

## TEHNICI DE REALIZARE A DOUĂ FIBULE DIN PRIMA EPOCĂ A FIERULUI DESCOPERITE ÎN OLTENIA

ANCA-DIANA POPESCU\*, VLAD-ȘTEFAN CĂRĂBIȘI\*, ROBERT SÎRBU\*\*,  
MARTA PETRUNEAC\*\*, DANIELA CRISTEA-STAN\*\*, MARIN FOCȘĂNEANU\*\*,  
STELIAN MIHĂLCEANU\*\*, FLORIN CONSTANTIN\*\*

**Rezumat:** În colecția Institutului de Arheologie „Vasile Pârvan” se află două fibule fragmentare, descoperite în cursul secolului al XIX-lea în Oltenia. Din cele două fibule s-a păstrat doar arcu, alcătuit din miez de fier și înveliș de bronz. Prima piesă face parte din categoria fibulelor cu nodozități pe arc, iar cea de-a doua are arcu modelat sub forma unor coaste. Ambele piese au fost publicate de Tiberiu Bader în volumul dedicat fibulelor din epoca bronzului și prima epocă a fierului de pe teritoriul României și pot fi datate în secolele VIII–VII a.Chr.

În cadrul prezentului articol, cele două fibule au fost examinate sub aspectul compoziției elementale, prin metoda fluorescenței de raze X. De asemenea, structura lor a fost investigată cu ajutorul tehnicilor imagistice, obținându-se, astfel, informații relevante privind procedeele prin care acestea au fost realizate.

**Cuvinte-cheie:** fibule bimetalice, prima epocă a fierului, Oltenia, analize compoziționale prin fluorescență de raze X, tomografie computerizată, tehnici de realizare

Două fibule bimetalice provenind din regiunea Oltenia, fără a avea informații despre locul lor exact de descoperire, au fost examinate în cadrul acestui studiu. Fibulele fac parte din colecția Dimitrie Papazoglu, colecție anticarică intrată, în secolul al XIX-lea, în patrimoniul Muzeului Național de Antichități (în prezent Institutul de Arheologie „Vasile Pârvan” al Academiei Române). Cele două piese au fost incluse în volumul lui Tiberiu Bader, dedicat fibulelor din epoca bronzului și prima epocă a fierului de pe teritoriul României, apărut în seria *Prähistorische Bronzefunde*<sup>1</sup>. Fibulele aparțin unor tipuri diferite, însă ambele au fost realizate din două metale, fier și bronz, foarte probabil prin metoda „cerii pierdute”.

---

\* Institutul de Arheologie „Vasile Pârvan”; e-mails: ancadiana\_popescu@yahoo.com; vlad.st.carabisi@gmail.com.

\*\* Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei” (IFIN-HH), Departamentul de Fizică Nucleară Aplicată; e-mails: sirbu.robert@ymail.com; marta.petruneac@gmail.com; daniela@nipne.ro; focsaneanumarin@gmail.com; fconst@ifin.nipne.ro; stelian.mihalceanu@nipne.ro.

<sup>1</sup> Bader 1983, p. 83, 91, pl. 28/213, 31/243.

Prima fibulă din Oltenia (nr. inv. 08153) este alcătuită dintr-o tijă de fier peste care a fost turnat bronz, această parte formând arcul fibulei (fig. 1). În vechime, tija de fier continua în afara arcului, din ea fiind făcute câte un resort la fiecare capăt al arcului, portagrafa și acul. Însă aceste elemente din fier ale fibulei nu s-au păstrat. Pe arc se află trei nodozități mari, de formă sferică și câte un disc la fiecare extremitate a arcului. Un strat de coroziune de culoare verde învelește arcul fibulei. La cele două capete, în mijlocul fiecărui disc, este vizibilă tija de fier, de culoare brună. Dimensiuni și greutate: lungimea arcului fibulei este de 6,9 cm; nodul median are diametrul  $2 \times 1,8$  cm; celelalte două noduri au diametrele de  $1,9 \times 1,8$  cm, respectiv  $1,9 \times 1,7$  cm; cele două discuri de la capete au diametrele egale,  $1,5 \times 1,4$  cm; grosimea arcului între noduri este ușor variabilă, mergând de la 0,7 la 0,8 cm; distanța între cele trei noduri este egală, fiind de 1 cm pe latura convexă și de 0,7 cm pe cea concavă; greutatea fragmentului de piesă este de 66,77 g.

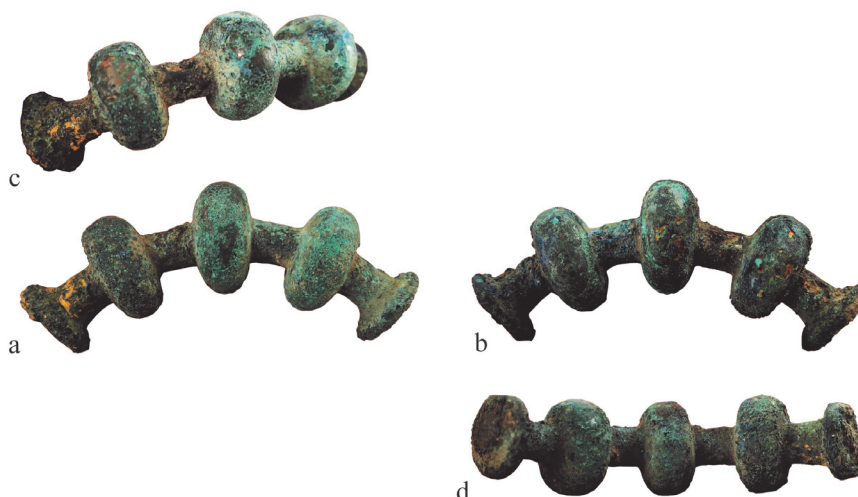


Fig. 1. „Oltenia – 08153”, fibula cu nodozități pe arc.

T. Bader a grupat fibulele de acest fel (cu două resorturi, portagrafa în formă de clepsidră și nodozități pe arc) într-o singură categorie, fără să facă diferențieri în funcție de numărul de noduri<sup>2</sup>. Conform clasificării lui Stane Gabrovec, piesa ar putea fi încadrată în tipul 5b, alcătuit din fibulele cu 3–4 nodozități<sup>3</sup>. Diana Gergova grupează fibulele cu două resorturi și 3–4 nodozități pe arc în tipul BII 1, varianta  $\gamma$ <sup>4</sup>. Piesele au fost datate, în principal, în secolul al VIII-lea a.Chr. Tipul este răspândit,

<sup>2</sup> Bader 1983, p. 91–92, pl. 31/241–250.

<sup>3</sup> Gabrovec 1970, p. 27, 29, harta VIII.

<sup>4</sup> Gergova 1987, p. 45–46.

cu precădere, în Serbia, regiunea Kosovo, România și nord-vestul Bulgariei<sup>5</sup>. De pe teritoriul României provin încă șase exemplare cu trei sau patru nodozități, similare fibulei din Oltenia: fibula cu trei nodozități descoperită la Turdaș<sup>6</sup>, fibulele cu patru nodozități de la Bâlvănești (un exemplar)<sup>7</sup>, Alba Iulia – *Partoș*<sup>8</sup> (două exemplare), Tărtăria (un exemplar)<sup>9</sup> și Iaz – *La Dâmb* (un exemplar)<sup>10</sup>. O fibulă cu cinci nodozități pe arc a fost descoperită în depozitul Vințu de Jos III<sup>11</sup>. În privința contextului arheologic al fibulelor de acest tip identificate pe teritoriul României, menționăm că piesele erau, în majoritatea situațiilor, parte a unor depozite, excepții fiind fibula de la Turdaș, descoperită izolat și cea de la Iaz – *La Dâmb*, foarte probabil depusă într-un tumul, ca element al inventarului funerar.

