

SPRE O ABORDARE CÂT MAI OBIECTIVĂ ÎN CERCETAREA NUMISMATICĂ PRIN ANALIZE COMPOZIȚIONALE FOLOSIND METODE NUCLEARE

Bogdan Constantinescu, Viorel Cojocaru, Roxana Bugoi

1. Introducere

Numismații fac apel la fizicieni și chimiști în momentul în care sunt confrunțați cu probleme pe care metodele tradiționale ale numismaticei nu le pot rezolva, deoarece aflarea compoziției aliajului monedelor (mai ales titlul, dar și elementele minore de aliere și chiar elementele-urmă) poate conduce la importante concluzii istorice. Colaborarea fructuoasă dintre fizicieni și chimiști pe de o parte, și numismați pe de alta parte, datează de cel puțin două secole și a facilitat deschiderea de noi direcții de investigație.

Barrandon și Guerra¹ au definit trei direcții în aplicarea metodelor științifice la analiza monedelor: analiza aliajelor (determinarea titlului), determinarea provenienței metalului și studii de tehnologie privind obținerea (baterea) monedelor, aici incluzându-se și diverse procedee de falsificare (placare, argintare, etc.).

Înainte de secolul XX numismații erau interesați numai de determinarea compoziției (titlului) aliajelor și foloseau metode chimice (distructive) pentru aceste determinări. Astfel, la sfârșitul secolului al XIX-lea vienezul Max Kirmis a publicat în „Handbuch der Polnischen Münzkunde” titlurile groșilor de argint polonezi dintre 1300 și 1500 cu o precizie de o miime (în 1300 groșul avea 938 părți de argint la mie – 93.8%, iar în 1502 coborâse la 375 părți la mie – 37.5%). Aceste informații au fost folosite de Nicolae Docan în prezentarea monedelor lui Petru Mușat făcută în 1907².

Chestiunea provenienței metalului folosit pentru baterea monedelor a apărut la sfârșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea. Apariția unor tehnici analitice nedistructive de înaltă acuratețe bazate pe fenomene fizice în anii '60 ai secolului trecut a indus mari schimbări în analiza aliajelor metalice și, implicit, în numismatică. Primul pas a constat în folosirea metodelor nedistructive de analiză a suprafeței monedelor – Fluorescența de Raze X (FRX) și, apoi, a metodelor fizice nedistructive pentru întregul volum al monedei – Analiza prin Activare cu Neutroni (AAN) - în varianta Howitzer. În prezent există numeroase metode analitice nedistructive, numismatul împreună cu fizicianul trebuind să aleagă metoda adecvată problemei studiate.

Una din capcanele cele mai periculoase este aceea de a considera compoziția inițială a monedelor ca fiind identică cu cea din prezent. Este evident că între momentul baterii monedei și analiza prin metode moderne se scurge o perioadă bună de timp, iar în acest timp compoziția chimică a monedei se modifică. Dintre fenomenele cele mai bine cunoscute putem menționa aici pe acela de îmbogățire în fier a suprafeței datorită prafului încrustat pe suprafața monedei, dar mai ales coroziunea diferențiată care afectează monedele ce conțin în aliajul lor metale nenobile (cupru, staniu) în mod semnificativ. În evaluarea modificării compoziției prin coroziune, trebuie să se țină cont de condițiile de păstrare ale monedelor de-a lungul timpului - direct în pământ, în recipiente metalice sau ceramice - cât și de mediul de păstrare după descoperire, fie în colecții publice, fie în colecții private.

Este important să se știe dacă monede din metale diferite au fost teaurizate împreună și mai ales dacă monedele au fost păstrate într-un container metalic, căci, dacă metale diferite sunt plasate în

¹ J.-N. Barrandon și M.-F. Guerra, *Physics in Numismatics* în *Survey of Numismatics Research*, Berlin, 1997, p. 825.

² N. Docan, *Notiță despre monetele lui Petru Mușat*, în *Analele Academiei Române - Memoriile Secției Istorice*, seria a II-a, 30, 1907.

contact direct și păstrate un timp mai lung are loc fenomenul de coroziune galvanică, care are ca principal rezultat transferul sub formă de ioni al metalelor cu potențial electrochimic mai scăzut spre cele cu potențial mai ridicat, obținându-se false îmbogățiri ale monedelor.

De asemenea, curățarea monedelor poate cauza alterări serioase ale compoziției acestora. De exemplu, monedele din aliaje cupru-argint se curăță de obicei astfel încât să se obțină o suprafață metalică lucitoare (argintie). Această procedură conduce la îmbogățirea superficială în argint datorită îndepărtării prin curățare a atomilor de cupru oxidați de-a lungul timpului (cunoscuta cocleală verzuie de la aliajele mai bogate în cupru). O analiză compozițională³ asupra stratului superficial al acestor monede curățate deliberat sau prin purtare va da un titlu de argint mai ridicat decât cel real, încă existent în corpul monedei neafectat de coroziune. Dacă adâncimea analizată este de ordinul micronilor, rezultatele obținute nu sunt relevante pentru compoziția totală, ci pentru cea a stratului analizat, care poate fi diferită de compoziția din interior din prezent, dar și de compoziția inițială⁴.

Trebuie menționată și problema monedelor argintate sau pseudoargintate (metodă de falsificare cunoscută încă din antichitate – vezi mai jos cazul drahmelor de bronz acoperite cu un aliaj staniu-plumb simulând argintul). FRX poate semnală rapid că sub aspectul argintiu al monedei se ascunde un corp de cupru, bronz (aliaj cupru-staniu), alamă (aliaj cupru-zinc) sau chiar plumb. Se poate trage concluzia că în cazul metodelor analitice în care se studiază suprafața (un strat superficial micronic) rezultatele obținute depind în mare măsură de gradul de alterare (corodare) a acelei suprafețe. Există și cazuri fericite în care aspectul alterării este neglijabil: monedele de aur (cu un conținut de cupru sub 3%) și cele de argint cu titlu de peste 95%.

În concluzie, dacă metodele analitice folosite în determinarea compoziției sunt diferite, și rezultatele lor pot fi diferite, în funcție de zona (suprafața sau volumul) din monedă analizată: structura aliajelor monetare vechi este puternic neomogenă atât avers-revers cât și de la un punct la altul, în dimensiuni chiar de ordinul milimetrului. Rezultă că oricare dintre metode și chiar măsurări reprezintă o fereastră deschisă către realitate, dar fiecare oferă propria sa viziune asupra aceleiași realități.

2. Tehnici nucleare disponibile la Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei” din București

2.1. Fluorescența de Raze X (FRX)

Monedele studiate în articolul de față au fost analizate prin Fluorescență de Raze X (FRX) folosind surse de excitare izotopice: ²³⁸Pu (inelară, 30 mCi) și ²⁴¹Am (inelară, 10 mCi, cu fereastra de nichel). Sursa de plutoniu (²³⁸Pu) este mai indicată pentru detectarea Cu, Au, Fe, și Pb, iar sursa de americium (²⁴¹Am) pentru detecția Ag, Sn și Sb. Pentru detecție s-au folosit un detector de Si(Li) și unul de Ge hiperpur. Acesta din urmă prezintă o înaltă rezoluție (155 eV pentru linia K_α a Cu de 8.047 keV). În ciuda rezoluției foarte bune, scăpările din detector ale razelor K ale germaniului complică spectrul de raze X⁵.

2.2. Analiza prin Activare cu Protoni (AAP)

Analiza prin Activare cu Protoni (AAP) s-a făcut la acceleratorul Tandem al Institutului Național de Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei” (IFIN-HH) Măgurele, la o energie a protonilor de 11 MeV și o intensitate a curentului de fascicol de aproximativ 50 nA. La aceasta energie, toate elementele chimice de activat suferă doar o reacție de tip (p, n). După activare și un timp de răcire de circa o săptămână, radioactivitatea rămasă (foarte redusă) a monedei este măsurată cu un spectrometru gama, identificându-se din razele gama caracteristice metalele din aliaj. Spectrometrul gama folosit a fost compus dintr-un detector de Ge(Li) de 50 cm³ și rezoluție de 2.1 keV la linia de 1.33 MeV, un preamplificator, un amplificator și un analizor multicanal instalat pe un

³ V. Cojocaru, *Influența mediului ambient asupra coroziunii monedelor*, în *Cercetări de Conservare și Restaurare*, 2, 1982, p. 89.

