

TOPOARE PLATE DE METAL DIN EPOCA TIMPURIE A BRONZULUI DESCOPERITE RECENT ÎN OLTEANIA (II) ȘI CÂTEVA OBSERVAȚII CU PRIVIRE LA TEHNOLOGIA UTILIZATĂ PENTRU PROducțIA LOR

Radu Băjenaru, Dumitru Hortopan***

Rezumat: autorii prezintă un topor plat de metal descoperit la Prigoria, jud. Gorj, cu ajutorul detectorului de metale. Din punct de vedere tipologic, toporul se înscrie în seria topoarelor plate de metal caracteristice mileniului al IV-lea a.Chr. din zona Olteniei, cu o probabilitate mai ridicată pentru o datare către mijlocul acestui mileniu, sau chiar într-o perioadă corespunzătoare culturii Coțofeni. Anumite particularități tehnologice ale piesei, observate atât macroscopic, cât și prin examinarea cu ajutorul tomografiei computerizate (*X-ray Computed Tomography*), permit o discuție mai detaliată asupra practicilor de turnare și de prelucrare a topoarelor plate la începutul epocii bronzului la Dunărea de Jos.

Abstract: The authors present a flat metal axe discovered in Prigoria (Gorj County), using a metal detector. From a typological point of view, the axe belongs to the series of flat axes characteristic of the 4th millennium BC in the Oltenia area, with a higher probability for a dating towards the middle of this millennium, or even in a period corresponding to the Coțofeni culture. Some technological peculiarities of the item, observed both macroscopically and by *X-ray Computed Tomography* examination, allow a more detailed discussion on the casting and forging techniques of flat axes in the early Bronze Age in the Lower Danube.

Cuvinte-cheie: topor plat de metal, epoca timpurie a bronzului, Oltenia, metallurgie, tehnologie, forjare, fractură.

Keywords: flat metal axe, early Bronze Age, Oltenia, metallurgy, technology, forging, metal fracture.

Într-un număr anterior al revistei Litua am prezentat patru topoare plate descoperite cu detectorul de metale în zona Olteniei, însotite de o discuție asupra surselor de cupru din zonă, posibil exploataate în preistorie¹. Ulterior publicării, Muzeul Județean Gorj „Alexandru Ștefulescu” a intrat în posesia unei noi piese descoperite în același mod, pe teritoriul satului Prigoria, într-o zonă în care mai

* Institutul de Arheologie „Vasile Pârvan”, București.

** Muzeul Județean Gorj „Alexandru Ștefulescu”, Târgu Jiu.

¹ Băjenaru, Hortopan 2021.

fusese descoperit un astfel topor plat². Conform procesului-verbal de predare-primire, toporul a fost descoperit în pădurea Prigoria-Negoiești, în locul numit „La Cornet”, la adâncimea de circa 0,35 m, fără alte urme arheologice asociate sau aflate în zona de descoperire. Ca atare, putem presupune că și acest topor plat (MJG, nr. inv. 33.050) reprezintă o depunere izolată în arealul respectiv.

Toporul este întreg, de formă ușor trapezoidală cu muchiile foarte puțin arcuite, colțurile cefei și ale tăișului fiind rotunjite. Tăișul este demarcat, arcuit și nu prezintă nicio urmă de folosire. Pe una din fețe este foarte bine finisat, fără niciun fel de denivelare sau resturi de turnare, având o culoare brună-verzuie cu urme de patină. Cealaltă față este complet nefinisată, păstrând toate denivelările căpătate în urma procesului de turnare. Inclusiv muchiile păstrează încă neregularitățile de la turnare pe partea nefinisată a toporului. Singura zonă șlefuită și finisată de pe această față este tăișul, pe o lățime de câțiva milimetri. Suprafața este acoperită cu patină verzuie și cu o depunere calcaroasă dobândită probabil în urma condițiilor de zacere în pământ. Secțiunea lamei este biconvexă, ceea ce sugerează turnarea în tipare bivalve închise, iar profilul longitudinal se subțiază către ceafă. Dimensiuni: L = 8,6 cm; l.tăiș = 5,6 cm; l.ceafă = cca. 4 cm; grosime.mx = 0,6 cm; G = 182 gr. (Fig. 1; 2/a). Analiza elementală: 97,68% Cu; 2,09% As; 0,07% Fe, 0,1% Sn³. Compoziția indică faptul că pentru realizarea toporului a fost utilizată în mod intenționat o sursă de metal ce conținea arsen, fapt obișnuit pentru piesele de metal databile în mileniul al IV-lea a.Chr. Desigur, prezența staniului este neintenționată, însă o comparație cu celelalte patru topoare publicate anterior, arată prezența staniului la alte trei dintre acestea în proporții cuprinse între 0,1-0,69%, ceea ce poate sugera o sursă comună a metalului, poate chiar a zăcământului de cupru, chiar în condițiile unui probabil decalaj cronologic între topoarele respective.

² Băjenaru, Hortopan 2021, p. 6, nr. 3.