Nu avem informații despre rezultatele unor eventuale analize fizico-chimice efectuate asupra fibulelor hallstattiene cu nodozități din România. De altfel, nici fibulele similare descoperite în afara României nu s-au bucurat de atenție din acest punct de vedere. Studiile care le-au avut drept subiect s-au concentrat îndeosebi asupra contextelor arheologice, tipologiei și datării lor. Ne este cunoscut doar un singur studiu în care patru fibule cu cinci, opt, respectiv 10 nodozități descoperite în Slovenia au fost radiografiate pentru a li se putea vedea structura interioară<sup>12</sup>. Rezultatele s-au dovedit a fi interesante. În cazul a două dintre fibule, arcul cu nodozități pline din bronz conținea, pe toată lungimea sa, un miez de fier. O altă fibulă avea arcul cu nodozități din bronz, însă nu exista un miez continuu din fier, ci la fiecare capăt al arcului se afla câte o tijă de fier înfiptă în carcasa de bronz a arcului până în dreptul primei nodozități. Arcul celei de-a patra fibule era constituit dintr-o tijă continuă de fier învelită într-o carcasă de bronz. Pe arc se aflau opt nodozități, al căror mijloc, afirmă autoarea, ar fi fost gol.

Pentru determinarea compoziției elementale a fibulei „Oltenia – 08153” au fost folosite spectrometrul portabil Tracer 5<sup>i</sup> și spectrometrul staționar SPECTRO MIDEX, al căror principiu de funcționare se bazează pe metoda fluorescenței de raze X. Spectrometrul portabil Tracer 5<sup>i</sup>, produs de *Bruker Instruments*, utilizează ca sursă de excitație un tub de raze X cu anod de rodiu, tensiunea maximă fiind de 40 kV. Mărimea

<sup>5</sup> Informații privind variantele acestui tip de fibulă, contextele în care apar, datarea și răspândirea lor la Gabrovec 1970, p. 27, 29, harta VIII; Bader 1983, p. 91–92; Gergova 1987, p. 45–46; Gumă 1993, p. 227–228; Vasić 1999, p. 60–62.

<sup>6</sup> Stelzner, Gauß, Schuetz 2016 și Teržan 2009.

<sup>7</sup> Bader 1983, p. 91, nr. 241, pl. 31/241.

<sup>8</sup> Bader 1983, p. 91, nr. 247–248, pl. 31/247–248. Este posibil ca depozitul din care fac parte cele două fibule să fi fost descoperit, în realitate, la Blandiana. Vezi Popa, Berciu 1964, p. 96, nota 34; Petrescu-Dîmbovița 1977, p. 161–162.

<sup>9</sup> Cele două depozite de la Tărtăria (I și II) au fost doar parțial publicate, astfel încât nu avem informații despre numărul exact al fibulelor cu nodozități pe arc. Deocamdată, a fost ilustrată doar o singură fibulă de acest tip, aparținând depozitului Tărtăria II (Borș 2015, p. 55–56, 63 cu fig. 14).

<sup>10</sup> Popescu 1988.

<sup>11</sup> Aldea, Ciugudean 1987, p. 80, 85–86, pl. III/10; Aldea, Ciugudean 1995, p. 214–216, 222 cu fig. 2/13.

<sup>12</sup> Škvor Jernejčič 2017, p. 131–133, 173–175.

fascicolului este de 40 mm<sup>2</sup>. Adâncimea analizată este de cca 50 micrometri, în funcție de compoziția probei. Este configurat cu cameră CCD pentru vizualizarea probei analizate. SPECTRO MIDEX are anodul tubului de raze X din molibden, iar detectorul este o cameră cu drift de siliciu, răcită Peltier, fereastra detectorului fiind de beriliu. Mărimea standard a zonei analizate este de 0,7 mm în diametru, putând fi modificată, în funcție de cerințe, la 0,2 mm, 0,6 mm, 1 mm sau 2 mm cu ajutorul unui program de calcul încorporat. În cazul de față, mărimea zonei analizate a fost fixată la 1 mm.

Analizele au fost făcute atât pe coroziunea de culoare verde care acoperea piesa, cât și pe suprafața curățată a metalului, imediat sub coroziune. Analizele efectuate pe stratul de coroziune ne dau informații generale despre aliajele folosite<sup>13</sup>. În stratul de coroziune, elementele chimice suferă anumite transformări, iar valorile pe care acestea le ating în stratul de coroziune sau chiar la suprafața metalului curățat sunt diferite de cantitățile detectate în miezul metalului. De exemplu, în coroziune pot fi detectate cantități crescute de staniu, plumb, arsen, nichel, stibiu și argint<sup>14</sup>. Creșterea conținutului de staniu în stratul de coroziune este în directă relație cu scăderea cantității de cupru, cauzată de solubilitatea ridicată a ionilor de cupru în sol<sup>15</sup>. În plus, nu toate elementele identificate în stratul de coroziune se regăsesc și în compoziția metalului. De exemplu, măsurătorile au indicat elemente chimice precum magneziu, aluminiu, siliciu, fosfor, sulf, care provin din mediul în care au stat îngropate obiectele<sup>16</sup>. Fierul și zincul sunt elemente care pot fi întâlnite în compoziția minereului, dar și în sol, astfel încât apariția lor în stratul de coroziune poate fi o consecință a contaminării<sup>17</sup>. Însă, în cazul de față, cantitatea mare de fier detectată pe capătul fibulei este determinată de prezența tije de fier din interiorul arcului. Inclusiv măsurătorile efectuate pe suprafața curățată de coroziune a metalului pot da valori mai ridicate ale elementelor majore și minore comparativ cu cantitățile care există în miezul metalului<sup>18</sup>. Din aceste motive, rezultatele analizelor de suprafață trebuie interpretate ținând seama de toți factorii care pot induce estimări greșite<sup>19</sup>.

În cazul fibulei „Oltenia – 08153”, a fost folosit bronz pentru învelirea tije de fier a arcului (tabele 1–2). Măsurătorile efectuate cu spectrometrul portabil pe suprafața curățată de coroziune au oferit valori mai crescute ale elementelor chimice identificate, prin comparație cu cele indicate de spectrometrul staționar. Însă, în cazul celui dintâi, fascicolul de raze X a „atins”, foarte probabil, și o parte din coroziune, pe când zona analizată de spectrometrul staționar este mult mai mică (1 mm), fascicolul de raze X putând fi „ațintit” cu mai multă precizie pe suprafața curățată a metalului.

Pe nodozități, sub patină, a fost observată prezența unui strat subțire de culoare roșcată, distribuit destul de uniform, care acoperea metalul de culoare aurie. Este

<sup>13</sup> Lutz, Pernicka 1996, p. 316, 322.

<sup>14</sup> Figueiredo *et alii* 2007; Orfanou, Rehren 2015.

<sup>15</sup> Robbiola, Blengino, Fiaud 1998; Mödlinger, Piccardo 2013, p. 1073, 1078; Orfanou, Rehren 2015, p. 391–392.

<sup>16</sup> Robbiola, Blengino, Fiaud 1998, p. 2091; Mödlinger, Piccardo 2013, p. 1078–1079.

<sup>17</sup> Orfanou, Rehren 2015, p. 393.

<sup>18</sup> Figueiredo *et alii* 2007; Orfanou, Rehren 2015.

<sup>19</sup> Lutz, Pernicka 1996; Orfanou, Rehren 2015; Roxburgh *et alii* 2019.



posibil ca acest strat roșcat să fie oxid de cupru. Însă, deși există deosebire de culoare, analizele prin metoda fluorescenței de raze X efectuate pe stratul roșcat și pe zonele aurii nu au indicat diferențe semnificative în compoziție (tabele 1–2). Cantitățile de cupru și staniu detectate sunt similare. S-a observat doar că stratul roșcat conține cantități ceva mai scăzute de argint și nichel.

În stratul de coroziune a fost detectat un conținut însemnat de plumb, însă, în porțiunile în care coroziunea a fost îndepărtată pentru a se face analize direct pe metalul auriu, valorile plumbului sunt mai mici<sup>20</sup>. Oricum, conținutul de plumb este ridicat și variază, foarte probabil, din cauza faptului că plumbul nu se amestecă uniform cu celelalte elemente din aliaj, ci formează granule<sup>21</sup>. Prezența unei cantități însemnate de plumb (> 4%) ar constitui un indiciu că plumbul a fost adăugat intenționat în bronz<sup>22</sup>, probabil cu intenția de a scădea punctul de topire și de a crește fluiditatea aliajului spre a fi mai ușor de turnat în forme<sup>23</sup>.