⁴ C. Flament și P. Marchetti, *Analysis of ancient silver coins*, în *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 226, 2004, p. 179.

⁵ V. Cojocaru și E. Pincovski, *Sisteme spectroscopice de raze X pentru analiza elementală*, în *Știința și Tehnologia în Protecția Mediului*, 9, 2002, p. 35.

computer. Deoarece a fost folosit un fascicol de protoni focalizat, neomogenitatea aliajului a condus la obținerea de concentrații ușor diferite prin metoda AAP comparativ cu FRX. Această metodă este în general utilizată la determinarea elementelor-urmă din aliaj care pot fi considerate „amprente” caracteristice sursei (minei) de metal prețios.

2.3. Analiza prin emisie de raze X indusă de protoni (PIXE)

Măsurările folosind emisia de raze X indusă de protoni - PIXE (Proton Induced X-ray Emission) s-au efectuat folosind un fascicol de protoni de 3 MeV produși la același accelerator Tandem al IFIN-HH, experimentul având loc în vid. Intensitatea fascicolului pe țintă a variat între 10 și 20 nA, sarcina electrică căzută pe țintă fiind integrată electric și servind la normarea spectrelor. Fascicolul obținut pe țintă avea dimensiuni milimetrice (~1–2 mm diametru). Razele X caracteristice fiecărui element chimic din aliaj au fost detectate (ținta la 45° față de fascicol) de către un detector HPGe orizontal (10 mm grosime, 100 cm² arie) având rezoluția energetică de 200 eV la raza de 5,9 keV (K_α Mn). Metoda PIXE este rapidă și sensibilă, cantitatea minimă detectată fiind de câteva ppm-uri (părți per milion) în regiunea elementelor cu Z=25.

2.4. Analiza prin Activare cu Neutroni (AAN)

Într-un flux de neutroni termici, un element ${}_Z^AX$ suferă o reacție (n, γ) din care poate rezultă un izotop radioactiv ${}_Z^AX^*$ care se pune în evidență prin spectrometrie gama de înaltă rezoluție. Deși reactorul nuclear VVR-S de la IFIN-HH Măgurele nu mai funcționează în prezent, tehnica AAN poate fi folosită cu ajutorul iradierii la reactorul TRIGA de la Institutul de Cercetări Nucleare, Pitești. Tehnica „streak” (prelevare pe bastonașe de cuarț, iradiere în flux de neutroni și spectrometrie gama) furnizează concentrațiile obiectului în punctul de prelevare⁶. De asemenea, atunci când se poate preleva o fărâmbă din obiect (1-5 mg), tehnica AAN cu măsurarea izotopilor radioactivi cu timpi de înjumătățire mai mari de 6 h furnizează informații valoroase⁷.

2.5. Transmitivitatea gama (TG)

Prin măsurarea transmisiei a trei linii gama printr-o monedă binară (Au+Ag, Ag+Cu sau Au+Cu) se pot determina concentrațiile în volum ale celor două elemente componente⁸. În lucrarea de față s-au folosit radiațiile gama de 59.54 keV (²⁴¹Am), 81.01 keV (¹³³Ba) și 121.78 keV (¹⁵²Eu), emise de surse-etalon punctiforme de câte 10 μ Ci fiecare.

Elementele-urmă pot fi neglijate, dar în cazul când moneda analizată conține două sau mai multe elemente minore, așa cum indică FRX, se pot face doar determinări aproximative. Tehnica este valoroasă deoarece poate furniza concentrațiile în volum. Cu ajutorul ei sortarea monedelor plătite sau argintate se face foarte rapid, așa cum s-a făcut pentru un tezaur de 80 de monede thasiene aparținând Muzeului de Arheologie Oltenița⁹.

Dintre toate tehnicile experimentale prezentate mai sus, FRX este cea mai ușor de utilizat, fiind mult mai ieftină decât PIXE sau AAP, deoarece nu necesită folosirea unui accelerator de particule sau reactor, dar implică timpi de achiziție lungi pentru obținerea unei statistici satisfăcătoare, necesare în cazul determinării elementelor-urmă. Sensibilitatea FRX în cazul monedelor de argint este de ordinul a câtorva zeci de ppm, fiind însă suficientă pentru a rezolva problema determinării titlului monedelor.

3. Cazuri ilustrative

3.1. Monede geto-dacice de tip Inotești-Răcoasa

Monedele geto-dacice de tip Inotești-Răcoasa fac parte din marea clasă de imitații a monedelor macedonene de tip Filip al II-lea. Pe avers au capul stilizat al lui Zeus în profil spre dreapta, iar pe revers un cal în galop spre stânga. Ele au fost bătute, probabil, în a doua parte a

⁶ V. Cojocaru, în *Cercetări de Conservare și Restaurare*, 2, 1982, p. 89.

⁷ V. Cojocaru, C. Beșliu și Cristina Anton Manea, *Nuclear Analyses of the Pietroasa Gold Hoard*, în *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 240, 1999, p. 897.

⁸ V. Cojocaru, comunicare la cea de-a 7-a Conferință Națională ICEFIZ Progrese în Fizică, Iași, 3-5 octombrie 1985, 42.

⁹ V. Cojocaru, comunicare privată.

secolului al II-lea, și în mod special în primele trei decenii ale secolului I î. Chr. S-a emis ipoteza¹⁰ că acestea au fost emise de către o uniune tribală, ce își avea teritoriul în jumătatea de est a Munteniei și în cea de sud a Moldovei.

Aceste monede sunt înrudite strâns cu monedele de tip Vârteju-București din care au derivat stilistic și pe care le-au succedat. Dacă sigla și rozeta sunt preluate, așa cum se consideră, de la tetradrahmele bătute în Thasos, înseamnă că ele au apărut în urma acestora, deci după anul 148 î. Chr., când a avut loc înfrângerea lui Andrisos și organizarea Macedoniei în provincie romană, iar cele care preiau sigla M barat, ce aparține celei de a doua emisiuni de tetradrahme thasiene, după anii 88-80¹¹.

Față de înaintașele sale (Vârteju-București), reprezentările sunt încă mai schematizate, apare o reducere atât a titlului, cât și a greutateii monedelor (cu o medie de 5.96 g), și, la majoritatea, o formă accentuat scyphată. C. Preda¹² consideră că "există o serie de emisiuni unde cuprul nu numai că depășește argintul în procente, dar sigur ajunge să constituie elementul de bază, argintul fiind folosit numai pentru argintare". Printre acestea el include și monedele de la Popești. Acestea reprezintă un număr de 19 monede de tip Inotești-Răcoasa, dintre care 11 se află la Cabinetul Numismatic al Institutului de Arheologie și care, în parte - monedele nr. 7, 8, 9 și 10 din tabelul 1, au făcut obiectul cercetării de față.

Totodată, într-un recent eseu numismatic se face afirmația, probabil fără a avea la bază analize compoziționale, că "așa-numitul tip Inotești-Răcoasa sfârșește prin a fi doar monede din bronz atât de ușor argintate, încât argintul a dispărut complet"¹³. E adevărat că aspectul lor vizual nu diferă cu nimic față de cele de cupru/bronz și numismații au catalogat multe din ele drept AE.

Este interesant de verificat aceste ipoteze despre monedele de tip Inotești-Răcoasa și, în general, dacă geto-dacii au bătut vreodată monede din cupru/bronz. Dacă acest tip de monede, împreună cu cel de tip Rădulești-Hunedoara, care au constituit ultimele emisiuni pre-romane ale geto-dacilor, cele mai degradate stilistic și compozițional, nu sunt din cupru/bronz, înseamnă că practic geto-dacii nu au bătut niciodată monedă din metale nenobile. Scopul lucrării de față este tocmai acela de a răspunde acestor întrebări.