³ Analizele, prin metoda fluorescenței de raze X, au fost realizate la Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei” de către dr. Daniela Cristea-Stan, pe o zonă curătată de patină. Pentru realizarea măsurătorilor a fost folosit spectrometrul portabil Tracer 5ⁱ, produs de *Bruker Instruments*.

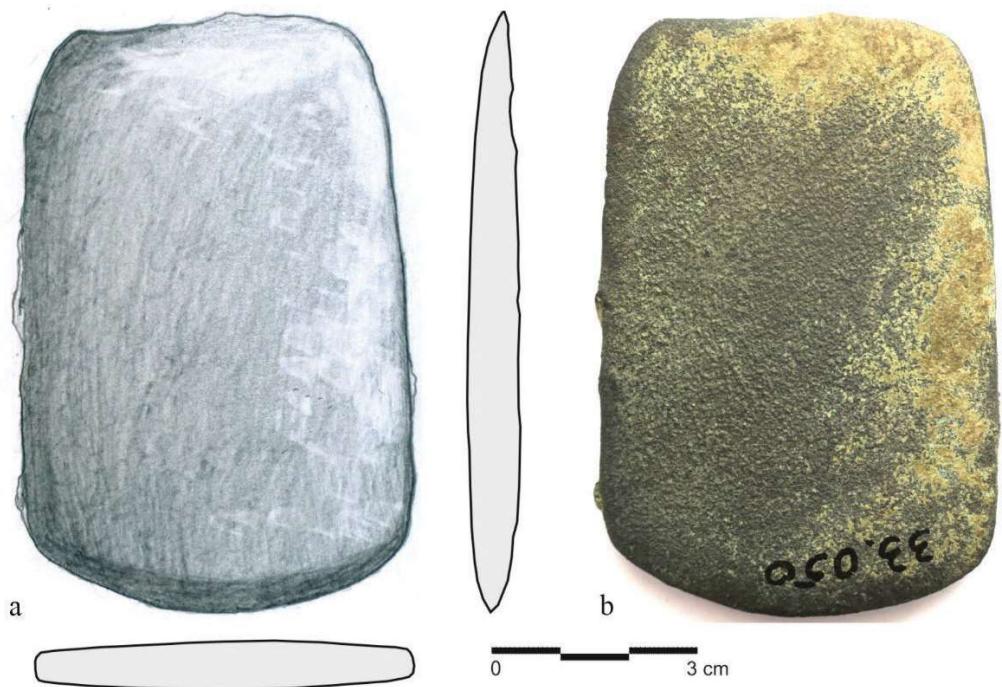


Fig. 1. Toporul plat de la Prigoria (a: desen; b: foto față finisată). The flat axe from Prigoria (a: drawing; b: photo of the finished side).

Din punct de vedere tipologic, toporul se înscrie în seria pieselor atribuite de regulă tipurilor Petrești⁴ și Ponikve⁵, deși ambele includ piese foarte diverse din punct de vedere al dimensiunilor și al unor anumite caracteristici tipologice importante. Toporul de la Prigoria se încadrează în categoria pieselor de dimensiuni mici, cu lățimea tăișului aproximativ egală sau mai mare decât jumătate din lungime, precum cele de la Suvi Do, Glavnici și „Banat” (Serbia)⁶ și „România”⁷. Astfel de topoare apar pe un spațiu mult mai larg, fiind prezente, de exemplu, în aria culturală Novosvobodnaya din nordul Caucazului⁸, în zona nord-vest-pontică, în mediul cultural tripolian târziu (Usatovo)⁹, cât și în bazinul superior al Dunării Mijlocii sau Europa Centrală¹⁰. În ceea ce privește datarea, singura observație pertinentă este că asemenea topoare plate sunt ulterior colapsului metalurgiei eneolitice tradiționale în spațiul carpato-balcanic, reprezentată de topoarele cu brațele în cruce, anume circa post-3700 BC.

⁴ Vulpe 1975, p. 60, pl. 34.

⁵ Antonović 2014, p. 45-47, pl. 5.

⁶ Antonović 2014, pl. 5/61-62, 65, 68.

⁷ Vulpe 1975, pl. 34/305.

⁸ Korenevskiy 2011, fig. 60-63.

⁹ Klochko 2006, p. 48, fig. 9/7.

¹⁰ Novotná 1970, pl. 3/67-69.