Zona analizată	Compoziție elementală (wt%)								
	Cu	Sn	As	Pb	Sb	Ag	Ni	Fe	Alte elemente
Glob 1 (median), zonă laterală cu coroziune verde și pete ruginii	53,47	22,46	n.d.	16,59	0,47	0,20	0,24	2,84	2,09% Si 1,02% P 0,90% Zn
Glob 1 (median), strat roșcat	75,30	11,91	0,18	9,35	0,36	n.d.	0,21	1,20	0,52% Si 0,80% P 0,11% Zn
Glob 1 (median), zonă aurie	75,33	12,26	0,22	7,33	0,61	n.d.	0,29	1,73	0,68% Mg 0,91% Al 0,28% P
Glob 1 (median), zonă laterală opusă, coroziune verde	75,54	13,28	0,20	6,47	0,65	0,13?	0,31	0,84	1,70% Si 0,38% P 0,09% S
Glob 2, zonă laterală, pe coroziune verde	67,36	15,14	0,35	9,22	0,55	0,10	n.d.	2,06	0,42% Mg 1,00% Al 3,17% Si 0,49% P 0,07% Zn
Glob 2, zonă laterală roșcată	69,56	16,64	n.d.	10,27	0,67	0,10?	0,25	1,21	0,40% Si 0,40% P 0,08% Zn?

<sup>20</sup> Pentru informații suplimentare privind diferențele existente între cantitatea de plumb din coroziune și cea detectată pe suprafața curățată a metalului sau dincolo de ea, vezi, de exemplu, studiile făcute de Figueiredo *et alii* 2007 și Orfanou, Rehren 2015, p. 392–393.

<sup>21</sup> Orfanou, Rehren 2015, p. 392.

<sup>22</sup> Există mai multe puncte de vedere privind cantitatea minimă de plumb de la care se poate vorbi de un adaos intenționat. În opinia celor mai mulți cercetători, nivelul de plumb ar trebui să fie mai mare de 4–5%. Vezi, de exemplu, Pernicka *et alii* 1990, p. 272; Mangou, Ioannou 1997, p. 69; Figueiredo *et alii* 2007, p. 64; Pernicka 2014, p. 256; Orfanou, Rehren 2015, p. 390.

<sup>23</sup> Tylecote 1986, p. 30.

Glob 2, zonă laterală aurie și coroziune verde	78,92	11,82	0,21	6,91	0,51	n.d.	n.d.	0,75	0,58% Mg 0,16% P 0,09% Zn?
Glob 2, pe muchia convexă, zonă brună	73,85	14,52	0,29	7,65	0,76	0,18	0,24	1,26	0,37% Mg 0,51% Si 0,21% P 0,09% Zn?
Pe unul dintre discuri, coroziune verde și zonă ruginie	49,38	7,49	n.d.	1,16	0,43	n.d.	n.d.	37,79	0,69% Al 1,93% Si 0,32% P 0,25% S

Tabel 1. Rezultatele analizelor efectuate cu spectrometrul portabil Tracer 5<sup>i</sup> pe suprafața fibulei cu nodozități „Oltenia – 08153” (n.d. = nedeterminat).

Zona analizată	Compoziție elementală (wt%)								
	Cu	Sn	As	Pb	Sb	Ag	Ni	Fe	Co
Glob 1 (median), strat roșcat	84,98	9,67	n.d.	3,96	0,56	n.d.	0,04	0,40	n.d.
Glob 1 (median), zonă aurie	84,66	8,50	n.d.	5,12	0,45	0,13	0,29	0,68	0,04
Glob 2, strat roșcat	81,53	7,65	n.d.	9,72	0,43	n.d.	0,03	0,28	n.d.
Glob 2, zonă aurie	84,11	8,80	n.d.	5,24	0,47	0,13	0,29	0,69	n.d.

Tabel 2. Rezultatele analizelor efectuate cu spectrometrul staționar SPECTRO MIDEX pe zone fără coroziune ale fibulei cu nodozități „Oltenia – 08153” (n.d. = nedeterminat).

Vizualizarea interiorului fibulei este posibilă cu ajutorul tehnicilor imagistice. Practicarea unor secțiuni virtuale succesive longitudinale, orizontale și tangențiale prin arcul fibulei ne-a oferit date privind forma, lungimea, grosimea și numărul segmentelor care compun piesa, precum și poziția acestora față de pereții învelișului de bronz. S-a folosit sistemul de tomografie computerizată Nikon XT H 225. Dotat cu o sursă puternică de raze X de tip micro-focus (sistemul funcționează între 30 și 225 kV, curentul maxim este de 1 mA, mărimea punctului focal este de 225 μm la 225 W) și detector cu rezoluție spațială de 1900 × 1516 pixeli (cu dimensiunea pixelului de 127 μm), acest echipament asigură o viteză ridicată de achiziție a imaginilor, la o calitate superioară. Cu ajutorul unui software performant, VGStudio MAX 3.0, datele colectate de tomograf sunt ulterior analizate și procesate. În imaginile reconstituite, obiectele sunt redată cu tonuri diferite, în funcție de densitatea materialelor, de la alb strălucitor și gri deschis, până la gri foarte închis. Spre exemplu, bronzul este mai dens decât fierul, astfel că în imagini este reprezentat cu nuanțe de gri deschis, pe când fierul este redat cu o nuanță mai închisă. În funcție de materialul din care este făcut obiectul, dar și de grosimea acestuia, parametrii de lucru ai tomografului au fost ajustați astfel încât să putem surprinde cât mai multe detalii ale structurii pieselor.

În cazul fibulei „Oltenia – 08153”, cele mai clare imagini ale interiorului acesteia au fost obținute folosind curent de 130 μA, tensiunea de 215 kV și două filtre, unul de cupru, având 0,32 mm grosime, celălalt de aluminiu, cu 0,5 mm grosime,

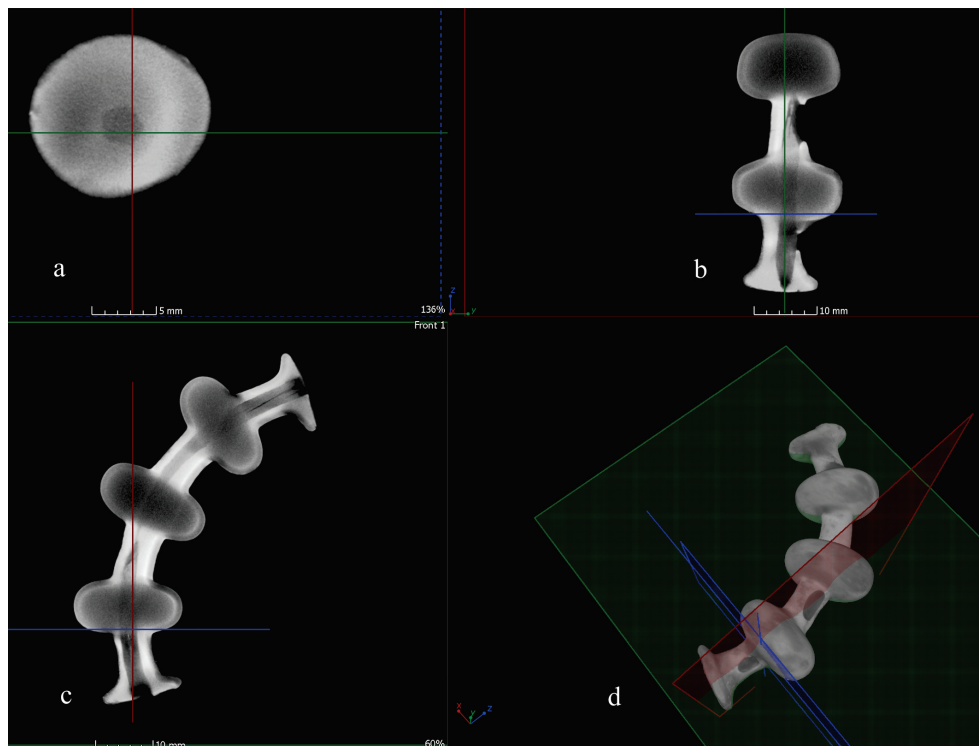


Fig. 2. „Oltenia – 08153”, fibula cu nodozități: a. secțiune transversală prin unul dintre noduri; b. secțiune tangențială prin arcul fibulei; c. secțiune longitudinală prin arcul fibulei; d. poziționarea planurilor pe corpul fibulei pentru realizarea secțiunilor virtuale.