Pentru aceasta, într-un studiu efectuat în colaborare cu domnul doctor Gh. Poenaru-Bordea s-a analizat un număr de 15 monede de acest tip ale căror caracteristici sunt date în tabelul 1. Fotografiile primelor 10 monede din tabelul 1 sunt date în figura 1. În figura 2 se prezintă un spectru X obținut prin tehnica FRX cu ajutorul unui detector de Si(Li).

Rezultatele obținute folosind metoda FRX sunt date în același tabel 1. După cum se vede, în afara monedei nr. 6, toate celelalte conțin argint într-o proporție cuprinsă între 15% și 69%. Cele cu conținut redus de argint (1, 2, 3, 4, 5 și 14) par a fi din cupru, și au fost chiar catalogate de către numismați drept AE. Este curios că moneda nr. 6 a fost catalogată AR, deși nu are decât o slabă impuritate de argint (800 ppm), poate o veche argintare. Se poate concluda din aceste rezultate că aspectul unei monede este un joc al concentrațiilor inițiale ale elementelor, dar și al corodării și al circulației lor.

O întrebare se impune: de ce geto-dacii mai introduceau argintul în monedă, dacă el tot nu era vizibil și moneda arăta ca fiind de cupru/bronz? Nu putem decât să facem niște ipoteze:

- Imediat după batere, aliajul inițial părea de argint. Poate cantitatea mare de staniu (concentrația medie fără moneda nr. 6 este de aproximativ 8%) avea chiar rolul de a o face să pară de argint. S-ar putea ca aspectul actual al monedelor să fie datorat și corodării preferențiale a staniului față de cupru.

- O cantitate de argint în compoziția aliajului ajută la eventuala argintare ulterioară a monedei, la stabilitatea depunerii și apoi la crearea unei impresii bune la verificarea prin zgâriere.

¹⁰ C. Preda, *Monedele geto-dacilor*, București, 1973.

¹¹ Gina Kacarova, *On Thassos Tetradrachms found in Bulgaria*, în IAI, 27, 1964, p. 131.

¹² C. Preda, *op. cit.*

¹³ M. Gramatopol, *Arta monedelor geto-dacice*, București, 1997, p. 46.

Totuși, trebuie spus că nu există nici o dovadă că geto-dacii stăpâneau tehnica argintării, negăsindu-se până acum de la ei monede sau obiecte de podoabă argintate.

Ar fi de remarcat că tot concentrații mici de argint (în jur de 20 %) se găsesc și la monede medievale (de exemplu monede bătute de Mircea cel Bătrân în timpul bătăliei de la Nicopole) și chiar la monede moderne (multe turcești conținând 18-22 % Ag, monede poloneze din secolul trecut, etc.).

Toate monedele au o mare concentrație de plumb. Concentrația medie de plumb (fără moneda nr. 6) este de 1.25 %. Acest fapt ar putea să arate că argintul a fost obținut prin metoda cupelării în care rafinarea nu a fost foarte îngrijită. O singură moneda are mercur - nr. 13, dar nu este exclus ca el să provină dintr-o amalgamare accidentală, foarte ușor de realizat.

Bismutul care există peste tot (între 200 ppm și 1500 ppm) ar putea să indice clasa de minereu din care a provenit argintul.

Bromul care se vede în două monede la nivel de 100 - 200 ppm ar putea fi, de asemenea, pus în legătură cu natura minereului din care s-a extras argintul. O ipoteză privind prezența acestui element este legată de mediul marin în care s-au găsit monedele, dar prea bine prezența lui poate indica natura minereului (bromirit sau cinerit)¹⁴.

În sfârșit, raportul Au/Ag este o amprentă a minei din care provine argintul, anticii neavând nici o posibilitate de a separa aurul de argint¹⁵. Reiese din tabelul 1 că s-au folosit cel puțin patru surse de minereu de argint. Majoritatea monedelor (9 din 14) au fost realizate cu argintul din aceeași sursă ($R = c_{Au}/c_{Ag} = 0.71$ %). Toate cele patru monede descoperite la Popești prezintă acest raport, deci provin din aceeași sursă de minereu de argint. Două monede (5 și 12) au acest raport egal cu 1.27 % și alte două (3 și 13) au $R = 1.53$ %. Moneda nr. 15 are un raport $R = 0.27$ %. Trebuie spus că moneda nr. 15 a fost dezgropată la Radovanu (jud. Călărași), departe de zona în care s-au găsit majoritatea monedelor de acest tip.

Un număr de 11 monede din cele cercetate au fost analizate prin TG. Așa cum era de așteptat, concentrația de argint (c_{Ag}^{volum}) este mai mică decât cea măsurată prin FRX ($c_{Ag}^{suprafață}$). S-a determinat un raport mediu $r = c_{Ag}^{volum} / c_{Ag}^{suprafață} = 0.69$, cu valori cuprinse între 0.57 și 0.84, în raport cu corodarea monedei. Folosind valoarea r și c_{Ag}^{FRX} , rezultă o concentrație volumetrică medie de argint în cele 14 monede de tip Inotești-Răcoasa în jur de 33%.

AAP a adus informații asupra compoziției monedelor. Un exemplu de spectre gama obținute în urma iradierii cu protoni sunt reprezentate în figura 3. Spectrele au fost ridicate la timpi de răcire (timpul scurs din momentul iradierii până la momentul măsurării) diferiți, pentru a obține informații asupra timpilor de înjumătățire ale razelor gama. Acest mod de abordare este important deoarece timpul de înjumătățire este, împreună cu energiile razelor gama emise, o caracteristică a izotopului emițător.

Moneda nr. 6 poate fi considerată un fals modern. Această concluzie corespunde presupunerii lui Vasile Pârvan¹⁶. TG a demonstrat lipsa argintului în volumul monedei 6 și faptul că corodarea ei este practic inexistentă. Ea este executată dintr-un bronz Cu/Sn, cu evident mai puțin fier și mai puțin plumb decât toate celelalte monede din lot. Proveniența ei este dată drept necunoscută de către C. Preda¹⁷, dar pe plicul în care se găsește este specificat că ea a fost donată colecției Helder din Galați de către societatea "Mica".

În concluzie, monedele de tip Inotești-Răcoasa nu sunt din cupru sau bronz, ci sunt toate din aliaj de argint mai mult sau mai puțin devalorizat (billon). De ce valoarea concentrației argintului este atât de dispersă (între 11 și 50 %), pe când a celor din tipul care l-au precedat (Vârteju-

¹⁴ V. Cojocaru și D. Șerbănescu, *Reliability of nuclear methods in the analysis of ancient coins: The Chiselet hoard of Thasian tetradrachmas*, în *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 222, 1997, p. 15.

¹⁵ I. Brissaud, P. Chevallier, C. Dardenne, N. Deschamps, I. P. Frontier, K. Gruel, A. Taccoen, A. Tarrs și J. X. Wang, *Analysis of Gaulish coins by proton induced X-ray emission, synchrotron radiation X-ray fluorescence and neutron activation analysis*, în *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 49, 1990, p. 305.

¹⁶ V. Pârvan, *Getica*, București, 1926, p. 603.

¹⁷ C. Preda, *op. cit.*

București) este destul de constantă - în jur de 60 %¹⁸ - rămâne încă o necunoscută. S-ar putea ca o devalorizare în timp să fi avut loc și să existe o corespondență între varianta monedelor¹⁹ și concentrația de metal nobil, dar numărul monedelor analizate este prea mic pentru a permite o asemenea analiză.

Este de remarcat că o monedă analizată, de tip Rădulești-Hunedoara, a arătat o compoziție asemănătoare cu cea din lotul Inotești-Răcoasa²⁰. Am putea deci spune că geto-dacii nu au bătut niciodată monedă de cupru/bronz, ci numai din argint - mai mult sau mai puțin devalorizat.