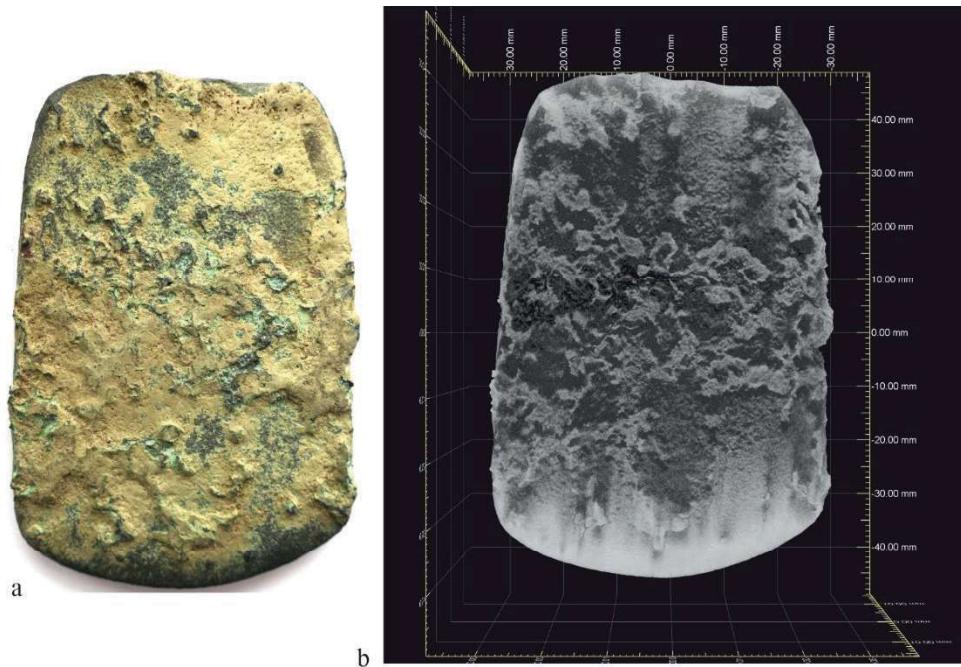


Fig. 2. Toporul plat de la Prigoria (a: foto față nefinisată; b: imagine 3D a secțiunii longitudinale). The flat axe from Prigoria (a: photo of the unfinished side; b: 3D longitudinal section image).

Despre o prezență semnificativă a lor în aria transilvăneană s-a argumentat recent, în contextul unei noi descoperiri la Gălășeni (jud. Bihor)¹¹. Ceea ce trebuie remarcat este asemănarea evidentă a toporului de la Prigoria cu cel de la Gălășeni, nu numai în ceea ce privește tipul și dimensiunile, cât mai ales abandonarea (depunerea) acestora înainte de finisare. Ambele piese prezintă același gen de neregularități rezultate în urma procesului de turnare, diferența fiind că toporul de la Prigoria are una dintre fețe complet finisată, pe când la cel de la Gălășeni ambele fețe prezintă neregularități, una dintre ele fiind totuși parțial finisată. Cele două piese menționate oferă o bună ocazie pentru o discuție mai detaliată privind lanțul tehnologic parcurs de meșteșugarii vremii pentru obținerea unor astfel de topoare.

Tehnologia de turnare pentru majoritatea topoarelor plate din mileniul al IV-lea a.Chr. este cea în tipare bivalve (închise), cu orificiul de turnare pe la ceafă¹². Există câteva situații, de regulă mai timpurii (mileniul al V-lea și începutul mileniului al IV-lea a.Chr.), de turnare în tipare monovalve a unor astfel de piese. Distincția între cele două metode de turnare se observă în secțiunea lamelor respective și mai ales a tăișului. Astfel, piesele turnate în tipare monovalve au față din tipar arcuită, bombată, iar cea de deasupra, lăsată neacoperită în timpul turnării, complet plană. Un exemplu tipic sunt topoarele grele eneolitice de tip Belovode din Serbia¹³, precum

¹¹ Fazecaș 2021, p. 77-79, pl. 2.

¹² Kienlin 2011, p. 128-129.

¹³ Antonović 2014, pl. 1/9-11.

și multe dintre cele atribuite tipurilor Sălcuța și Cucuteni de la noi¹⁴. Totodată, există unele exemplare turnate prin aceeași metodă și printre topoarele atribuite tipurilor Ponikve, Petrești sau Altheim, includerea lor aici fiind totuși dependentă de acuratețea detaliilor desenelor publicate, în special în ceea ce privește secțiunile¹⁵. Având în vedere secțiunea transversală a piesei, toporul menționat de la Gălășeni pare a fi fost turnat în tipar monovalv, față mai netedă fiind cea lăsată deschisă, neacoperită¹⁶.

Lanțul tehnologic de producție a topoarelor plate de cupru sau cupru aliat, de la turnare la piesa finită, este însă unul mult mai complex și presupune câteva etape distincte de prelucrare. Acestea pot fi observate prin analiza metalografică a unor eșantioane prelevate din piese, care permite identificarea tuturor proceselor termice și mecanice la care a fost supusă piesa de metal ulterior turnării, prin observații asupra microstructurii metalului¹⁷.

