

ANGVSTIA 29, 2025

ANGVSTIA

29

Revista
Muzeului Național al Carpaților Răsăriteni

Editura ANGVSTIA
Sf. Gheorghe
2025

Redactor șef

ALEXANDRU POPA

Colegiu de redacție

COSMINA-MARCELA OLTEAN

DAN-LUCIAN BUZEA

Orice corespondență se va trimite pe adresa:
Please send any mail to the following address:

MUZEUL NAȚIONAL AL CARPAȚILOR RĂSĂRITENI

Sfântu Gheorghe, Str. Gábor Áron nr. 16

520008, jud. Covasna

Telefon/fax: +40 267 314139

e-mail: secretariat@mncr.ro

web: angvstia.mncr.ro

ISSN 2602 – 0653

ISSN-L 1454 – 8275

Cuprins – Table of Contents

STUDII ȘI CERCETĂRI DE ARHEOLOGIE (*Archaeological studies and researches*)

Dan-Lucian BUZEA, Marius-Mihai CIUTĂ, Dan ȘTEFAN, O reprezentare plastică, antropomorfă, descoperită în situl arheologic de la Arcuș – Platoul Târgului (Vásártető) – zona estică (jud. Covasna). *An anthropomorphic plastic representation discovered at the archaeological site of Arcuș – Platoul Târgului (Vásártető) – eastern area (Covasna County)* 9

PUSKÁS József, Dan-Lucian BUZEA, Alexandru POPA, Luca-Paul PUPEZĂ, Săpăturile arheologice preventive efectuate în situl Sfântu Gheorghe–Hosszú în anul 2025. *Rescue excavations at Sfântu Gheorghe–Hosszú site made in 2025* 31

Imola KELEMEN, Exploatarea resurselor animale la sfârșitul epocii bronzului. Studiul arheozoologic al materialului faunistic din așezarea Gáva de la Sfântu Gheorghe–Hosszú (jud. Covasna). *Exploitation of animal resources at the end of the Bronze Age. Archaeozoological study of the faunal material from the Gáva settlement at Sfântu Gheorghe–Hosszú (Covasna County)* 47

Luca-Paul PUPEZĂ, Dan-Lucian BUZEA, Accesul în Cetatea Zânelor de la Covasna. Câteva ipoteze. *Access to the Fairies Fortress from Covasna. Some hypotheses* 57

Dan ȘTEFAN, Arheometalurgia fierului în Depresiunile din sud-estul Transilvaniei: analiza distribuției spațiale și unele contribuții analitice. *Iron Archaeometallurgy in Southeastern Transylvania: Spatial Patterns and Preliminary Analytical Insights* 77

Ovidiu ȚENȚEA, Alexandru POPA, Cumidava–Râșnov. Raport preliminar al cercetărilor geofizice recente din castru și așezarea civilă. *Cumidava–Râșnov. Preliminary Report on the Recent Geophysical Investigations in the Fort and Civil Settlement* 95

VISY Zsolt, The Archaeological Excavation in the Military Bath of the Castellum of Inlăceni/Énlaka in 2025. *Cercetări arheologice în baia militară a castrului de la Inlăceni/Énlaka în 2025* 109

STUDII DE ETNOGRAFIE (*Studies in Ethnography*)

Tatiana SCURTU, Portul popular românesc din Trei Scaune în secolele XVIII-XIX *The Romanian Traditional Costume of Three Seats in the 18th–19th Centuries* 121

BARTÓK Iuliana Elisabeta, Ghețăriile de la Castelul Mikó din satul Olteni, com. Bodoc, jud. Covasna *The ice houses at Mikó Castle in Olteni village, Bodoc commune, Covasna County* 127

RECENZIE (*Book review*)

Alexandru POPA, Recenzie la Alina Streinu – Vase antice de sticlă din Colecția „Maria și Dr. George Severeanu”, Editura Cetatea de Scaun, Târgoviște 2019” – ISBN 9786065374478. *Review*

of Alina Streinu – Ancient Glass Vessels from the “Maria and Dr. George Severeanu” Collection, Cetatea de Scaun Publishing House, Târgoviște, 2019 – ISBN 9786065374478 153