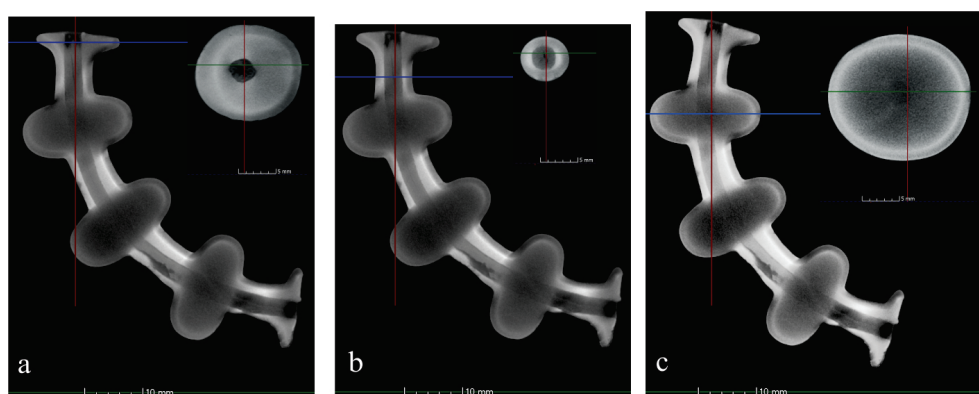


Fig. 3. „Oltenia – 08153”, fibula cu nodozități. Imagini reconstituite pe baza secționării virtuale longitudinale și transversale a arcului fibulei.

pentru a durifica spectrul energetic (fig. 2–3). Se poate observa că miezul arcului este format dintr-o tijă de fier, fisurată pe alocuri. La capete, tija de fier este rectangulară în secțiune, devenind apoi rotundă către mijloc. Peste tija de fier se află un înveliș din bronz, reprezentat în imagini, în special în zonele cu o grosime mai mică ale arcului, cu tonuri de gri deschis și alb strălucitor. Tija de fier este mai apropiată de latura convexă a învelișului de bronz, iar pe aproximativ jumătate din lungimea arcului este mai apropiată și de una dintre laterale (fig. 2b–c). De altfel, în două mici porțiuni situate de-o parte și cealaltă a unuia dintre nodurile de la extremități, învelișul de bronz este deteriorat, iar tija ar fi fost vizibilă dacă nu era acoperită de produși de coroziune (fig. 2d). În imaginile reconstituite, cele trei noduri de pe arc au o înfățișare mai aparte. La exterior este vizibil un înveliș cu o grosime uniformă, de cca 1,5 mm grosime, care corespunde stratului de coroziune de culoare verde și stratului roșcat aflat imediat sub acesta. Materialul de culoare aurie aflat sub stratul roșcat pare să fie mai puțin dens, fiind reprezentat în imagini cu o nuanță de gri închis. Potrivit examenului microscopic și analizelor elementale, metalul auriu aflat sub stratul roșcat este tot bronz și, prin urmare, ar trebui să aibă o densitate similară cu cea a restului carcasi de bronz care înglobează tija de fier. Foarte probabil, din cauza grosimii nodurilor, mare parte din radiație este atenuată și nu reușește să pătrundă până în zona lor centrală<sup>24</sup>. Aceasta ar fi, credem noi, posibila explicație pentru nuanțele de gri închis care caracterizează interiorul nodozităților în imaginile reconstituite, tija de fier devenind, astfel, foarte greu de vizualizat.

Dacă ar fi să comparăm cu rezultatele obținute de Brina Škvor Jernejčič, ca urmare a examinării fibulelor hallstattiene cu nodozități din Slovenia, fibula „Oltenia – 08153” ar avea o structură similară (noduri pline și o tijă de fier continuă) cu cea a fibulei cu cinci nodozități descoperită în mormântul 230 de la Ljubljana<sup>25</sup>.

Cea de-a doua fibulă din Oltenia (nr. inv. 08154) păstrează doar arcul, alcătuit, la o primă vedere, dintr-o tijă de fier peste care s-a turnat cupru sau bronz. Ca și în cazul fibulei precedente, tija de fier continua în afara arcului în vechime, din ea fiind făcute resorturile, portagrafa și acul. Și tot ca în cazul fibulei anterioare, aceste elemente din fier ale fibulei nu se mai păstrează. Prin raportare la alte exemplare întregi din bronz sau fier, aparținând aceluiași tip, se poate presupune că portagrafa a avut formă de clepsidră. În privința aspectului învelișului de cupru sau bronz, se poate observa că acesta a fost modelat sub forma unor coaste, destul de bine reliefate. Coastele sunt mai late pe muchia convexă și subțiate pe cea concavă. Dimensiuni și greutate: lungimea este de 7,2 cm; diametrul coastelor de pe arc variază între 1 × 0,9 cm și 1,1 × 1 cm; greutatea este de 45,39 g. Potrivit clasificării lui Bader, piesa aparține variantei D a categoriei de fibule cu două resorturi și portagrafă în formă de clepsidră<sup>26</sup>. Fibula din Oltenia este similară cu fibulele încadrate de Gabrovec în tipul 5c<sup>27</sup> sau cu cele grupate

<sup>24</sup> Vezi discuțiile legate de cupping effect artifact la Barret, Keat 2004, p. 1680; Stelzner, Gauß, Schuetz 2016, p. 88–89, fig. 13.

<sup>25</sup> Škvor Jernejčič 2017, p. 131–133, 173–174, fig. 9/1a–b.

<sup>26</sup> Bader 1983, p. 81–84.

<sup>27</sup> Gabrovec 1970, p. 29, harta VIII.

de Gergova în tipul B III, varianta  $\epsilon^{28}$ . Astfel de fibule ocupă un spațiu larg, fiind întâlnite, în principal, în morminte din sud-vestul României, nord-vestul Bulgariei, Serbia, datate în a doua jumătate a secolului al VIII-lea și prima jumătate a secolului al VII-lea a.Chr.<sup>29</sup>. Cea mai mare concentrare a lor se află de-a lungul Dunării, în zona Porților de Fier.

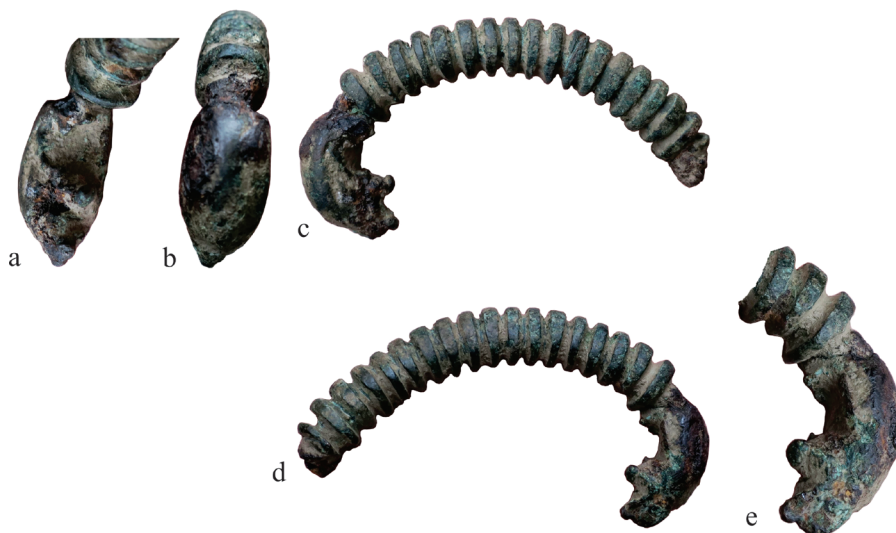


Fig. 4. „Oltenia – 08154”, fibula cu arcul modelat sub formă de coaste.