Pe baza unor astfel de analize efectuate pentru circa 40 de topoare plate din Europa centrală și de sud-est, Tobias Kienlin a identificat două tradiții tehnologice de forjare a pieselor de cupru și cupru aliat, diferențiate cronologic. La topoarele plate din prima etapă cronologică, corespunzătoare în linii mari culturilor Tiszapolgár și Bodrogkeresztúr (ultimul sfert al mileniului al V-lea și primul sfert al mileniului al IV-lea a.Chr.), analizele metalografice indică un lanț tehnologic compus din turnare și apoi prelucrare continuă la cald (ciocănire) pentru obținerea formei dorite, proces ce poate presupune mai multe cicluri de încălzire a piesei în vederea finisării. În cea de-a doua etapă cronologică, începând cu al doilea sfert al mileniului al IV-lea a.Chr., observațiile de microstructură la topoarele plate de tip Altheim și Vinča arată o schimbare și o complexitate sporită în lanțul tehnologic: turnare - prelucrare la rece - recoacere - ciocănire la rece. Prelucrarea la rece imediat după turnare avea drept scop obținerea formei finale dorite și înlăturarea resturilor (cusăturilor) de la turnare; recoacerea este o etapă esențială care permite recristalizarea structurii metalului și eliminarea stresului intern acumulat în timpul turnării, dar și remodelarea formei dacă era cazul; în fine, ciocănirea la rece ulterior recoacerii are în vedere creșterea durității piesei, călarea ei prin deformare mecanică, în special în zona tăișului. Finisarea prin șlefuire era operația finală. Este interesant faptul că acest lanț tehnologic, experimentat către mijlocul mileniului al IV-lea a.Chr., se păstrează, cu unele îmbunătățiri, și pe parcursul mileniilor III-II a.Chr., pentru prelucrarea topoarelor plate¹⁸.

¹⁴ Vulpe 1975, pl. 32/256-258; 33/267.

¹⁵ Antonović 2014, pl. 5/57, 62, 66; 6/72, 73A, 75; Vulpe 1975, pl. 34/298, 299.

¹⁶ Fazecaș 2021, pl. 2.

¹⁷ Scott 1991; Budd 1991; Ryndina 2009; Kuijpers 2018, p. 85-88.

¹⁸ Kienlin 2010, p. 50-79, fig. 4.11; Kienlin 2011, p. 129-132, fig. 2-3. Vezi de asemenea Kienlin 2007; Kienlin 2008.

Observațiile lui Kienlin au fost continue de Maikel Kuijpers care analizează metalografic încă 26 de topoare plate din Europa centrală, încadrabile în cea de-a doua etapă cronologică stabilită de Kienlin (tipurile Altheim, Vrádiste sau apropiate tipologic de acestea). Analizele efectuate de Kuijpers confirmă în linii generale lanțul tehnologic observat de Kienlin, stabilind că toate cele 26 de topoare analizate au fost supuse recoacerii¹⁹. Anumite diferențe în ceea ce privește tratamentul la care au fost supuse topoarele apar în cazul călirii ulterior recoacerii. Așa cum observase și Kienlin²⁰, cinci topoare nu prezintă niciun fel de semne ale deformării mecanice ulterior recoacerii, iar Kuijpers mai adaugă nouă piese cu o călire foarte slabă, astfel încât rezultă un procent de peste 50% din topoarele analizate pentru care călirea nu reprezintă o preocupare evidentă²¹. Aici trebuie amintite și cele șase topoare de tip Altheim de la Mondsee (Austria), analizate metalografic, dintre care doar două prezintă elemente evidente care să ateste prelucrarea la rece ulterior recoacerii²². Desigur, modelele propuse de Kienlin și Kuijpers pe baza analizei unui lot consistent de piese trebuie avute în vedere ca evoluție generală a tehniciilor de prelucrare a topoarelor plate de metal în mileniul al IV-lea a.Chr., ca repere ale proceselor de forjare și călire utilizate în epocă, însă nu pot fi aplicate oricărei piese databile într-o sau alta dintre etapele cronologice menționate. Există fără îndoială diferențe semnificative de la o zonă la alta, în funcție de tradițiile de prelucrarea a metalului și de experiența și abilitățile meșteșugarului. Pentru a obține astfel de date sunt necesare analize metalografice pentru fiecare topor în parte, ceea ce este aproape imposibil de realizat, mai ales în condițiile în care astfel de analize presupun decuparea unor fragmente din piesă, operație tot mai greu de acceptat de către instituțiile ce le au în custodie. De aceea sunt necesare alte tipuri de investigații, noninvazive, care pot aduce anumite lămuriri în ceea ce privește tehnologia de prelucrare a pieselor preistorice de metal.

Din perspectiva observațiilor tehnologice, topoarele de la Gălășeni și Prigoria au avantajul de a fi fost abandonate înainte de finisarea completă, astfel încât pot fi estimate stadiile intermediare de prelucrare. Pentru piesa de la Gălășeni, nu sunt posibile decât observații macroscopice pe baza ilustrației fotografice publicate²³. Secțiunea transversală arcuită a lamei și conturul neregulat al muchiilor indică faptul că, în acest stadiu, toporul nu primise forma finală, însă resturile și neregularitățile de la turnare parțial aplatizate de pe ambele fețe arată faptul că a existat o prelucrare (ciocănire) la rece ulterior turnării. Nu se poate spune dacă piesa a fost supusă recoacerii. Pentru o recristalizare completă a metalului și redobândirea unui coeficient de maleabilitate a cuprului care să permită o prelucrare la rece în condiții

¹⁹ Kuijpers 2018, p. 133-159.

²⁰ Kienlin 2010, p. 66.

²¹ Kuijpers 2018, p. 138.

²² Budd 1991, p. 106.