CRONICA ACTIVITĂȚILOR MUZEULUI (*Activity report of the museum*)

Cosmina-Marcela OLTEAN, Cristina-Ioana FELEA-BAUBEC, *Cronica activității Muzeului Național al Carpaților Răsăriteni pentru anul 2024. The National Museum of Eastern Carpathians Activity Report on 2024 159*

Studii și cercetări de arheologie

Archaeological studies and researches

Arheometalurgia fierului în Depresiunile din sud-estul Transilvaniei: analiza distribuției spațiale și unele contribuții analitice

Iron Archaeometallurgy in Southeastern Transylvania: Spatial Patterns and Preliminary Analytical Insights

Dan ȘTEFAN¹

Cuvinte cheie: arheometalurgie, metalurgia fierului, sud-estul Transilvaniei, GIS, analiză spațială, XRF, zgură, cercetare de suprafață

Keywords: *archaeometallurgy, iron metallurgy, Southeastern Transylvania, GIS, spatial analysis, XRF, slag, surface survey*

ABSTRACT

Early iron metallurgy in Southeastern Transylvania represents a field of significant research potential, yet existing data remain dispersed and lack an integrated analytical framework. This article has a dual objective: (1) to provide an updated cartographic synthesis of archaeometallurgical evidence—slag, furnace fragments, and forging residues—reported in the archaeological literature, and (2) to introduce new analytical insights derived from recent case studies.

Methodologically, the study combines a GIS-based spatial distribution analysis of known occurrences with compositional characterization through X-ray fluorescence (XRF) of selected slag samples. The XRF results confirm the bloomery (fayalitic) nature of the material and offer valuable observations concerning the direct-reduction technology employed.

Because most of the documented finds originate from surface surveys, the study does not attempt a detailed chronological reconstruction. Instead, it focuses on identifying spatial patterns and on the technological validation of the recorded materials. The resulting dataset reveals several regional concentrations and contributes to defining the metallurgical landscape of Southeastern Transylvania.

This paper underscores the need for more systematic investigations and provides both a methodological baseline and a foundational database for a broader research project currently in development.

1. Introducere

Depresiunile din sud-estul Transilvaniei sunt adeseori amintite în studiile care discută, mai sintetic sau în amănunt, aspecte ale arheometalurgiei fierului pe teritoriul României (László 1975; Glodariu,

Iaroslavschi 1979; Boroffka 1987; Boroffka 1991; Iaroslavschi 1991; Székely 1981; Savu 2014 etc.). Descoperirea unui depozit de obiecte de fier și bronz și a urmelor de producere și prelucrare a fierului în contextul unui posibil atelier în situl fortificat de la Cernat „Vârful ascuțit” (Z. Székely 1966) este reperul obligatoriu pentru toate sintezele care analizează începutul

¹ Muzeul Național al Carpaților Răsăriteni, Sfântu Gheorghe, județul Covasna, danstefan00@gmail.com.

metalurgiei fierului în Europa Centrală și de Est. Prezența urmelor activităților de reducere a minereului de fier și a celor care atestă prelucrarea acestui metal, din preistorie și până în perioada pre-modernă, sunt de asemenea menționate în numeroase rapoarte și sinteze.

Cu toate acestea, fenomenul metalurgiei fierului din această regiune geografică este departe de a fi înțeles. În ciuda evidenței arheologice bogate, datele publicate sunt adesea disperate, provenind majoritar din cercetări de suprafață și lipsind o sinteză spațială modernă. Situația impune, de asemenea, o validare tehnologică a materialului arheometalurgic prin analize compoziționale standardizate.

În prezentul studiu, dorim să contribuim la o mai bună înțelegere a metalurgiei fierului în spațiul geografic anterior definit, printr-un obiectiv dual: (1) sinteză și analiză spațială (GIS) pentru a prezenta o imagine cartografică actualizată, bazată pe un catalog compus din 38 de situri, a activităților de producere și prelucrare a fierului semnalate în regiune; analiza GIS este utilizată pentru a evalua tiparele de distribuție spațială și aglomerările regionale ale siturilor metalurgice; (2) contribuții analitice noi, prin care dorim să validăm tehnologic natura unor eșantioane de zgură provenite din descoperiri recente sau insuficient studiate, cu ajutorul Fluorescenței de Raze X (XRF), precum și o estimare a compoziției mineralogice a eșantioanelor selectate din două situri reprezentative.