Fibula „Oltenia – 08154” este acoperită cu o patină de culoare verde. La unul dintre capetele arcului pare că a fost adăugată o bucată de metal de formă ovoidală, având lungimea de 2,4 cm, grosimea de 0,9 cm și lățimea maximă de 1,2 cm. Această presupunere inițială a noastră a fost confirmată de rezultatele analizelor prin metoda fluorescenței de raze X<sup>30</sup>. Măsurătorile au fost făcute doar pe stratul de coroziune de pe arc și de pe bucata de metal ovoidală (cea din urmă acoperită cu coroziune verde și brună). S-a putut constata că învelișul cu coaste proeminente al arcului a fost realizat din bronz (cele două măsurători efectuate au indicat 17,17%, respectiv 19,56% Sn), care conținea și o cantitate însemnată de plumb (4,37%, respectiv 4,23% Pb) (tabel 3). Cu certitudine, cantitățile de staniu și plumb sunt mai scăzute în interiorul metalului, comparativ cu valorile detectate în coroziune. Nu putem spune, pe baza acestor date, dacă plumbul a fost adăugat intenționat în aliaj sau a fost folosit minereu de cupru bogat în plumb.

<sup>28</sup> Gergova 1987, p. 46.

<sup>29</sup> Gabrovec 1970, p. 29, harta VIII; Bader 1983, p. 81–84; Gumă 1993, p. 228; Ciocea Safta 1996, p. 188; Popović, Vukmanović 1998, p. 31–32; Vasić 1999, p. 57–59; Bâsceanu 2015–2016; Bâsceanu 2018.

<sup>30</sup> A fost folosit spectrometrul Bruker Tracer 5<sup>i</sup>, cu care a fost analizată și fibula cu nodozități.

Zona analizată	Compoziție (wt%)										
	Cu	Sn	As	Pb	Sb	Ag	Ni	Fe	Co	Zn	Alte elemente
Coaste, patină verde	67,08	17,17	0,35	4,37	0,88	0,40	0,21	1,23	n.d.	0,12	0,69% Mg 1,70% Al 4,82% Si 0,90% P
Coaste, patină verde	60,39	19,56	0,39	4,23	0,84	0,47	0,26	2,34	n.d.	n.d.	2,56% Al 7,31% Si 0,58% P 0,22% Ti
Bucată ovoidală, patină verde	67,24	1,08	0,82	0,91	1,16	0,30	n.d.	6,53	n.d.	0,14	4,61% Al 16,34% Si 0,26% P 0,47% Ti
Bucată ovoidală, patină verde	65,79	2,08	n.d.	0,57	1,00	0,28	0,15	17,51	n.d.	0,12	3,11% Mg 4,99% Al 2,96% Si 0,92% P 0,31% S
Bucată ovoidală, patină maronie	58,47	1,13	0,67	0,89	0,83	0,32	n.d.	31,99	0,17?	0,08?	0,39% Mg 1,12% Al 3,20% Si 0,43% P 0,15% S 0,06% Bi?

Tabel 3. Rezultatele analizelor efectuate cu spectrometrul portabil pe suprafața fibulei cu coaste „Oltenia – 08154” (n.d. = nedeterminat).

Analizele elementale efectuate pe producții de coroziune de pe bucata de metal ovoidală au indicat o compoziție diferită de cea a învelișului cu coaste, aceasta fiind realizată din bronz sărac în staniu, în care plumbul apare doar ca element minor (tabel 3). Identificarea unui conținut ridicat de fier (31,99% Fe) pe una dintre părțile laterale ale acestei bucăți de metal ovoidale se poate explica prin apropierea tijei de fier interioare de suprafața măsurată. Prin urmare, este evident că, în cazul acestei fibule, ne aflăm în fața a două compoziții diferite: bronz cu un conținut mai ridicat de staniu pentru arc și bronz sărac în staniu pentru reparație.

Ca și în cazul fibulei precedente, parametrii de lucru ai tomografului au fost setați astfel încât să se obțină o imagine clară a structurii interne: curent de 130  $\mu$ A, tensiunea de 215 kV și două filtre, unul de cupru, cu o grosime de 0,3 mm, celălalt de aluminiu, gros de 0,5 mm. Astfel, se poate observa că arcul fibulei este făcut dintr-un bronz cu porozitate ridicată (fig. 5). Interiorul învelișului de bronz este străbătut de o tijă de fier, aflată la distanță egală față de muchiile convexe și concavă, dar ușor mai apropiată de una dintre laterale în zona de maximă arcuire. Capetele tijei sunt groase și aproximativ rectangulare în secțiune, în timp ce mijlocul acesteia este mai subțire și circular. Tija este fisurată longitudinal în porțiunile mai groase. În zona de maximă curbura a arcului pot fi observate câteva goluri.



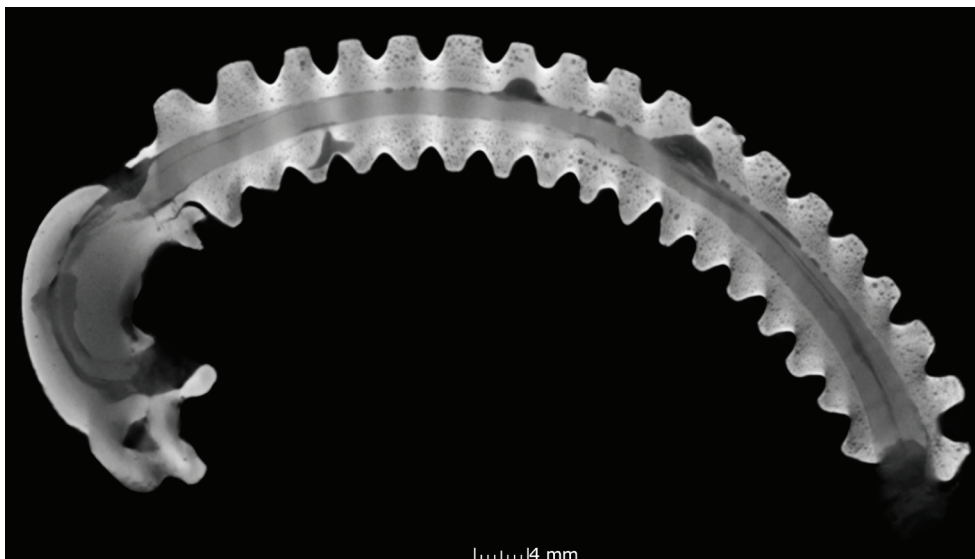


Fig. 5. „Oltenia – 08154”, fibula cu arcul modelat sub formă de coaste. Secțiune virtuală longitudinală prin arc.

La unul dintre capetele arcului, acolo unde tija de fier ieșită din arc ar fi trebuit să se răsucească și să formeze resortul, se observă că aceasta iese din interiorul arcului, însă pătrunde în bucata de metal ovoidală. Potrivit analizelor elementale și tomografice, este evident că această bucată de metal, cu o compoziție distinctă de cea a arcului fibulei, dar și cu o porozitate mai scăzută comparativ cu cea a învelișului de bronz al arcului, a fost adăugată într-un moment ulterior confecționării fibulei. Una dintre secțiunile longitudinale virtuale arată că o parte din arcul de bronz este suprapus în zona concavă de o parte a acestei bucăți ovoidale (fig. 4e; 5). Am interpretat prezența acestei bucăți de metal de formă ovoidală drept dovadă a reparării fibulei. Aceeași interpretare a fost dată și în cazul fibulei de la Dubravica, din estul Serbiei, de către Rastko Vasić<sup>31</sup>. În prezent se păstrează un număr mic de fibule de acest tip cu resturi de reparații: două găsite în Serbia (Dubravica și Novi Banovc)<sup>32</sup>, un exemplar în nord-vestul Bulgariei, regiunea Vraca (Caravec)<sup>33</sup> și o altă piesă în sud-estul României (la Căscioarele)<sup>34</sup>.

Revenind la piesa „Oltenia – 08154”, este foarte probabil ca tija de fier să se fi rupt la un moment dat. Piesa a fost reparată (poate pentru că era un exemplar cu valoare socială ridicată), fiindu-i adăugată o tijă de fier care s-o continue pe cea veche.