²³ Fazecaș 2021, pl. 2/2.

de siguranță, este necesară o recoacere la o temperatură de 600-700°C²⁴. Rupturile și crăpăturile fine de pe tăiș au apărut, probabil, în urma unei ciocăniri mult prea puternice a tăișului (o încercare de ascuțire și călire) în lipsa recoacerii, sau a unei recoaceri la o temperatură joasă, insuficientă. Compromiterea tăișului a determinat, foarte probabil, abandonarea piesei în acest stadiu de prelucrare.

Pentru toporul de la Prigoria s-a realizat o investigație tomografică (*X-ray Computed Tomography*) la Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei”²⁵ (Fig. 2/b; 3). Spre deosebire de toporul de la Gălășeni, cel de la Prigoria se află într-un stadiu mai avansat de prelucrare, forma fiind aproape finalizată, iar una din fețe finisată complet. Cum spuneam mai sus, macroscopic se observă că zona tăișului este finisată și pe cealaltă față, iar imaginea tomografică indică un început de finisare pe toată suprafața, mai evident către tăiș (zona mai albă din Fig. 2/b). Pe baza urmelor ce se observă în tomografie, se poate spune că operația de finisare și şlefuire se realizează longitudinal pe corpul toporului, dinspre tăiș către ceafă, probabil cu o unealtă de piatră abrazivă cu o lățime de circa 1 cm, așa cum indică cele câteva dungi de finisare ce străbat toată lungimea piesei.

Suprafața nefinisată a piesei de la Prigoria ne oferă ocazia rară de a vedea cum arată un topor înaintea ultimei etape a lanțului tehnologic. Se observă astfel că resturile de la turnare și cusăturile au fost îndepărtate anterior, probabil prin prelucrarea la rece a piesei imediat după turnare. Însă neregularitățile de pe fețele toporului, provenite din turnare, sunt îndepărtate abia prin această operație finală de finisare și şlefuire. Pe de altă parte, aceste neregularități sunt deja aplatizate, ceea ce presupune o operație de batere, de ciocanire, anteroiară finisării, fie odată cu îndepărtarea cusăturilor după turnare, fie într-o etapă ulterioară, care presupune însă că piesa a fost reîncălzită (recoaptă). O călire a piesei, anume o deformare mecanică prin batere la rece este sugerată și de imaginea tomografică de la Fig. 3/c, care indică o intensitate sporită a acesteia în zona tăișului și a cefei (mai ales în colțul din dreapta), mai puțin pe muchiile laterale și foarte puțin pe restul corpului. Starea bună a tăișului în urma acestei operațiuni de batere la rece arată faptul că piesa a fost anterior recoaptă.

²⁴ Budd 1991, p. 106.

²⁵ Investigațiile tomografice au fost realizate de Robert Sîrbu. S-a folosit sistemul de tomografie computerizată Nikon XT H 225. Datele colectate de tomograf au fost analizate și procesate cu ajutorul unui software performant, VGStudio MAX 3.0.

