratory, Metallurgy Division, Phase Diagrams and Computational Thermodynamics*.
- [15] Shim. J.H., ș.a., *Cu – Sn calculated phase diagram*, Metallkde 87, 1996, pg. 205–212.
- [16] Ienciu M., ș.a., *Elaborarea și turnarea aliajelor neferoase*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [17] Colan, H., ș.a., *Studiul metalelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
- [18] Arghir G., Petean I., Cacuci B., *Analiza unui sestert Septimius Severus prin metode nedistructive*, Alethea, Nr. 15–16, 2004–2005, Ed. Napoca Star, ISBN 973–8032–39–3, 2006, pag. 337–345.
- [19] Waldo, Malachite, Amer. Mineralogist, 20, 583, 1935, Match PDF 02–0345.
- [20] Oswald, Gunter, Stahlin., *Lead oxide hydrate*, Helvetica Chimica Acta, 51, 1389.
- [21] Troyanov, S., Stiewe, A., Kemnitz, E., *Silver Hydrogen Sulfate*, Humboldt Univ, Berlin, Germany, ICDD Grant-in-Aid, (2000), Match PDF 50–0255.
- [22] Cacuci B., *Unele particularități întâlnite pe monedele din secolul al III-lea*, Colecționarul Roman, IV, 2009.
- [23] Cacuci B., *Prețurile și veniturile în Roma antică*, www.romaniancoins.ro, ianuarie 2010.
- [24] Bodor A., *Împăratul Aurelian și părăsirea Daciei*, Studia Archeologica, Cluj – Napoca, 1972 p. 27–37.