<sup>31</sup> Vasić 1999, p. 58 (nr. cat. 361).

<sup>32</sup> Vasić 1999, p. 58 (nr. cat. 361 și 364).

<sup>33</sup> Gergova 1987, p. 46 (nr. cat. 178).

<sup>34</sup> Sîrbu, Damian, Ciocea 1993, p. 207, fig. 4/2a–b.

De altfel, pe una dintre lateralele fibulei, coastele sunt ușor mai lățite și aplatizate, reprezentând, posibil, un indiciu că fibula a fost purtată cu această parte prinsă de haine și, prin urmare, folosită un timp mai îndelungat (fig. 4d–e). Totuși, nu excludem nici varianta ca aceste coaste să se fi aplatizat în timpul în care modelul de ceară a stat în contact cu o suprafață mai dură.

Secțiunile virtuale longitudinale, transversale și tangențiale făcute prin mica bucată de metal de la capătul arcului au indicat prezența a trei tije de fier în interiorul acesteia. Una dintre tijele de fier, poziționată mai aproape de una dintre lateralele bucății de metal, este tija veche, venită din interiorul arcului (fig. 6). Aceasta s-a rupt în vechime în zona resortului, fapt indicat și de traiectoria sa curbă în interiorul bucății de metal. O a doua tijă, scurtă, se afla mai aproape de cealaltă laterală, iar rolul ei a fost, foarte probabil, acela de a ajuta la o mai bună fixare a tijeii principale, care urma să ia locul celei rupte (fig. 8). Între aceste două tije a fost fixată o a treia, viitoarea tijă principală (fig. 7). Această tijă nu a supraviețuit până astăzi, dar ea este cea care ieșea prin capătul bucății ovoidale și din ea au fost reconstituite ulterior, în vechime, celelalte elemente componente ale fibulei (posibil

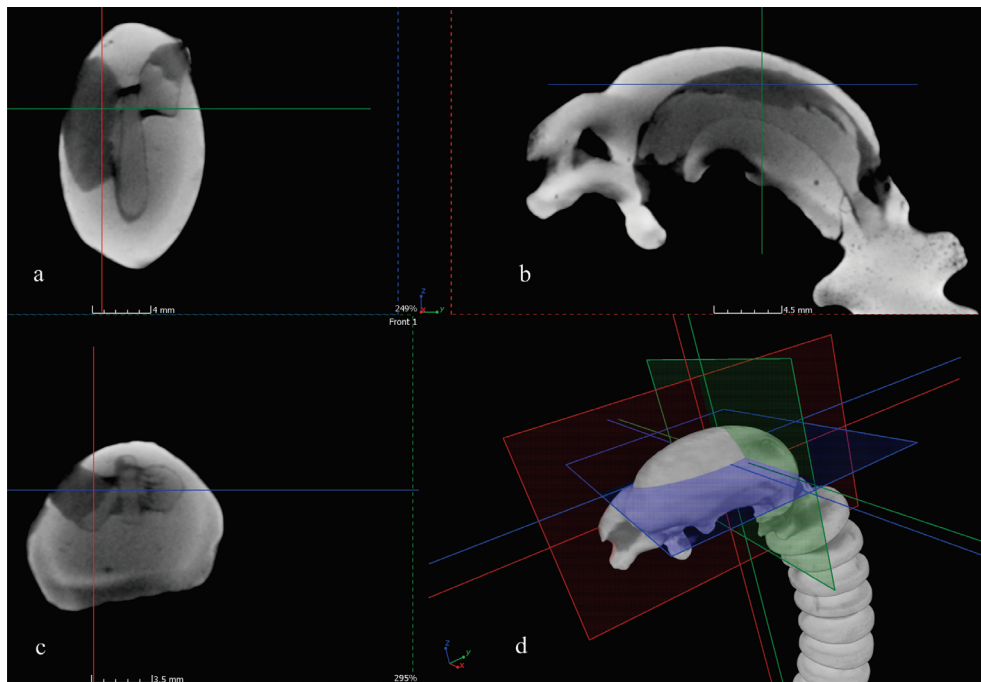


Fig. 6. „Oltenia – 08154”, fibula cu arcul modelat sub formă de coaste. Imagini ale interiorului bucății de metal ovoidale: a. secțiune tangențială, fiind vizibile cele trei tije de fier; b. secțiune longitudinală, fiind vizibilă tija de fier inițială; c. secțiune transversală, fiind vizibile grosimile celor trei tije de fier; d. poziționarea planurilor pe bucata de metal ovoidală pentru realizarea secțiunilor virtuale.

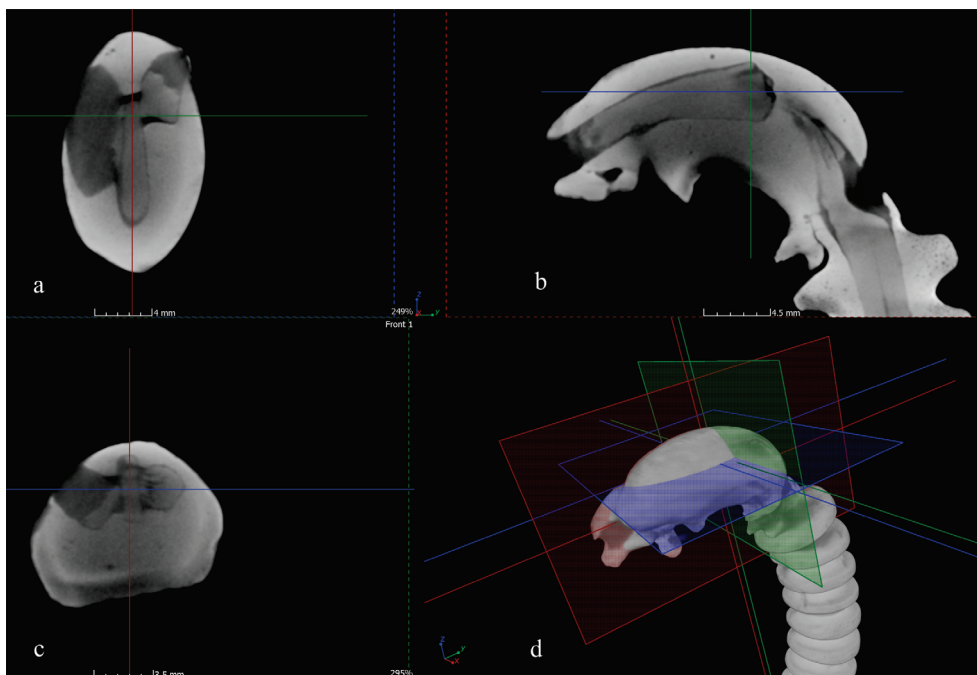


Fig. 7. „Oltenia – 08154”, fibula cu arcul modelat sub formă de coaste. Imagini ale interiorului bucății de metal ovoidale: a. secțiune tangențială, fiind vizibile cele trei tije de fier; b. secțiune longitudinală, fiind vizibilă tija de fier care urma să ia locul celei rupte; c. secțiune transversală, fiind vizibile grosimea tije de fier inițiale și a celei care a înlocuit-o; d. poziționarea planurilor pe bucata de metal ovoidală pentru realizarea secțiunilor virtuale.

un resort, acul sau portagrafa). Poate că, înainte să fie turnată bucata de metal (tot prin metoda „cerii pierdute”), cele trei sârme au fost legate între ele. Probabilitatea este mai mare ca resortul rupt în timpul utilizării fibulei și reparat să fi fost cel dinspre ac, acesta fiind supus unei presiuni mai mari decât resortul dinspre portagrafă.

\*

Folosită inițial în medicină, de unde a fost apoi preluată pentru studiul mumiilor, tomografia computerizată este tot mai des utilizată în ultimii ani și pentru examinarea obiectelor arheologice<sup>35</sup>. Tehnica imagistică reprezintă singura modalitate de a vizualiza interiorul obiectelor, fără ca acestea să fie afectate în vreun fel, păstrându-li-se integralitatea.