3.2. Kosoni

Ca exemplu de studiu privind proveniența metalului prețios utilizat la baterea monedelor prezentăm cazul kosonilor, celebrele monede cu inscripția greacă ΚΟΣΩΝ. Despre aceste monede există două ipoteze istorice: fie sunt unicele monede de aur dacice, fie sunt monede bătute de Brutus pentru a fi date ca plată unei căpetenii dacice care îi furniza sprijin militar (soldați). Au fost analizate 21 de monede de tip ΚΟΣΩΝ provenite din tezaurul Muzeului Național de Istorie a României (MNIR) - dintre care 20 proveneau dintr-un tezaur recent achiziționat de la un țăran din zona Devei - și dintr-o colecție particulară, comparându-le cu trei stateri pseudo-Lysimach, două monede celtice și un aureus al lui Caesar, toate datând din aproximativ aceeași perioadă (sec. III-I î. Chr.). Au fost folosite metodele FRX și AAP, aceasta din urmă pentru a determina prezența eventualelor elemente-urmă specifice aurului transilvan²¹. Așa cum se vede și din tabelul 2 și din figura 4, majoritatea kosonilor au compoziția Cu-Ag foarte apropiată de cea a pseudo-Lysimachilor (Ag până în 5%, Cu până în 0.30%). Un singur koson - fără monogramă, de proveniență necunoscută - are mult argint (10.71%) și cupru (0.85%), fiind oarecum asemănător compoziției aurului nativ transilvan (Ag între 10% și 30%). AAP nu a indicat prezența în aceste monede a elementelor-urmă specifice aurului din Munții Apuseni (As, Hg, Te, Sb).

Concluzia este că aliajul kosonilor fie nu este electrum (aur nativ), fie nu provine din Transilvania, fiind cel mai probabil aur de tipul celui care circula în Balcani în epocă. Asemănarea cu pseudo-Lysimachii indică faptul că aceste monede au fost bătute de meșteri greci, posibil chiar itineranți, ceea ce face ca ipoteza baterii lor în Dacia să nu fie definitiv înlăturată. Totuși, faptul că nu a fost folosit aur transilvan și similitudinea compoziției lor cu cea a monedelor de tip pseudo-Lysimach înclină balanța spre ipoteza lui Pârvan că au fost bătute undeva în sudul Dunării.

3.3 Drachme de tip Apollonia – Dyrrachium

Un număr însemnat de drachme grecești de acest tip au fost găsite pe actualul teritoriu românesc și în zona de la est de Tisa în Ungaria. Se presupune că aceste monede ar fi fost aduse aici de către mercenarii daci care au luptat de partea lui Pompeius în primul război civil roman și care probabil au fost plătiți în monede de argint. Problema istorică a urmărit felul în care condițiile de război (spre exemplu bararea accesului la minele de argint din Grecia și Macedonia) au influențat calitatea monedelor și au dus la apariția „falsurilor” (monede bătute cu matrițe originale dar cu titlu foarte scăzut, placate sau argintate).

Măsurările s-au efectuat pe monede furnizate de către Muzeul Țării Crișurilor din Oradea și de Muzeul Național de Arheologie din București. Au fost folosite următoarele metode de analiză a compoziției monezilor: Fluorescența de Raze X (XRF) - varianta excitării cu sursă radioactivă și Emisia de raze X excitate prin bombardarea cu protoni (PIXE) la Tandemul IFIN-HH de la București²².

Sintetizând numărul mare de rezultate (cca. 300) ale compoziției elementale a monedelor emise de orașele Apollonia și mai ales Dyrrhachium (cu inscripțiile Xenon și Meniskos în mare

¹⁸ V. Cojocaru și D. Șerbănescu, *Analize nucleare pe monede dacice de tip Vârteju-București*, în *Thraco-Dacica*, 20, 1999, p. 365.

¹⁹ V. Cojocaru, comunicare personală.

²⁰ V. Cojocaru, comunicare personală.

²¹ V. Cojocaru, B. Constantinescu, I. Ștefănescu și Carmen- Maria Petolescu, *EDXRF and PAA analyses of Dacian gold coins of 'koson' type*, în *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 246, 2000, 1, p. 185.

²² Roxana Bugoi, B. Constantinescu, F. Constantin, D. Catană, D. Ploștinaru și Al. Sășianu, *Archaeometrical studies of Greek and Roman silver coins*, în *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 242, 1999, 3, p. 777

majoritate) cel mai probabil în timpul primului război civil roman, se poate concluziona că există următoarele categorii de monede (vezi tabelul 3):

- Monede originale, cu mult argint (95%...99%), concentrații scăzute de cupru (cca. 0.5...4%), cuprul fiind adăugat în cantitate redusă probabil pentru creșterea durtății monedelor, plumb (de ordinul a circa 0.1%...0.9%), aur (0.1...0.9%). Aceste monede au fost emise cel mai probabil la începutul războiului, când existau suficiente resurse de minereu argenterifer;

- Monede devalorizate cu un conținut ridicat de cupru (5...20%), cu diminuarea corespunzătoare a proporției de argint, emise probabil în perioada de mijloc a războiului, când s-a produs micșorarea rezervelor de argint datorită tăierii legăturilor cu minele din nordul Greciei și Macedonia și s-au redus veniturile din comerț, ducând la apariția fenomenului de inflație, manifestat în mod evident prin scăderea titlului monedelor;

- Monede placate - „suberate”, constând din folosirea unui miez de cupru sau, în cele mai multe cazuri bronz (Cu: 90-97%, Sn: 3-10%) acoperit cu o placă sau un strat subțire (0.1-0.3 mm) de argint. Contactul dintre miez și placă era realizat prin folosirea unor aliaje gen "lipitură" de staniu și plumb, aliaj conținând aceste două elemente în proporții diferite. Aceste monede au fost probabil emise în perioada de mijloc a războiului, în paralel cu cele devalorizate. Acest tip de monede a fost pus în evidență datorită șansei descoperii unor exemplare având crusta (placa) exterioară ruptă în anumite regiuni. Analiza lor s-a făcut folosind metoda PIXE și o colimare adecvată a zonei de interes (muchia piesei mai ales, unde miezul era mai accesibil);

- Monede de bronz (cupru 70%, staniu 30%), acoperite cu un strat micronic de "argentarium" (aliaj de staniu cu puțin plumb imitând argintul), menționat de Plinius în *Historia Naturalis* ca fiind folosit în acoperirea oglinzilor de bronz. De remarcat că acest tip de monede au un aspect identic cu cel al monedelor originale (pentru că au fost emise de monetăriile autorizate folosind matrițele originale), dar e de precizat că ele s-au găsit doar pe teritoriul fostei Dacii. Monedele de acest tip au fost probabil emise spre sfârșitul războiului când rezervele de argint erau practic epuizate. Un astfel de caz este tezaurul de la Troianu (Belitori), unde a fost descoperit un număr însemnat de astfel de drahme cu aspect îngrijit, catalogate de Bucur Mitrea ca fiind de argint, dar greutatea monedelor nu se încadra în tiparele știute, depășind valoarea de 3.50 g tipică pentru drahme. Analizele elementale FRX/PIXE au condus la concluzia că aceste monede erau fabricate în exclusivitate dintr-un aliaj de bronz, fiind acoperite cu staniu;

- Monede cu un conținut de staniu foarte ridicat (peste 90%, restul compoziției constând în cupru), având un aspect argintiu. Aceste monede au fost bătute folosind probabil staniul ce se găsea din belșug în sudul Iugoslaviei de azi, în proximitatea orașelor grecești în discuție. Aceste monede au fost emise cu siguranță în ultima fază a războiului, când criza economică era la apogeu.

3.4. Primele emisiuni monetare din Țara Românească

FRX și AAN au fost folosite în analiza a 64 de monede de argint care au constituit primele emisiuni monetare din Țara Românească, între 1365 și 1418²³ (Vladislav I, Radu I, Dan I și Mircea cel Bătrân). O parte din rezultate sunt arătate în figura 4, indicând evoluția economiei țării în acești 54 de ani. Este de remarcat că, de regulă, o scădere a concentrației de argint însoțea și o scădere a mediei greutății monedelor. Această constatare a fost folosită uneori în figura 4 pentru ordonarea emisiunilor. Astfel, de la o greutate de circa 0.8 g pentru primele emisiuni se ajunge la 0.22 g pentru emisiunile 10 și 12 (figura 5), bătute în timpul bătăliei de la Nicopole. Cea de-a doua etapă a domniei lui Mircea (1396-1418) începe cu o reformă monetară care restabilește concentrația de argint, dar nu și greutatea monedei (circa 0.5 g).