Acest pas analitic este important pentru a confirma originea materialelor investigate, respectiv zgură de tip bloomery (zgură faialitică), specifică procesului de reducere directă a minereului de fier (tehnologie folosită din preistorie și până la începutul perioadei moderne), sau materiale care provin din alte activități implicând procese termice intenționate sau accidentale.

Studiul de față este un prim pas către debutul unui proiect interdisciplinar de cercetare mai amplu. Prin centralizarea datelor arheologice și prin analizele de specialitate, ne propunem o primă analiză detaliată a urmelor metalurgiei fierului din sud-estul Transilvaniei și conectarea rezultatelor obținute pe materiale și contexte arheologice de aici cu procesele sincrone din zonele geografice adiacente, oferind în același timp o bază de date fundamentală pentru viitoarele săpături arheologice în zonă.

2. Catalog – urme ale metalurgiei fierului în depresiunile din sud-estul Transilvaniei

Această sinteză cuprinde siturile arheometalurgice (producție și prelucrare a fierului) semnalate în literatura de specialitate, organizate după unitățile administrative.

JUDEȚUL COVASNA (CV)

1. Biborțeni, punct necunoscut

– Mențiunile istorice și cercetările de suprafață indică prezența unor cuptoare de redus minereul de fier, activitatea fiind plasată în preistorie. Orbán 1868-1873: p 215-216; I. Banyai 1938 (citată în Z. Székely 1981: p 32); Crișan 2000: p 26.

2. Bodoc, „Vârful Cetății” („Herec”)

– În interiorul incintei, a fost descoperită zgură alături de fragmente de cărămidă și o monedă de argint, emisiune a regelui Andrei II al Ungariei. Dată probabilă în perioada medievală. Bordi 2024: 79, nr. catalog 8.1.II.A.6.

3. Cernat, „Vârful Ascuțit” („Hegyes”)

– În săpăturile din 1963 din așezarea fortificată au fost descoperite mai multe obiecte de fier: topor cu aripioare, topor bipen, daltă, 12 bare plate și alungite, cuțit curb. În același context sau în contexte apropiate au mai fost găsite zgură de fier, vase ceramice, unele întregi, fragment dintr-o lingură de turnat, și obiecte

te de bronz: două fibule de tip Peschiera și vârf de lance. Secolul X a. Chr. este în general perioada acceptată pentru activitatea metalurgică din așezarea fortificată de la Cernat, dar această datare nu satisface toate informațiile disponibile asupra subiectului. Z. Székely 1966a: p 27, 284; Z. Székely 1966b; Z. Székely 1981: p 31; Crișan 2000: p 29. Ultima analiză la Pare 2025: p 193-196.

4. Chileni, „Platoul cu fragi” de lângă gara CFR – Așezare din perioada post-romană, sec. IV. Aici a fost cercetat un complex delimitat de gropi de par, considerat atelier de redus minereu de fier, în care s-a găsit fundul unui cuptor de redus minereu de fier și zgură. Z. Székely 1994: p 299-304.

5. Covasna, „Pădurea Dobromir” – S-a găsit o cantitate foarte mare de zgură de fier pe un bot de deal în apropierea orașului, indicând o producție intensivă. Bordi 2024: p 197, nr. catalog: 17.II.2.B.3.

6. Doboșeni, „Coada Muntelui” – Săpăturile au relevat două cuptoare circulare de reducere. Inventarul include zgură de fier, lupe (*blooms*), resturi de fier din turnat, și discurile de lut (ușile cuptorului) cu orificiu la mijloc, indicând o cronologie în perioada dacică (sec. III–II a. Chr.). G., I. Ferenczi (ActaMN 1964): p 39-66; Crișan 2000: p 39, 79.

7. Herculan (com. Herculan), „Valea pâraului Tölgyes” – S-au identificat resturi de cuptoare de topit minereuri de fier (două cuptoare de dimensiuni diferite: 160x160 cm și 60x60 cm), zgură, siderit și țevi de lut (*tuyères*). Activitatea se plasează în perioada dacică (sec. III - II a. Chr.), cu posibilă continuare în sec. I a. Chr. - I p. Chr. Z. Székely 1981: p 32-33; Crișan 2000: p 80.