Prin examinarea celor două fibule hallstatiene din Oltenia, folosind tomografia computerizată și fluorescența de raze X, au fost obținute informații privind compoziția metalelor utilizate, dimensiunile și aspectul diferitelor segmente componente, starea

<sup>35</sup> De exemplu, Anderson 1995; Haneca *et alii* 2012; Pavel *et alii* 2013; Sanger 2016; Karl *et alii* 2014; Kozatsas *et alii* 2018.

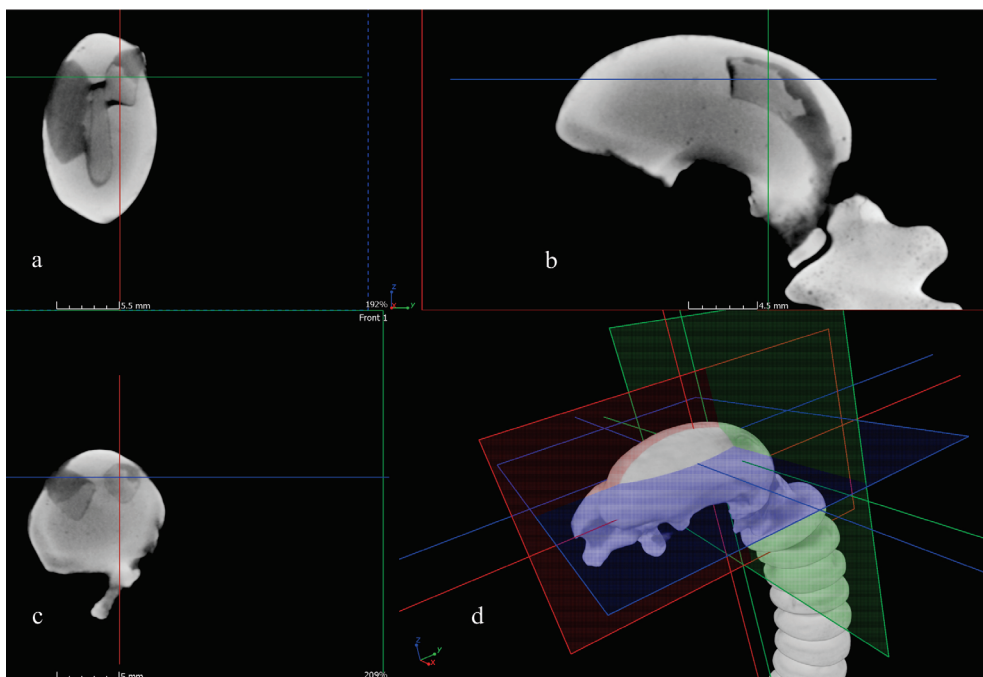


Fig. 8. „Oltenia – 08154”, fibula cu arcul modelat sub formă de coaste. Imagini ale interiorului bucății de metal ovoidale: a. secțiune tangențială, fiind vizibile cele trei tije de fier; b. secțiune longitudinală, fiind vizibilă tija de fier folosită pentru fixarea celei principale; c. secțiune transversală, fiind vizibile grosimea tije de fier inițiale și a celei de-a treia, care a ajutat la fixarea tije principale; d. poziționarea planurilor pe bucata de metal ovoidală pentru realizarea secțiunilor virtuale

lor de conservare, felul în care acestea au fost îmbinate; pe scurt, dispunem acum de informații relevante privind tehnicile de realizare a respectivelor piese. De asemenea, s-au putut face observații asupra procedeele prin care a fost reparată o fibulă.

#### BIBLIOGRAFIE

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| Aldea, Ciugudean 1987 | I.A. Aldea, H. Ciugudean, <i>Depozitul hallstattian Vințu de Jos III</i> , <i>Apulum</i> 24, 1987, p. 79–89.   |
| Aldea, Ciugudean 1995 | I.A. Aldea, H. Ciugudean, <i>Der dritte hallstattzeitliche Depotfund von Vințu de Jos, Kr. Alba, Siebenbürgen</i> , în T. Soroceanu (ed.), <i>Bronzefunde aus Rumänien</i> , PAS 10, Berlin, 1995, p. 213–223. |
| Anderson 1995         | T. Anderson, <i>Analysis of Roman Cremation Vessels by Computerized Tomography</i> , <i>JAS</i> 22, 1995, p. 609–617.  |
| Bader 1983            | T. Bader, <i>Die Fibeln in Rumänien</i> , PBF XIV, 6, München, 1983.   |
| Barret, Keat 2004     | J.F. Barret, N. Keat, <i>Artifacts in CT: Recognition and Avoidance</i> , <i>RadioGraphics</i> 24, 6, 2004, p. 1679–1691.  |

- Bâsceanu 2015–2016 M. Bâsceanu, *Considerations regarding the Early Iron fibulae discovered in Desa (2002-2016)*, Oltenia 22–23, 2015–2016, p. 22–38.
- Bâsceanu 2018 M. Bâsceanu, *Early Iron Age fibulae from Desa-„Castravița” discovered in 2017 and 2018*, Oltenia 25, 2018, p. 89–96.
- Borș 2015 C. Borș, *Depozitele de bronzuri Tărtăria I și Tărtăria II*, în H. Ciugudean, G. Bălan (eds.), *Artizanii epocii bronzului. Descoperiri recente de depozite de bronzuri în Transilvania*, Catalog de expoziție, Alba Iulia, 2015, p. 51–64.
- Ciocea Safta 1996 E. Ciocea Safta, *Necropola tumulară de pe Ostrovu Mare*, SCIVA 47, 2, 1996, p. 159–190.
- Figueiredo *et alii* 2007 E. Figueiredo, M. de Fátima Araújo, R.J. Cordeiro Silva, J.C. Senna-Martinez, *Corrosion of bronze alloy with some lead content: implications in the archaeometallurgical study of Late Bronze Age metal artefacts from “Fraga dos Corvos” (North Portugal)*, în C. Derigny, R. Van Langh, I. Joosten, B. Ankersmit (eds.), *Metal 07, Book 1, When Archaeometry and Conservation Meet, Interim Meeting of the ICOM-CC Metal WG Amsterdam, 17-21 September 2007*, Amsterdam, 2007, p. 61–66.
- Gabrovec 1970 S. Gabrovec, *Dvozankaste ločne fibule. Doprinos k problematici začetka železne dobe na Balkanu in v Jugovzhodnih Alpah*, Godišnjak. Centar za Balkanološka Ispitivanja 8, 6, 1970, p. 5–65.
- Gergova 1987 D. Gergova, *Früh- und ältereisenzeitliche Fibeln in Bulgarien*, PBF XIV, 7, München, 1987.
- Gumă 1993 M. Gumă, *Civilizația primei epoci a fierului în sud-vestul României*, BiblThrac 4, București, 1993.
- Haneca *et alii* 2012 K. Haneca, K. Deforce, M.N. Boone, D. Van Loo, M. Dierick, J. Van Acker, J. Van den Bulcke, *X-ray sub-micron tomography as a tool for the study of archaeological wood preserved through the corrosion of metal objects*, Archaeometry 54, 5, 2012, p. 893–905.
- Karl *et alii* 2014 S. Karl, D. Jungblut, H. Mara, G. Wittum, S. Krömker, *Insights into manufacturing techniques of archaeological pottery: Industrial X-ray computed tomography as a tool in the examination of cultural material*, în M. Martínón-Torres (ed.), *Craft and Science: International perspectives on archaeological ceramics*, Doha, 2014, p. 253–261.
- Kozatsas *et alii* 2018 J. Kozatsas, K. Kotsakis, D. Sagris, K. David, *Inside out: Assessing pottery forming techniques with micro-CT scanning. An example from Middle Neolithic Thessaly*, JAS 100, 2018, p. 102–119.
- Lutz, Pernicka 1996 J. Lutz, E. Pernicka, *Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Analysis of Ancient Copper Alloys: Empirical Values for Precision and Accuracy*, Archaeometry 38, 2, 1996, p. 313–323.
- Mangou, Ioannou 1997 H. Mangou, P.V. Ioannou, *On the Chemical Composition of Prehistoric Greek Copper-Based Artefacts from the Aegean Region*, ABSA 92, 1997, p. 59–72.
- Mödlinger, Piccardo 2013 M. Mödlinger, P. Piccardo, *Corrosion on prehistoric Cu-Sn-alloys: the influence of artificial environment and storage*, Applied Physics A, 2013, p. 1069–1080.