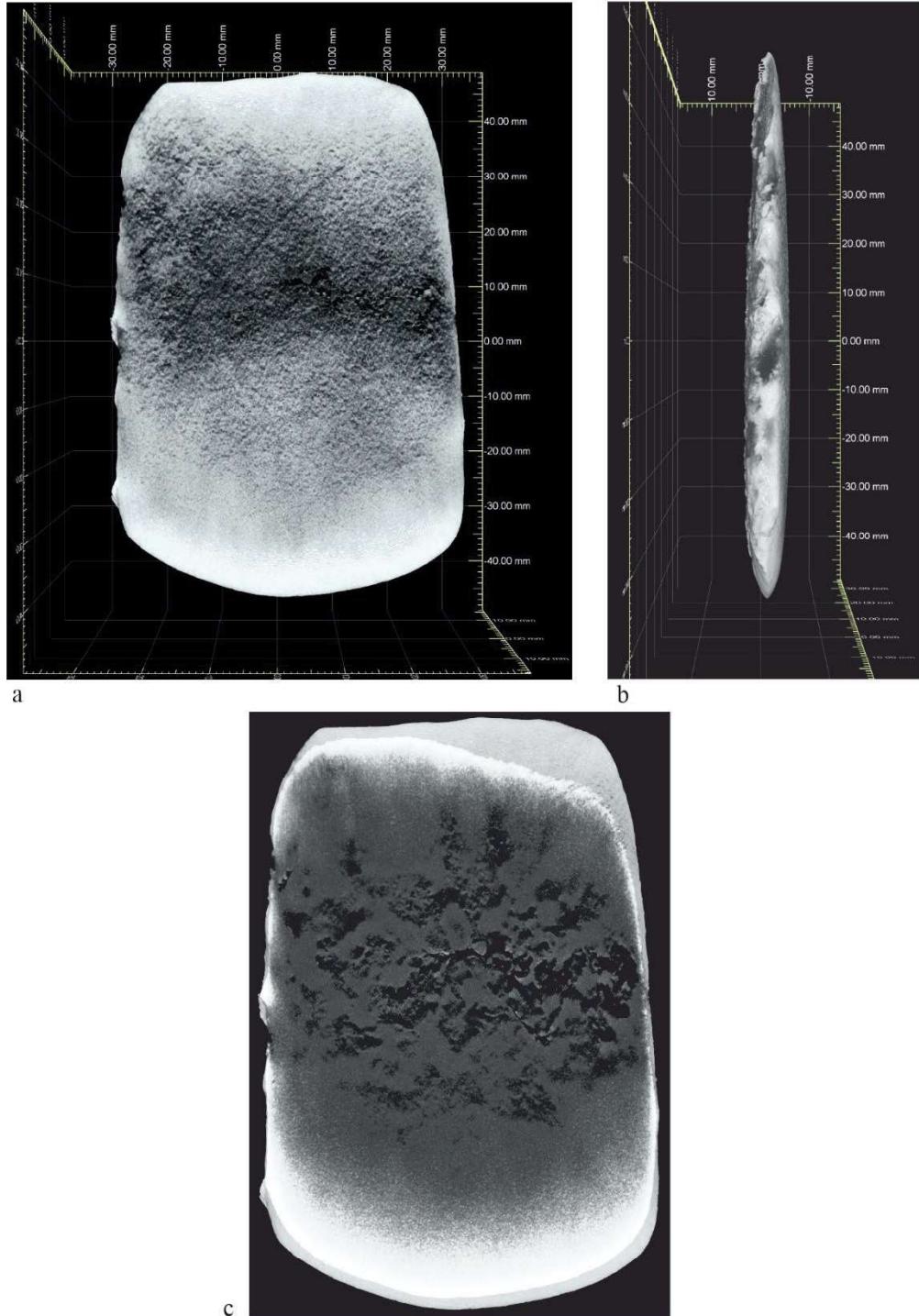


Fig. 3. Imagine 3D și secțiune virtuală longitudinală a toporului plat de la Prigoria. 3D longitudinal section image and reconstructed image based on the virtual longitudinal section of the flat axe from Prigoria.

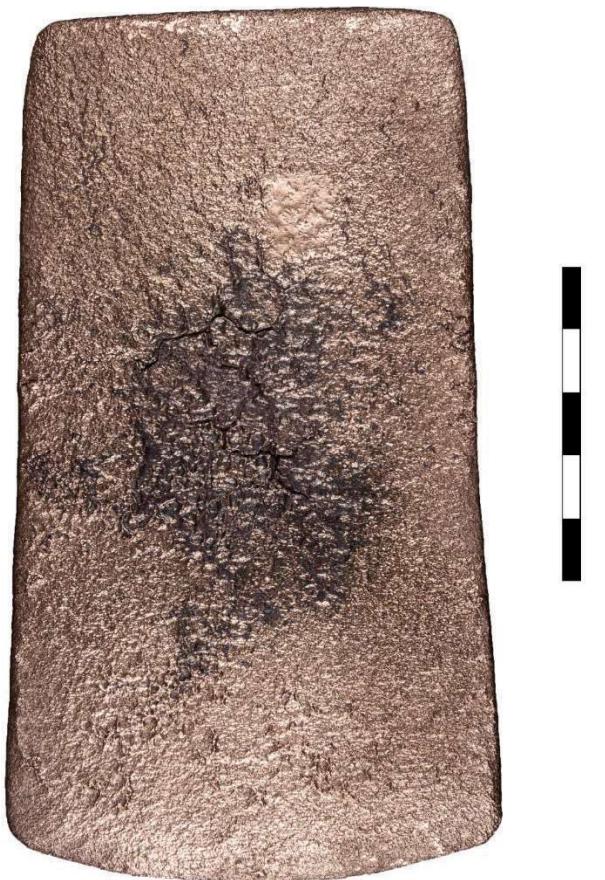


Fig. 4. Toporul plat de la Glogova (foto: Cătălin Nicolae). The flat axe from Glogova
(photo by Cătălin Nicolae).

Tot imaginile tomografice indică o zonă neomogenă, cu unele crăpături la mijlocul și către una din marginile toporului (Fig. 2/b; 3/a, c). Probabil că aceste crăpături ar fi vizibile și macroscopic, însă în momentul de față sunt obturate de patină; în Fig. 2/a se poate vedea doar o foarte mică gaură către mijlocul piesei. Situația este similară cu cea a toporului plat de la Glogova, publicat anterior, pe mijlocul căruia se observă o zonă slab omogenizată, cu mai multe crăpături (Fig. 4), zona fiind bine evidențiată și prin analiza tomografică²⁶. Deși studiile asupra fracturilor diferitelor tipuri de metale și aliaje au o istorie îndelungată²⁷, cele care tratează cauzele unor astfel de fenomene apărute la piesele preistorice de metal sunt foarte rare²⁸. Se acceptă faptul că o cauză frecventă a crăpăturilor de suprafață apărute la instalațiile și echipamentele moderne de cupru și cupru aliat (de regulă țevi) este coroziunea fisurantă sub tensiune (*Stress Corrosion Cracking-SCC*). Observațiile și studiile au în vedere, desigur, instalațiile industriale actuale de cupru,

²⁶ Băjenaru, Hortopan 2021, p. 6-7, nr. 4, fig. 2/2; 3; 4/1.