8. Moacșa, Punct necunoscut – S-au descoperit resturile unui cuptor de redus minereu de fier, plasat în Perioada Preromană. Crișan 2000: p 58.

9. Olteni, „Cantonul CFR” – La suprafața sitului a fost găsită zgură de fier alături de fragmente ceramice din peri-

oada dacică și de tip Sântana de Mureș - Cerneahov. Buzea 2006: p 86.

10. Olteni, „Cariera de Nisip” – În unele dintre gropile cercetate au fost documentate aglomerări de zgură de fier, împreună cu resturi de lemn și lut ars, rezultată probabil de la reducerea minereului de fier. Buzea 2006: p 79.

11. Olteni, „Cetatea Fetei” („Leánykavár”) – Sit cunoscut pentru eneolitic și perioada dacică. În nivelul superior a fost descoperită zgură și fragmente de limonit. Datarea activității metalurgice este probabil post-dacică sau medievală, pe baza contextului stratigrafic superior. Bordi 2024: p 88, nr. catalog 8.II.2.A.3.

12. Pădureni (com. Moacșa), „Bobâlna” – Mențiune istorică privind resturile unui atelier de reducere și prelucrare a fierului (sec. I a. Chr. - I p. Chr. ?). G. Téglás 1887 (citată în Z. Székely 1981: p 32); Crișan 2000: p 60, 208.

13. Peteni (com. Zăbala), „Panta cu Mesteceni” – Descoperirile (zgură de fier, bucăți de var, cărbune) indică o prelucrare locală a minereului de fier în sec. IX–VIII î.e.n.. Z. Székely MCA 1979: p 72; Z. Székely 1981: p 31.

JUDEȚUL HARGHITA (HR)

14. Cașinul Nou, „Gura pâraului Szetye” („Szetyepatak töve”) – Au fost culese bucăți mari de zgură provenind de la cuptoare de redus minereul de fier, activitate datată în sec. I a. Chr. - I p. Chr. P. Janos, D. Kovacs 1967: p 43, 219; Crișan 2000: p 28, 207.

15. Cîrța, „Fântâna lui Blasiu” („Balázs kútja”) – Bulgări mari de zgură de fier recoltați în urma lucrărilor agricole; în apropiere a fost găsită ceramică din perioada dacică. P. Janos, D. Kovacs 1967: p 44, 216; Crișan 2000: p 32, 54.

16. Cozmeni, „Lovászker” („Terenul vânătorilor”) – Cercetările de suprafață au adus la lumină fragmente de ceramică, bulgări de zgură și cantități de limonit

(minereu), plasând activitatea în sec. I a. Chr. - I p. Chr. P. Janos, D. Kovacs 1967: 45; Crișan 2000: p 68, 207.

17. Delnița (com. Păuleni), puncte necunoscute – Bucăți de zgură de fier și de bronz pe teritoriul satului. La pășune („Csordajáró”) sunt cunoscute prin cercetări de suprafață și, posibil, săpături de salvare, celturi, un topor de piatră, vase ceramice, fragmente rășniță, obiecte de corn și os. P. Janos, D. Kovacs 1967: p 47, 212; Crișan 2000: p 77, 207.

18. Ineu, în două puncte în apropierea fostului CAP – Zgură de fier alături de ceramică din epoca bronzului și din perioada dacică. Janovits 1999: p 122.

19. Jigodin I (Miercurea Ciuc), (Cetate) – Aici a fost localizat un atelier de prelucrare a metalelor (forjare) lângă zidul nordic, cu zgură de fier și unelte (cuie, dălțițe, se-cure), din perioada dacică (sec. I a. Chr. - I p. Chr.). Crișan 2000: p 86, 210, 212.

20. Jigodin II (Miercurea Ciuc), „Három-tető” („Vârful Harom”) – Au fost descoperite cantități mari de zgură de fier și unelte de fier, datând din Hallstatt și perioada dacică (sec. I a. Chr. - I p. Chr.). Al. Ferenczi 1932-1938: p 249-259; Crișan 2000: p 86, 207.