- Orfanou, Rehren 2015 V. Orfanou, T. Rehren, *A (not so) dangerous method: pXRF vs. EPMA-WDS analyses of copper-based artefacts*, AAS 7, 2015, p. 387–397.
- Pavel *et alii* 2013 C. Pavel, C. Suci, F. Constantin, R. Bugoi, *X-ray computed tomography investigations of Cucuteni ceramic statuettes*, Documenta Praehistorica 40, 2013, p. 323–332.
- Pernicka 2014 E. Pernicka, *Provenance Determination of Archaeological Metal Objects*, în B.V. Roberts, C.P. Thornton (eds.), *Archaeometallurgy in Global Perspective*, New York, 2014, p. 239–268.
- Pernicka *et alii* 1990 E. Pernicka, F. Begemann, S. Schmitt-Strecker, A.P. Grimani, *On the composition and provenance of metal artefacts from Poliochni on Lemnos*, OJA 9, 3, 1990, p. 263–298.
- Petrescu-Dîmbovița 1977 M. Petrescu-Dîmbovița, *Depozitele de bronzuri din România*, București, 1977.
- Popa, Berciu 1964 A. Popa, I. Berciu, *Contribution à l'étude des dépôts d'objets hallstattiens*, Dacia N.S. 8, 1964, p. 87–100.
- Popescu 1988 O. Popescu, *Piese de bronz dintr-un tumul din zona Iaz-Dîmb, județul Caraș-Severin*, Tibiscum 7, 1988, p. 275–276.
- Popović, Vukmanović 1998 P. Popović, M. Vukmanović, *Vajuga-Pesak Early Iron Age cemetery / Vajuga Pesak nekropola starijeg gvozdenog doba*, Beograd, 1998.
- Robbiola, Blengino, Fiaud 1998 L. Robbiola, J.-M. Blengino, C. Fiaud, *Morphology and mechanisms of formation of natural patinas on archaeological Cu-Sn alloys*, Corrosion Science 40, 12, 1998, p. 2083–2111.
- Roxburgh *et alii* 2019 M.A. Roxburgh, S. Heeren, D.J. Huisman, B.J.H. Van Os, *Non-destructive survey of early Roman copper-alloy brooches using portable X-ray fluorescence spectrometry*, Archaeometry 61, 1, 2019, p. 55–69.
- Sanger 2016 M. Sanger, *Investigating pottery vessel manufacturing techniques using radiographic imaging and computed tomography: Studies from the Late Archaic American Southeast*, JAS: Reports 9, 2016, p. 586–598.
- Sîrbu, Damian, Ciocea 1993 V. Sîrbu, P. Damian, E. Ciocea, *Deux tombes d'inhumation du premier âge du fer découvertes à Căscioarele, dépt. de Călărași*, CCDJ 10, 1993, p. 207–215.
- Škvor Jernejčič 2017 B. Škvor Jernejčič, *Starejšeželeznodobne gomile na Gorenjskem. Žgani grobovi pri Vili Prah in na Koroški cesti v Kranju / Early Iron Age tumuli in the Gorenjska region. Cremation burials at Vila Prah and Koroška cesta in Kranj*, ArhVestnik 68, 2017, p. 117–196.
- Stelzner, Gauß, Schuetz 2016 J. Stelzner, F. Gauß, P. Schuetz, *X-ray computed tomography for non-destructive analysis of early Medieval swords*, Studies in Conservation 61, 2, 2016, p. 86–101.
- Teržan 2009 B. Teržan, *Kaukasischen Symbolgut in Südosteuropa – Bemerkungen zu Goldfibeln von Michalków – Fokoru – Dalj*, în J. Apakidze, B. Govedarica, B. Hänsel (eds.), *Der Schwarzmeerraum vom Äneolithikum bis in die Früheisenzeit (5000-500 v.Chr.). Kommunikationsebenen zwischen Kaukasus und Karpaten*, Prähistorische Archäologie in Südosteuropa 25, Rahden/Wstf., 2009, p. 190–216.
- Tylecote 1986 R.F. Tylecote, *The prehistory of metallurgy in the British Isles*, Londra, 1986.



Vasić 1999

R. Vasić, *Die Fibeln im Zentralbalkan (Vojvodina, Serbien, Kosovo und Makedonien)*, PBF XIV, 12, Stuttgart, 1999.

## MANUFACTURING TECHNIQUES OF THE TWO EARLY IRON AGE FIBULAE DISCOVERED IN OLTENIA

### ABSTRACT

In the collections of the "Vasile Pârvan" Institute of Archeology there are two fragmentary double-looped bow fibulae discovered in the 19<sup>th</sup> century in Oltenia. Only the bows of the fibulae were preserved, composed of a bronze shell over an iron core. The first belongs to the type with knobbed bow and the other to the type with ribbed bow. Both fibulae were published by Tiberiu Bader in the volume concerning the Late Bronze Age and Early Iron Age fibulae in Romania, and can be dated in the 8<sup>th</sup>-7<sup>th</sup> centuries BC.

In this article, the two fibulae were examined through non-invasive methods: X-ray fluorescence and X-ray computed tomography. The elemental composition of the two fibulae determined using XRF showed that the iron rod was covered with a shell made of copper-tin alloy also containing a higher level of lead. The images provided by X-ray computed tomography yielded information on the structure of the fibulae, the dimensions, aspect and state of preservation of the components and the way in which they were manufactured. Both fibulae were most likely manufactured through lost-wax casting. Another important observation was made regarding the repair of one of the fibulae. For this, bronze with a low content of tin and also a low level of lead was used.

**Keywords:** bimetallic fibulae, Early Iron Age, Oltenia, X-ray fluorescence analyses, X-ray computed tomography, manufacturing techniques

### LIST OF TABLES AND CAPTIONS

Table 1. Results of the XRF analyses performed on the corrosion layer and cleaned metal of the knobbed bow fibula "Oltenia – 08153" using the portable Tracer 5<sup>i</sup> spectrometer (n.d. = not detected).

Table 2. Results of the XRF analyses performed on the cleaned metal of the knobbed bow fibula "Oltenia – 08153" using the stationary SPECTRO MIDEX spectrometer (n.d. = not detected).

Table 3. Results of the XRF analyses performed on the corrosion layers of the ribbed bow fibula "Oltenia – 08154" using the portable Tracer 5<sup>i</sup> spectrometer (n.d. = not detected).

Fig. 1. "Oltenia – 08153", the knobbed bow fibula.

Fig. 2. "Oltenia – 08153", the knobbed bow fibula. a. virtual cross-section of a knob; b. virtual tangential section of the bow; c. virtual longitudinal section of the bow; d. 3D object with transversal, longitudinal and tangential planes.

Fig. 3. "Oltenia – 08153", the knobbed bow fibula. Reconstructed images based on the virtual longitudinal and transversal sections of the bow.

Fig. 4. "Oltenia – 08154", the ribbed bow fibula.

Fig. 5. "Oltenia – 08154", the ribbed bow fibula, virtual longitudinal section of the bow.

Fig. 6. "Oltenia – 08154", the ribbed bow fibula. Reconstructed images showing the inner area of the ovoid metal piece. a. tangential section showing the three iron rods; b. longitudinal section showing the original iron rod. c. cross-section showing the thicknesses of all three iron rods; d. 3D object with transversal, longitudinal and tangential planes.

Fig. 7. "Oltenia – 08154", the ribbed bow fibula. Reconstructed images showing the inner area of the ovoid metal piece. a. tangential section showing the three iron rods; b. longitudinal section showing the new iron rod, added to replace the old one; c. cross-section showing the thicknesses of the old and new iron rods; d. 3D object with transversal, longitudinal and tangential planes.

Fig. 8. "Oltenia – 08154", the ribbed bow fibula. Reconstructed images showing the inner area of the ovoid metal piece. a. tangential section showing the three iron rods; b. longitudinal section showing the third iron rod, used to fasten the main rod better; c. cross-section showing the thicknesses of the old iron rod and the third one used to fasten the new iron rod; d. 3D object with transversal, longitudinal and tangential planes.