²⁷ Lynch, Moutsos 2006.

²⁸ Wanhill, Oudbashi 2024.

aflate permanent în tensiune (folosire) într-un mediu coroziv²⁹, însă această cauză este oarecum acceptată și pentru piesele preistorice, deși analize s-au efectuat doar pe un număr foarte de mic de obiecte, toate lucrate fie din metale prețioase, fie din aliaje bogate în staniu³⁰. Pentru apariția fisurilor de coroziune sub tensiune este nevoie de un cumul de factori, între care o anumită predispoziție a metalului ca urmare a modului în care a fost prelucrat, utilizarea îndelungată a obiectelor ce conduce la apariția unor zone cu acumulare de tensiune, precum și zacerea îndelungată într-un mediu coroziv³¹.

Cele două topoare menționate nu prezintă urme de folosire; cel de la Prigoria a fost abandonat și depus înainte de finisare, iar cel de la Glogova nu are nicio zonă care să indice vreo utilizare intensă. Ca atare, cauzele apariției crăpăturilor respective trebuie căutate în modul în care piesele au fost tratate și manipulate în cadrul lanțului tehnologic de producție, ele fiind probabil rezultatul unor tensiuni reziduale interne din timpul fabricării, potențate eventual de coroziune. Așa cum reiese din studiile lui Kienlin și Kuijpers discutate mai sus, comparativ cu perioada precedentă, către mijlocul mileniului al IV-lea a.Chr. sunt introduse și experimentate două etape tehnologice în acest lanț de producție: recoacerea și călirea. Prin recoacere se asigură eliminarea stresului și tensiunilor acumulate în timpul turnării și revenirea metalului la o maleabilitate ce permite călirea ulterioară a piesei, respectiv creșterea durității prin deformare mecanică (ciocănire la rece). Dacă recoacerea nu se efectuează în parametrii optimi de durată și de intensitate a încălzirii, metalul păstrează o anumită fragilitate căpătată încă de la turnare, care, în urma prelucrării la rece, poate duce la apariția unor fisuri. Credeam că aceasta este cea mai probabilă explicație a crăpăturilor celor două topoare discutate, anume recoacerea la o temperatură inferioară celei ideale de minimum 600°C, eventual o încălzire neuniformă a pieselor, cu zona centrală (mai groasă din turnare, unde dealtfel au apărut crăpăturile) încălzită insuficient comparativ cu muchiile. Totodată, foarte importantă în acest proces este răcirea în urma recoacerii, care trebuie să fie de asemenea lentă și uniformă. Prin răcire, metalul se contractă, iar o răcire mult prea rapidă și neuniformă poate duce la fragilizare și crăpare, așa cum pare a fi cazul zonei centrale a toporului de la Glogova.

În ansamblul schimbărilor care au loc în cultura materială a comunităților umane din spațiul carpato-dunărean către mijlocul mileniului al IV-lea a.Chr., cele din metalurgie au o importanță aparte. Departe de a arăta o criză a producției de piese de metal, aceste transformări indică o perioadă plină de inovații și experimente în metalurgie pe o arie mult mai vastă, din nordul Caucazului până către Europa centrală³². Comparativ cu perioada precedentă, constatăm o schimbare aproape completă a repertoriului tipologic al pieselor de metal, o preocupare constantă pentru

²⁹ Benjamin, Hardie, Parkins 1983; Bobby Kannan, Shukla 2011.

³⁰ Oudbashi, Wanhill 2024, p. 313-314; Wanhill, Oudbashi 2024, p. 7-11.

³¹ Wanhill, Oudbashi 2024, p. 7.

³² Hansen 2013.

experimentarea diferitelor aliaje ale cuprului, în principal cu As, dar și cu Ni, Sb, sau Pb, uneori și cu Sn, dar și experimentarea unor inovații tehnologice extrem de importante pentru turnarea și forjarea pieselor de metal, precum recoacerea și călirea prin deformare mecanică la rece. Desigur, cunoașterea și stăpânirea celor mai bune proceduri tehnologice inovate și experimentate în această perioadă este un proces a cărui durată depinde în bună măsură de tradiție, abilități și de transmiterea cunoștințelor dobândite, însă este important de remarcat că toate aceste transformări evidențiate mai sus caracterizează și definesc metalurgia pentru întreaga epocă a bronzului.

Explicația figurilor

Fig. 1. Toporul plat de la Prigoria (a: desen; b: foto față finisată). The flat axe from Prigoria (a: drawing; b: photo of the finished side).

Fig. 2. Toporul plat de la Prigoria (a: foto față nefinisată; b: imagine 3D a secțiunii longitudinale). The flat axe from Prigoria (a: photo of the unfinished side; b: 3D longitudinal section image).

Fig. 3. Imagine 3D și secțiune virtuală longitudinală a toporului plat de la Prigoria. 3D longitudinal section image and reconstructed image based on the virtual longitudinal section of the flat axe from Prigoria.

Fig. 4. Toporul plat de la Glogova (foto: Cătălin Nicolae). The flat axe from Glogova (photo by Cătălin Nicolae).