²³ C. Beșliu, V. Cojocaru, M. Constantinescu, V. Grecu, M. Ivașcu, E. Marincu, V. Mateiciuc, S. Spiridon, Paraschiva Stancu și Constanța Știrbu, *Analiza compozițională prin metode nucleare a unor monede de argint de tipul Vladislav I și Dan I*, în Preprint IFIN, București, NP - 23 - 1982.

3.5 Alte cazuri relevante

Problema monedelor falsificate prin argintare se pune încă de pe vremea romanilor. Astfel, într-un articol recent²⁴ - Constantina Vlachou a demonstrat că în perioada Imperiului Roman târziu (250-350 A. D.) se folosea curent tehnica argintării prin amalgamare, constând în următoarele: se prepara un amalgam argint-mercur în care se introducea moneda bătută din cupru sau bronz, se încălzea apoi moneda, permițând evaporarea mercurului (357°C – temperatura de fierbere), obținându-se un frumos aspect argintiu. Totuși, mercurul nu putea fi eliminat în totalitate, rămânând în proporție de minimum 1 la 10 față de argint. Prin urmare, detecția unei cantități de mercur în această proporție este indiciul folosirii acestei proceduri de argintare. De altfel, se cunoaște că amalgamarea se folosea pe scară largă în antichitate la aurirea podoabelor, deci mercurul era disponibil în cantități suficiente. De remarcat că în secolul al XII-lea, Theophilus²⁵ descrie soluții de argintare prin amalgamare, menționând că bizantinii foloseau încălzirea obiectului pe care se depusese amalgamul în ulei de măsline. Faptul că această procedură de argintare a fost folosită și în Evul Mediu am demonstrat-o analizând un tezaur de monede de tip pfennig bracteate, care au fost emise între secolele al X-lea și al XII-lea de către episcopi și principii germani, aparținând Muzeului Național de Arheologie din Constanța, studiu făcut împreună cu dr. Ana-Maria Velter. Aceste monede au un aspect interesant, fiind ștanțate numai pe o singură față. Un număr redus de astfel de monede prezintă o compoziție cu un conținut înalt de Ag (96%), restul elementelor constitutive fiind Au (0.75%), Pb (0.65%) și Cu (2.05%), însă marea majoritate a acestor bracteate se caracterizează printr-un strat superficial de argint, conținând o mare cantitate de mercur și un miez cu un conținut relativ ridicat de cupru, uneori amestecat cu staniu (bronz). De remarcat că un raport mult mai mare în favoarea cantității de argint (deci mercur în cantități mici) este cel mai probabil ca urmare a unor imperfecțiuni în procesul de extragere din minereuri folosind aceeași tehnică a amalgamării. O posibilă explicație istorică pentru numărul ridicat de astfel de monede argintate poate fi aceea că vechile mine de argint erau probabil epuizate la sfârșitul secolului al XI-lea, iar la începutul secolului al XII-lea a început procesul de construcție a marilor catedrale, motiv pentru care a apărut o nevoie sporită de bani, de unde și devalorizarea bracteatelor. Este în curs redactarea unui articol de specialitate privind toate aspectele legate de acest tezaur de bracteate.

În cadrul unui studiu mai amplu asupra emisiunilor monetare moldovenești, început acum câțiva ani împreună cu dr. Ernest Oberländer-Târnoveanu și Katiușa Pârvan, am pus în evidență același procedeu de argintare în unele monede bătute în prima jumătate a secolului al XVI-lea. Metoda FRX permite distincția clară și rapidă între bronz (aliaj cupru-staniu), alamă (aliaj cupru-zinc) și billon (aliaj cupru-argint), care de multe ori au același aspect exterior în cazul obiectelor cu vechime mare. Acest lucru ne-a permis clasificarea monezilor moldovenești analizate în billon (cele mai numeroase), bronzuri și, foarte rar, alamă, precum și identificarea celor argintate.

Merită să menționăm și lucrările unor colegi din Budapesta²⁶ care, folosind tehnica FRX și verificând rezultatele prin metoda analizei de raze gama prompte în urma activării cu neutroni la reactor, au studiat numeroase monede de argint medievale maghiare, în special emise de Matei Corvin, demonstrând că ceea ce se știa din sursele istorice, și anume că titlul acestor monede nu a depășit 50% nu este real, ei găsind monede cu titlu mult mai mare (peste 80%). Acest lucru poate fi explicat și prin imperfecțiunea tehnologiilor de obținere a aliajului și de batere a monedelor din acea vreme, ceea ce făcea ca nu numai monedele din șarje diferite să aibă și titluri diferite, dar chiar și în interiorul aceleiași șarje (lingou de aliaj) să existe importante deosebiri, provenind cel mai probabil din neomogenitatea aliajului.

²⁴ Constantina Vlachou, J. G. McDonnell și R. C. Janaway, *The investigation of degradation effects in silvered copper alloy Roman coins (AD 250-350)*, în *Conservation Science* 2002, Londra, 2003, p. 236.

²⁵ Theophilus, *On Divers Arts: The Treatise of Theophilus*, Chicago, 1963.

²⁶ Zsuzsana Sandor, S. Tolgyesi, I. Gresits, Zs. Kasztovsky, *Determination of the alloying elements in ancient silver coins by X-ray fluorescence*, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 254, 2002, 2, p. 283.

4. Concluzii

Sintetizând posibilitățile oferite cercetătorilor în numismatică de metodele nedistructive nucleare putem spune următoarele:

- Metoda FRX, deși de sensibilitate mai redusă și analizând stratul de la suprafață al obiectului (câteva zeci de microni), prezintă cele mai mari avantaje: ieftină, rapidă, iar în condiții de transportabilitate a instalației, permite chiar măsurări in-situ (în muzee sau colecții). Cu ajutorul FRX se pot determina titlul monedelor de aur și argint și elementele majore ale aliajelor folosite (cupru, zinc, staniu, plumb).

- Metoda PIXE, mult mai scumpă datorită necesității utilizării unui accelerator de particule este utilă în determinarea elementelor-urmă din aliaje (Bi, Sb, Br, As, Hg), care pot fi folosite ca indicii ale provenienței metalului prețios sau a tehnologiei folosite în obținerea sa (orice mină de aur sau argint, în funcție de natura mineralelor sale, are astfel de elemente-urmă caracteristice – de exemplu, Bi în minele de argint din Saxonia, sau Sb în minele de argint din Maramureș). Prezența mercurului indică folosirea sa în extragerea argintului sau a aurului din minereu, iar cea a bromului este legată mai ales de procesele de coroziune la care a fost supus obiectul păstrat în pământ.

- Metoda AAP este cea mai costisitoare și complicată, necesitând pe lângă un accelerator de particule și măsurări lungi post-iradiere. Metoda este totuși de neînlocuit în identificarea elementelor-urmă (la nivelul ppm-urilor), caracteristice diverselor mine (surse) de aur: Sn, Sb, Te, Hg, Pb, As.



Figura 1. Fotografii ale primelor zece monede de tip Inotești-Răcoasa analizate în această lucrare (rezultatele în tabelul 1).