21. Mădăraș, punct necunoscut – Descoperire de bulgări mari de zgură de fier, activitatea fiind datată în Sec. I a. Chr. - I p. Chr. Janos, Kovacs 1967: p 46; Crișan 2000: p 52.

22. Mihăileni, „Pământul Popii” („Papiföld”) și în diferite puncte la est de sat – Fragmente de vase și bucăți mari de zgură de fier, posibil de la ateliere metalurgice (perioada dacică, sec. I a. Chr. - I p. Chr.). Janos, Kovacs 1967: p 46, 210; Crișan 2000: p 116, 208. Din cercetări de suprafață proprii am găsit cantități mari de zgură pe diferite terenuri, la est de sat.

23. Mihăileni, „Grădina lui Ugron Gabor” (Vatra satului) – Bolovani de zgură de fier, chirpici și un fragment de unealtă din fier, indicând o cronologie extinsă

(Epoca La Tène/Medieval). Janovits 1999: p 233.

24. Misentea (com. Sâncrăieni), „Templontizes” – Atestare de zgură de fier (posibile cuptoare metalurgice) în sec. I a. Chr. - I p. Chr. Crișan 2000: p 117, 207.

25. Păuleni, punct necunoscut – Pe teritoriul satului au fost descoperite mai multe fragmente de zgură, caracteristice pentru reducerea minereului de fier. A fost ilustrat și un fragment de fier. Datare necunoscută. Janos, Kovacs 1967: p 47, un fragment de fier este ilustrat în Pl. XIX, fig. 103.

26. Plăieșii de Jos, punct necunoscut – Bucăți mari de zgură descoperite pe teritoriul satului. Crișan 2000: p 62.

27. Racu, „Câmpul Cetății” (Dealul Bogat) – Prin cercetări de suprafață a fost găsită zgură de fier și lipitură cu urme de bârne și nuiete, în incinta fortificată. Datare în perioada dacică, în sec. II î. Chr. - I p. Chr. Orbán 1868-1873: p 69; Crișan 2000: p 136.

28. Racu, „Cetatea Păgânului” (Racu II) – Săpăturile au scos la lumină unelte de fier (cuțițe, fragment de seceră), fiind o dovadă clară a prelucrării. Perioada dacică sec. II î. Chr. - I p. Chr.). Crișan 2000: p 138.

29. Sâncrăieni, „Fabrica de Căramidă” (Ecken - Tiva) – S-a descoperit un fragment dintr-o placă de lut ars în formă de disc, componentă de cuptor de topit minereu de fier (perioada dacică, sec. II î. Chr. - I d. Chr.). C. Preda 1959: p 830, 831, 833; Crișan 2000: p 73-75; Janovits 1999: p 125.

30. Sânsimion, „Grădina caselor de piatră” („Kőházkert”) – Cantități importante de zgură de fier și resturile unui cuptor de redus minereul, cu disc de formă semi-ovală și orificiu la mijloc, asemănător celui de la Doboșeni. Contextul sugerează o cronologie în perioada dacică (sec. II a. Chr. - I p. Chr.). P. Janos, D. Kovacs 1967: p 48, 222; Crișan 2000: p 162-163, 207; C. Beldiman 1989: p 125-133.

31. Sântimbru (com. Sâncrăieni), „Dealul Mic” („Kishegy”) – S-au recoltat

cantități însemnate de zgură de fier și un fragment de disc de la un cuptor metalurgic (sec. I a. Chr. - I p. Chr.). Crișan 2000: p 165, 207.

32. Șoimeni, „Dâmbul Cetății” – Prin cercetări de suprafață recente (2024-2025) au fost descoperite numeroase fragmente de zgură, inclusiv fragmente perlate și vitrificate, pe malul pârâului. Zgura de fier suprapune cronologic o așezare din epoca bronzului. Cronologia activităților metalurgice nu poate fi precizată, dar este, evident, post-epoca bronzului. Periegează: Dan Ștefan și József Puskás.

33. Șumuleu (Miercurea Ciuc), „Grădina Fodor” („Fodor-kert”) – Cantități însemnate de zgură de fier. Janovits 1999: p 123.