Literatură

- Antonović 2014 – D. Antonović, *Kupferzeitliche Äxte und Beile in Serbien, Prähistorische Bronzefunde IX*, 27, Stuttgart, 2014.
- Băjenaru, Hortopan 2021 – R. Băjenaru, D. Hortopan, *Topoare plate de metal din epoca timpurie a bronzului descoperite recent în Oltenia și câteva observații cu privire la metalurgia cuprului în bazinul vestic al Dunării de Jos*, Litua 23, 2021, p. 5-28.
- Benjamin, Hardie, Parkins 1983 – L. A. Benjamin, D. Hardie, R. N. Parkins, *Investigation of the stress corrosion cracking of pure copper*, Newcastle upon Tyne, 1983.
- Bobby Kannan, Shukla 2011 – M. Bobby Kannan, P. K. Shukla, *Stress corrosion cracking (SCC) of copper and copper-based alloys*, în V. S. Raja, T. Shoji (eds.), *Stress corrosion cracking. Theory and practice*, Oxford, 2011.

- Budd 1991 – P. Budd, *A metallographic investigation of eneolithic arsenical copper artefacts from Mondsee, Austria*, Journal of the Historical Metallurgy Society 25, 2, 1991, p. 99-108.
- Fazecaş 2021 – G. Fazecaş, *Prehistoric metal discoveries from the karst of the Pădurea Craiului Mountains, Bihor County*, Crisia 51, 2021, p. 77-89.
- Hansen 2013 – S. Hansen, *Innovative Metals: Copper, Gold and Silver in the Black Sea Region and the Carpathian Basin During the 5th and 4th Millennium BC*, în S. Burmeister et alii (eds.), *Metal Matters. Innovative Technologies and Social Change in Prehistory and Antiquity*, Rahden/Westf., 2013, p. 137-167.
- Kienlin 2007 – T. L. Kienlin, *Results of a Metallographic Examination of Copper Age Flat Axes from Eastern Central Europe and the Carpathian Basin*, în Associazione Italiana di Metallurgia (ed.), *Archaeometallurgy in Europe 2007. 2nd International Conference, Aquileia, Italy, 17-21 June 2007*, Milano, p. 1-15.
- Kienlin 2008 – T. L. Kienlin, *Tradition and Innovation in Copper Age Metallurgy: Results of a Metallographic Examination of Flat Axes from Eastern Central Europe and Carpathian Basin*, Proceedings of the Prehistoric Society 74, 2008, p. 79-107.
- Kienlin 2010 – T. L. Kienlin, *Traditions and Transformations: Approaches to Eneolithic (Copper Age) and Bronze Age Metalworking and Society in Eastern Central Europe and the Carpathian Basin*, BAR International Series 2184, Oxford, 2010,
- Kienlin 2011 – T. L. Kienlin, *Aspects of the Development of Casting and Forging Techniques from the Copper Age to the Early Bronze Age of Eastern Central Europe and the Carpathian Basin*, în Ü. Yalcın (ed.), *Anatolian Metal V*, Der Anschnitt 24, Bochum, 2011, p. 127-136.
- Klochko 2006 – В. И. Ключко, *Озброєння та військова справа давнього населення України (5000–900 pp. до Р.Х.)*, Київ, 2006.
- Korenevskiy 2011 – С. Н. Кореневский, *Древнейший металл Предкавказья. Типология. Историко-культурный аспект*, Москва, 2011.
- Kuijpers 2018 – M. H. G. Kuijpers, *An archaeology of skill. Metalworking Skill and Material Specialization in Early Bronze Age Central Europe*, New York, 2018.
- Lynch, Moutsos 2006 – S. P. Lynch, S. Moutsos, *A Brief History of Fractography*, Journal of Failure Analysis and Prevention 6, 2006, p. 54-69.
- Novotná 1970 – M. Novotná, *Die Äxte und Beile in der Slowakei*, Prähistorische Bronzefunde, IX, 3, München, 1970.
- Oudbashi, Wanhill 2024 – O. Oudbashi, R. Wanhill, *Scientific Methodology for the Study of Corrosion Mechanisms, Morphologies and Cracking in Archaeological Copper-base Objects*, în G. Emre et alii (eds.), *Current Approaches, Solutions and Practices in Conservations of Cultural Heritage*, Istanbul, 2024, p. 297-319.

- Ryndina 2009 – N. Ryndina, *The potential of metallography in investigations of early objects made of copper and copper-based alloy*, Historical Metallurgy 43, 1, 2009, p. 1-18.
- Scott 1991 – D. A. Scott, *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*, Marina del Rey, 1991.
- Vulpe 1975 – A. Vulpe, *Die Äxte und Beile in Rumänien II*, Prähistorische Bronzefunde IX, 5, München, 1975.
- Wanhill, Oudbashi 2024 – R. Wanhill, O. Oudbashi, *Fractography and Metallography of Some Heritage Metallic Artifacts*, Preprint, DOI: 10.13140/RG.2.2.27899.49440
(<https://www.researchgate.net/publication/378041844>).