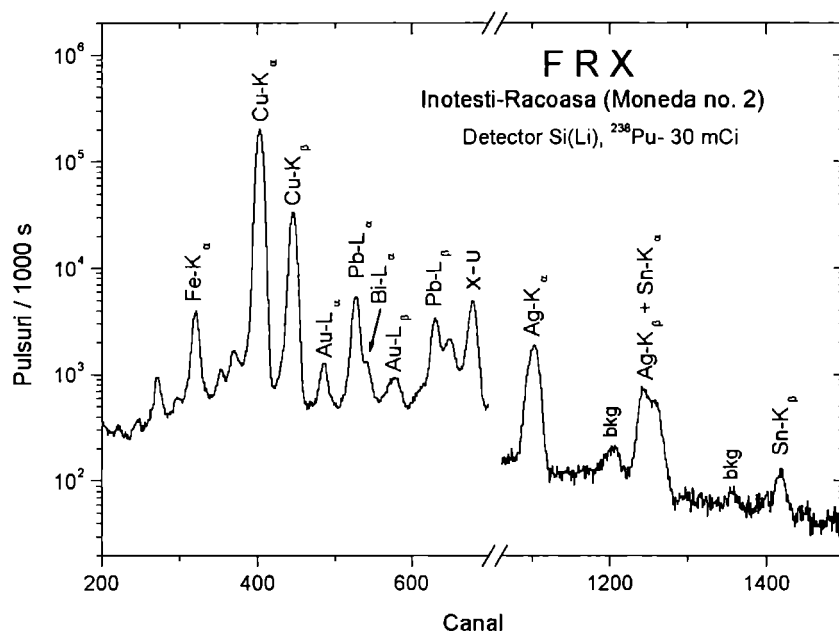


Figura 2. Spectrul de fluorescență de raze X caracteristice al unei monede Inotești-Răcoasa (detector de Si(Li), sursă de excitație de ^{238}Pu).

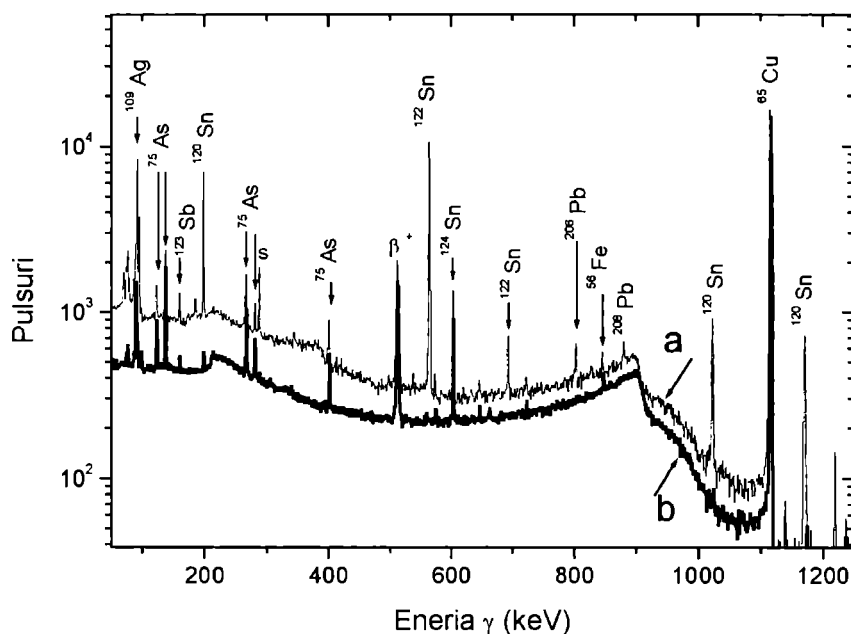


Figura 3 Spectre gama ale unei monede Inotești-Răcoasa obținute prin AAP: a) după un timp de răcire de 66 h; b) după un timp de răcire de 33 d. Peak-urile sunt marcate cu izotopii țintă existenți în monedă. Peak-ul notat cu β^+ - de 511 keV – provine din anihilarea radiației β^+ a izotopilor activi, iar cel notat cu s (287 keV) reprezintă suma razelor gama coincidente de 89 keV și 198 keV provenite din izotopul radioactiv ^{120}Sb ($T_{1/2}=139$ h). Elementele care se pot decela sunt: Ag, Cu, Sn, As, Pb, Sb, Fe.

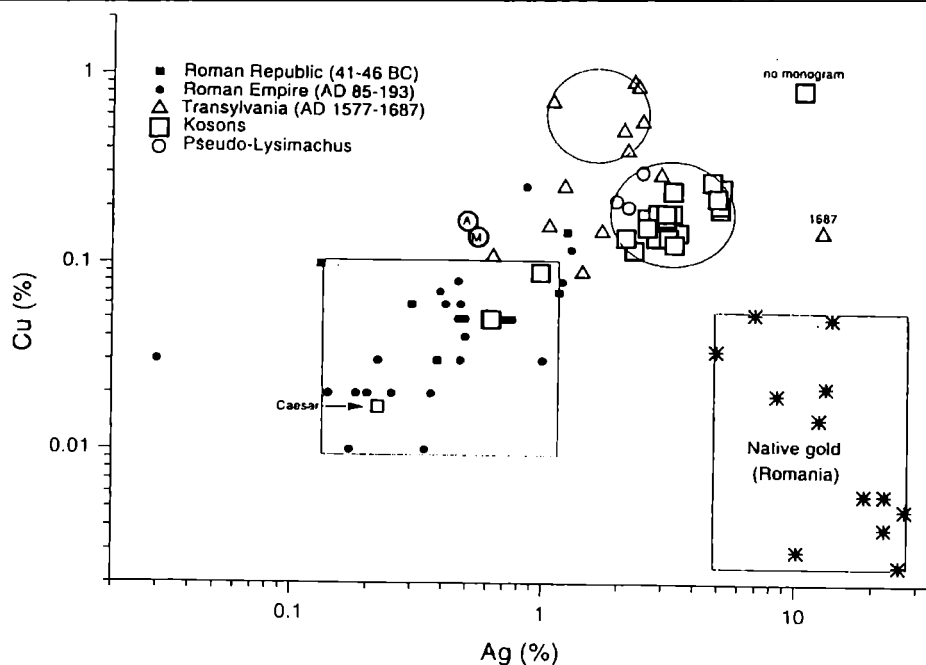


Figura 4. Grafic al concentrațiilor de Cu și Ag ale monedelor de aur analizate în această lucrare.

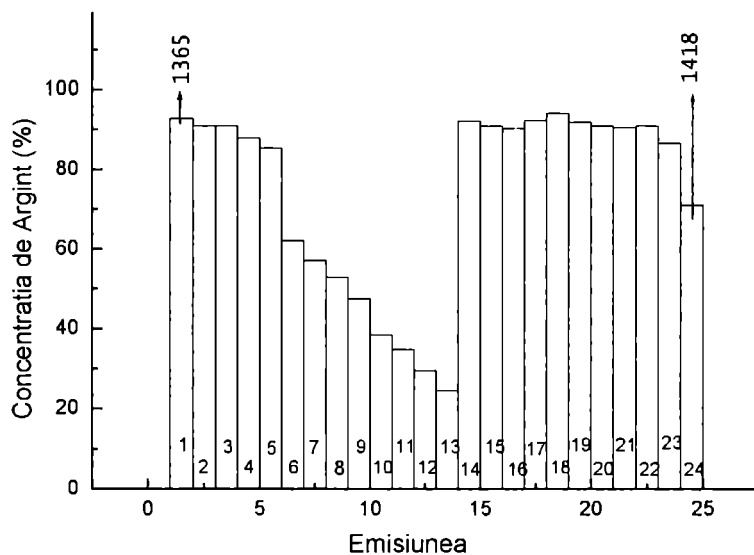


Figura 5. Concentrația de argint a primelor emisiuni monetare emise în Țara Românească între 1365 și 1418: 1) Vladislav I, legendă slavă, 2) Vladislav I, legendă latină, 3) Radu I și Vladislav I, 4) Radu I, 5) Radu I, cavalier, 6) Dan I, 7) Dan și Mircea. Următoarele au fost emise de către Mircea cel Bătrân: 8) sigla κ/κ , 9) sigla π/π , 10) sigla n/S , 11) sigla ω/p , 12) sigla $\phi/-$, 13) sigla $m/-$, 14) Mircea cu saccos fără lance, 15) cu saccos și lance oblică, 16) cu saccos, lance oblică și vârf rombic, 17) cu mantie cu falduri, lance oblică, vârf oval, 18) Idem, falduri pe brațul stâng, 19) cu spadă și mantie /Christos, 20) cu lance dreaptă, mantie și scut cu fascii stânga, 21) cu mantie, lance dreaptă, scut fasciat, steluță dreapta, 22) Idem, dar steluță stânga, 23) Idem, pe partea dreaptă a scutului litera τ , 24) lance dreaptă, fără mantie, 25) fără mantie, cu spadă/Christos.