34. Tomești (com. Cîrța) – Cantități mari de zgură în trei puncte din aria satului; fără date. Janos, Kovacs 1967: p 49, 227; Crișan 2000: p 77, 171.

JUDEȚUL BRAȘOV (BV)

35. Bod, la 300 m vest de „Dealul Popilor” – zgură descoperită prin cercetare de suprafață. Periegează Dan Buzea.

36. Augustin-Racoș, „Tipia Ormenișului” și „Valea lui Mihai” / baza Cetății – Urmele activităților metalurgice sunt neclare; zgură descoperită în săpătură, Costea 2004; Costea 2010; Savu 2014: p 92, 265, 308.

37. Mateiaș „În Șipot” – așezare din perioada dacică în care a fost descoperită, în săpături și prin cercetări de suprafață, o mare cantitate de zgură. Costea 2002, Costea 2004, Costea 2010.

38. Râșnov (Punct necunoscut) – Atestări de zgură de fier din periegeze sau săpături punctuale, datând din Perioada Preromană. Savu 2014: p 93, 309; Costea 1989: p 41-66.

3. Distribuția spațială

Siturile în care au fost descoperite urme ale metalurgiei fierului, din preis-

torie și până în zorii perioadei moderne, au fost reprezentate în harta următoare diferențiat: descoperiri de cuptoare și zgură. Cea de a doua categorie cuprinde și fragmente de pereți de cuptor care nu pot fi diferențiate de zgură sau deșeuri eliminate în urma activității de forjare. Pe baza informațiilor disponibile în rapoartele arheologice, cel mai adesea simple mențiuni, orice încercare de a separa mai fin materialele incluse acum în categoria zgură ar fi riscantă.

Cele mai multe dintre descoperiri sunt în depresiunea Ciucului, dar activitatea metalurgică este bine reprezentată și în Depresiunile Sfântu Gheorghe, Baraolt și Târgu Secuiesc.

O perspectivă spațială distinctă asupra organizării producției metalurgice este oferită de harta următoare, în care siturile sunt grupate în clustere evidențiate prin tehnica *heatmap*. Aceste nuclee de densitate maximă (*kernel density estimation*) din sud-estul Transilvaniei pot fi interpretate plauzibil drept micro-zone metalurgice consacrate sau micro-zone în care a existat o tradiție metalurgică.

Reprezentarea cartografică a siturilor metalurgice prin hărți de densitate este fundamentată pe principiile analizei spațiale a teritoriului (*Site Catchment Analysis*). În arheologie, acest model clasic, propus de Vita-Finzi și Higgs (1970) și rafinat ulterior în studiile de *Landscape Archaeology*, postulează că teritoriul unei comunități este definit de „legea minimului efort”, raza de exploatare fiind dictată de bilanțul energetic dintre accesarea resurselor și revenirea la bază.

Pentru prezenta analiză, a fost stabilită o rază de influență (*radius*) de 6 km în jurul fiecărui punct de descoperire, valoare aleasă prin coroborarea factorilor de mediu cu limitările inerente datelor arheologice. În primul rând, metalurgia tradițională este condiționată de proximitatea materiei prime, a apei și, mai ales,