Tabelul 1. Tabel cu rezultatele analizelor prin FRX realizate pe monedele de tip Inotești-Răcoasa.

| Numărul monedei | Inventar | Proveniență | Masa (g) | Diametru (mm) | Forma | Fe(%) | Cu(%) | Br(%) | Ag(%) | Sn(%) | Au(%) | Pb(%) | Bi(%) | Obs. |
|-----------------|--------------------------|--|----------|---------------|----------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 1 | IA ²⁷ 235/244 | Colecția "Saint Georges" | 6.00 | 25 | scyphată | 0.72 | 60.14 | - | 33.69 | 4.16 | 0.24 | 0.99 | 0.06 | |
| 2 | IA 235/252 | Colecția "Saint Georges" | 5.92 | 24.5 | scyphată | 0.85 | 47.52 | - | 44.69 | 4.56 | 0.38 | 1.72 | 0.27 | V urme |
| 3 | IA 235/253 | Colecția "Saint Georges" | 4.63 | 26.5 | plană | 0.27 | 76.10 | - | 15.54 | 5.75 | 0.24 | 1.67 | 0.04 | Zn urme |
| 4 | IA 235/254 | Colecția "Saint Georges", gasită în jud. Dorohoi | 5.83 | 29 | plană | 0.24 | 64.90 | - | 28.50 | 5.15 | 0.20 | 0.72 | 0.04 | V urme |
| 5 | IA 235/255 | Colecția "Saint Georges" | 5.91 | 24.6 | scyphată | 0.75 | 44.31 | - | 46.62 | 6.02 | 0.61 | 1.55 | 0.14 | V urme |
| 6 | IA 235/256 | Colecția "Saint Georges" | 6.06 | 25 | scyphată | 0.19 | 78.54 | - | 0.05 | 21.00 | - | 0.22 | - | |
| 7 | IA 1172/7 | Popești, 1961 | 5.69 | 23.5 | scyphată | 0.47 | 25.56 | - | 68.44 | 4.07 | 0.37 | 0.94 | 0.11 | V urme |
| 8 | IA 1172/8 | Popești, 1961 | 3.84 | 25 | scyphată | 0.43 | 45.96 | 150 ppm | 45.95 | 6.12 | 0.30 | 1.13 | 0.10 | V urme |
| 9 | IA 1172/9 | Popești, 1961 | 5.13 | 24.5 | scyphată | 0.68 | 21.65 | - | 69.43 | 6.10 | 0.53 | 1.49 | 0.12 | V urme |
| 10 | IA 1172/10 | Popești, 1961 | 3.23 | 25 | scyphată | 0.77 | 13.84 | 120 ppm | 73.81 | 8.97 | 0.55 | 1.91 | 0.14 | |
| 11 | IA 1261/5457 | Buzău | 6.37 | 23 | scyphată | 0.29 | 23.73 | - | 69.38 | 5.02 | 0.51 | 0.90 | 0.17 | |
| 12 | IA 1261/5460 | necunoscută | 6.04 | 24 | scyphată | 0.27 | 42.14 | - | 52.56 | 3.27 | 0.66 | 1.05 | 0.04 | Cr urme |
| 13 | IA 1261/5465 | necunoscută | 5.13 | 24 | scyphată | 0.40 | 57.52 | - | 35.29 | 5.20 | 0.27 | 0.83 | 0.06 | Hg (0.43%) |
| 14 | IA fragment | necunoscută | | 31 | plană | 0.47 | 32.03 | - | 58.68 | 6.26 | 0.44 | 2.00 | 0.11 | V urme |
| 15 | MAO ²⁸ | Radovanu (Călărași) | 6.42 | 24 | scyphată | 0.53 | 67.33 | - | 26.42 | 4.34 | 0.09 | 1.22 | 0.05 | As (330 ppm) |

²⁷ IA - Institutul de Arheologie, București²⁸ MAO - Muzeul de Arheologie, Oltenița

Tabelul 2. Tabel cu rezultatele analizelor prin AAP și FRX efectuate asupra monedelor de aur analizate în această lucrare.

| No | Rege | Proveniența * | Greutate (g) | Dimensiuni (mm) | Cu (%) | Ag (%) | Alte elemente |
|----|--------------|------------------|--------------|-----------------|----------|----------|-------------------|
| 1 | Koson | MNIR 2520 | 8.454 | 20.2x20.5 | 0.85(2) | 10.71(5) | Sn: 250 (100) ppm |
| 2 | Koson | MNIR 293335 | 8.46 | | 0.20(1) | 5.06(5) | |
| 3 | Koson | MNIR 293337 | 8.70 | | 0.14(1) | 2.82(3) | |
| 4 | Koson | MNIR 293342 | 8.586 | 17.6x18.2 | 0.12(1) | 2.31(1) | |
| 5 | Koson | MNIR 293358 | 8.593 | 18.2x18.8 | 0.15(1) | 3.46(2) | |
| 6 | Koson | MNIR 293408 | 8.53 | 17.5x18.0 | 0.14(1) | 3.16(3) | |
| 7 | Koson | MNIR 293417 | 8.31 | | 0.09(1) | 0.98(1) | |
| 8 | Koson | MNIR 293419 | 8.671 | 18.1x18.6 | 0.18(1) | 2.60(1) | |
| 9 | Koson | MNIR 293423 | 8.485 | 18.3x19.6 | 0.19(1) | 2.86(2) | Sn; 100 (70) ppm |
| 10 | Koson | MNIR 293433 | 8.50 | | 0.26(1) | 5.14(9) | |
| 11 | Koson | MNIR 293434 | 8.303 | 19.4x20.5 | 0.28(1) | 4.69(2) | Sn: 80(40) ppm |
| 12 | Koson | MNIR 293441 | 8.545 | 17.2x18.0 | 0.05(2) | 0.62(1) | Fe: 0.4(1) |
| 13 | Koson | MNIR 293486 | 8.17 | | 0.13(1) | 3.33(5) | |
| 14 | Koson | MNIR 293717 | 8.53 | 17.5x19.0 | 0.25(1) | 3.12(5) | |
| 15 | Koson | MNIR 293718 | 8.53 | 17.5x18.0 | 0.19(1) | 3.28(5) | |
| 16 | Koson | MNIR 293726 | 8.457 | 19.3x19.8 | 0.14(1) | 2.14(2) | Fe: 0.3(1) |
| 17 | Koson | Colecție privată | 8.541 | 18.0 | 0.16(1) | 2.60(2) | |
| 18 | Koson | Colecție privată | 8.462 | 19.7x20.1 | 0.20(1) | 5.04(2) | Sn: ≈ 200 ppm |
| 19 | Koson | Colecție privată | 8.513 | 17.3x17.6 | 0.18(2) | 3.11(2) | |
| 20 | Koson | Colecție privată | 8.302 | 19.8x20.3 | 0.23(1) | 4.92(3) | |
| 21 | Koson | MNIR 74971 | 8.552 | 20.8x21.0 | 0.19(2) | 3.09(2) | |
| 22 | Caesar | MNIR B.195 | | | 0.017(7) | 0.22(2) | |
| 23 | Celtic | MNIR O.78 | 7.451 | 17.0x18.0 | 0.09(1) | 1.30(9) | |
| 24 | Celtic | MNIR O.80 | 0.388 | 9.0 | 3.70(10) | 17.6(3) | Fe: 1.0(4) |
| 25 | Lysimach (I) | MNIR 2517 | 8.232 | 19.0x19.6 | 0.20(2) | 2.19(2) | |
| 26 | Lysimach (K) | MNIR 2515 | 8.252 | 19.0x19.6 | 0.31(2) | 2.49(2) | |
| 27 | Lysimach (T) | MNIR 2518 | 8.223 | 18.0x19.0 | 0.22(1) | 1.96(1) | |
| 28 | Athena | Colecție privată | 3.080 | | 0.17(2) | 0.50(3) | |
| 29 | Philip II | Colecție privată | 8.462 | 17.0x17.5 | 0.14(1) | 0.55(3) | Sn: 170 (50) ppm |

* MNIR=Muzeul Național de Istorie a României; O = colecția Orghidan

Tabelul 3. Tabel cu concentrațiile monedelor de tip Apollonia și Dyrrachium, determinate prin metodele FRX și PIXE.

| | Ag(%) | Cu(%) | Au(%) | Pb(%) | Br(%) | Sn(%) | Fe(%) | Elemente urma |
|----------------------|-------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|---------------|
| I | 96-98 | 0.5-2 | 0.2-0.8 | 0.2-0.7 | - | Urme | Urme | Bi |
| II | 78-92 | 4-20 | 0.2-0.8 | 2-4 | - | Urme | Urme | Bi |
| III | 95-97 | 0.5-1 | 0.7-1 | 0.5-1.0 | 0.1-0.2 | Urme | Urme | Bi |
| IV | - | 67-72 | - | 0.1-0.4 | - | 28-33 | 0.5-1.5 | Sb |
| V (o singură monedă) | - | 7 | - | 0.1 | - | 90 | 3 | Ni, Sb |

Towards a More Objective Approach in Numismatics Research Using Compositional Analyses Based on Nuclear Methods

The scientific analysis of archaeological objects ideally requires the availability of methods simultaneously non-destructive, fast, universal, sensitive and multielemental. For coins, chemical differences that occur during preparation of alloys affect the elemental composition and can be used for the identification of technologies and mints and also to distinguish between originals and counterfeits.

X-ray Fluorescence (XRF) method, most frequently used by us in numismatics studies, is a fast, cheap and reliable analytical tool. It does not require sampling or complicated sample preparation, the equipment is relatively simply to operate and presents the advantage to be easily transported or designed in a portable form, to allow in-situ measurements.

In this paper, we intend to explain what should be expected from XRF archaeometrical analyses and some applications using this technique will be given. The elemental composition provided by XRF can be used for the following purposes:

- Originality testing – e.g. it is known that modern silver obtained through electrolysis contains no gold traces; as a consequence, the counterfeits of ancient silver coins do not contain gold at trace level; Greek – Roman bronze (Cu – Sn) objects, which always contains lead in variable amounts, can be faked by using modern brass alloy (Cu - Zn);

- Provenance - minor and trace elements determined through elemental analysis can be used for ore and/or workshop identification;

- Conservation - protective measures can be decided on compositional basis; e.g. anticorrosion treatments for less noble metal objects;

- Restoration - it is better to have the elemental composition of a deteriorated object, in order the use similar or compatible materials to accomplish a good restoration;

- Historical studies - based on the elemental composition determined through XRF, conclusions regarding manufacturing technologies, commercial, military and political relationships between ancient populations and/or trade routes can be revealed; e.g. selection of the high-purity silver coins from adulterated silver plated (using edge measurements) and/or silvered items belonging to similar official emissions is possible.

In special cases we also used PIXE (Proton Induced X-ray Emission) or activation techniques, such as PAA (Proton Activation Analysis) and/or NAA (Neutron Activation Analysis). These methods are more sensitive than XRF, but the cost of analysis is much higher, a particle accelerator – for protons - and/or a nuclear reactor – for neutrons - being necessary to perform these measurements. However, PIXE, PAA and NAA are invaluable tools when the question of trace elements is of crucial importance in archaeometrical research (e.g. provenance studies).

Some illustrative examples of nuclear methods application for numismatics studies are given.

The Geto-Dacian coins of Inotești-Râcoasa type belong to the large imitation class of the Philip II Macedonian coins. It was made the hypothesis that they have been issued by a tribal unions living in the half East of Walachia and in the South of Moldavia. In a recent numismatic essay of Gramatopol it was stated without no compositional analysis that “so called Inotești-Râcoasa type is ending by being only coins of bronze so gentle silvered, that silver disappeared completely”. It was interesting to verify these hypotheses about the Inotești-Râcoasa

coins, i.e. to see if they are made of copper/bronze. In order to analyze these coins XRF, PAA (Proton Activation Analysis) and GT (Gamma Transmission) analytical methods were used. The results turned out that all the analyzed coins, but one, exhibited silver in different proportions – varying from 15% to 70%. The conclusion of this study was the Inotești-Râcoasa coins were not made of copper or bronze as it was supposed based only on visual examination, but all of them were made from a silver alloy more or less debased (billon). The dispersion of the silver concentrations values led to the conclusion that a gradual debasement took place. These above facts support the hypothesis that Geto-Dacians never coined copper/bronze coins, but only coins made of a silver alloy, more or less debased.

21 gold coins of Koson type, considered the only kind of gold coins issued by the Dacians, were analysed using XRF and PAA (Proton Activation Analysis) methods at Bucharest National Institute of Nuclear Physics and Engineering “Horia Hulubei” facilities. For XRF, three annular excitation sources – ^{238}Pu (30 mCi), ^{241}Am (50 mCi) and ^{241}Am (10 mCi, with nickel window for absorption of soft X-rays) and two X-ray detectors with Be window – a Si(Li) and an HPGe were used. For PAA, each coin was irradiated in vacuum for 5 hours at an incident proton energy of 11 MeV at a current of ca. 50 nA at the 8 MV FN High Voltage Bucharest TANDEM and measured using a properly protected Ge(Li) gamma spectrometer. Three groups of coins of different composition were found, corresponding to the shape of the monogram: simple, complex or no monogram at all. The gold of the Koson coins is not a natural one (electrum) from present Romania’s territory, but is similar to the gold of pseudo-Lysimachus type staters. Some possible historical conclusions are discussed.

We also analyzed approx. 300 Greek silver drachms, emitted by Apollonia and Dyrrachium cities during the first Roman Civil War between Julius Caesar and Pompeius. Five main categories were found: - original coins (similar to drachms emitted before the Civil War) with 97-99% silver, low (1-2%) copper content, -debased coins with silver content down to 70% and copper content from 5 to 25%, probably emitted due to inflation problem, a normal phenomenon for an economy during wars, - official (original dies) counterfeits from bronze (70% copper and 30% tin) covered by a very thin layer of argentarium (tin-lead alloy imitating the silver), -official counterfeits from tin (actual Yugoslavia territory is very rich in tin mines), - plated coins consisting in a bronze core covered by 0.2-0.5 mm silver plates, using argentarium or lead as intermediate layer between bronze and silver. For ‘quality control’, many coins present attempts made on their edge to verify the real silver content in the bulk using a knife. Some historical and economical considerations about the adulterations during silver coining process are presented.

Another studied case was the one of *brakteaten pfennige* (one side thin foil coins), minted by the medieval German princes and bishops (10th-12th centuries). The National Museum of Romania’s History has some hundreds of such coins in its collections, and a quick sorting of them was necessary. A way of solving this problem was to use in-situ ED-XRF measurements. Very few coins were high fineness silver coins, for which the following composition: Ag=96%, Au=0.75%, Pb=0.65%, Cu=2.05% was determined. However, most of the coins were silvered coins, with either copper or bronze or leaded bronze (Pb=65%, Cu=22%, Sn=12%, Sb=0.4%) core, being covered with a very thin silver layer. This thin silver layer contains a lot of mercury, which remained from the silvering (plating) procedure using Ag-Hg amalgam. A possible explanation for these numerous silvered coins can be the fact that the old German silver mines were probably exhausted during 11th century, only in the 14th century being discovered new mines in Saxony (e.g. Freiberg and Schneeberg). However, during this period (10th-12th centuries) the construction of the great cathedrals had started, and there was a high need for money; therefore, a strong debasement of these silver coins took place. A similar amalgamation silvering procedure was revealed for some Moldavian Ștefanița “silver” coins dating from the first half of the 16th century.