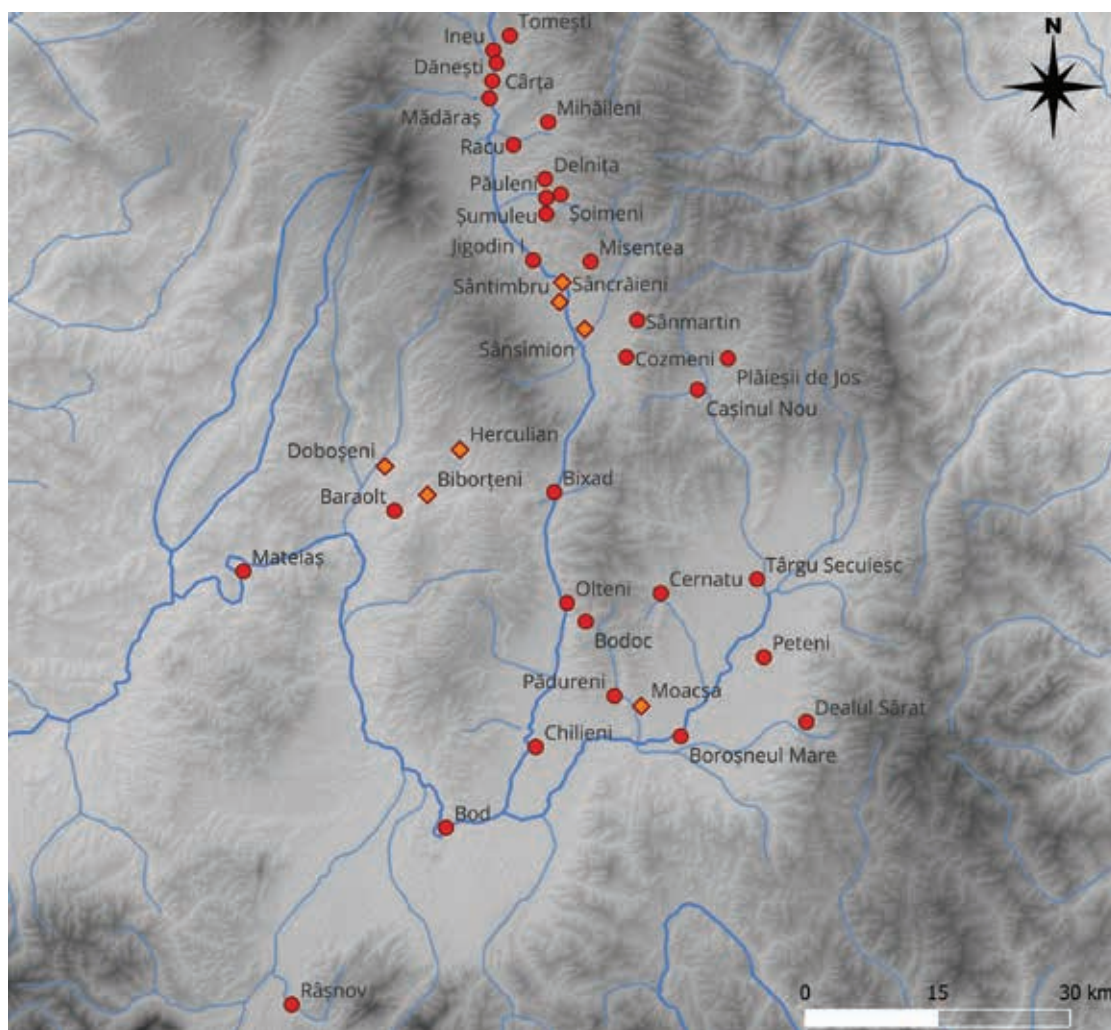


Fig. 1. Distribuția descoperirilor: romb portocaliu – cuptoare; punct portocaliu – zgură de fier.

Fig. 1. Distribution of discoveries: orange diamond – furnaces; orange dot – iron slag.

a combustibilului (cărbone de lemn). Așa cum indică studiile de arheometalurgie (Pleiner 2000: 118), pădurea este resursa cea mai sensibilă la distanță, din cauza volumului foarte mare de masă lemnoasă necesar preparării cărbunelui de lemn. Din punct de vedere logistic, distanța de 6 km corespunde, într-un relief moderat, unui timp de deplasare de aproximativ 1.5-2 ore. Aceasta definește arealul accesibil zilnic fără a necesita tabere sezoniere, integrând metalurgia în ritmul cotidian al așezărilor. De altfel, specificul depresiunilor intra-carpate, caracterizat de o abundență a resursei forestiere, a fa-

vorizat o stabilitate mai mare a atelierelor comparativ cu zonele sărace în lemn.

Totuși, argumentul principal pentru extinderea razei la 6 km – în detrimentul unui radius teoretic mai strict, de ≈ 2 km – este necesitatea unei corecții euristice determinate de caracterul lacunar al datelor. Întrucât zgura este un indicator adesea neraportat în periegheze, iar cuptoarele sunt vizibile aproape exclusiv prin săpături sau eroziune accidentală, lista centrelor metalurgice este inerent incompletă. Un *radius* de 6 km funcționează astfel ca un „buffer de incertitudine”, unificând vizual situri care aparțin aceleiași

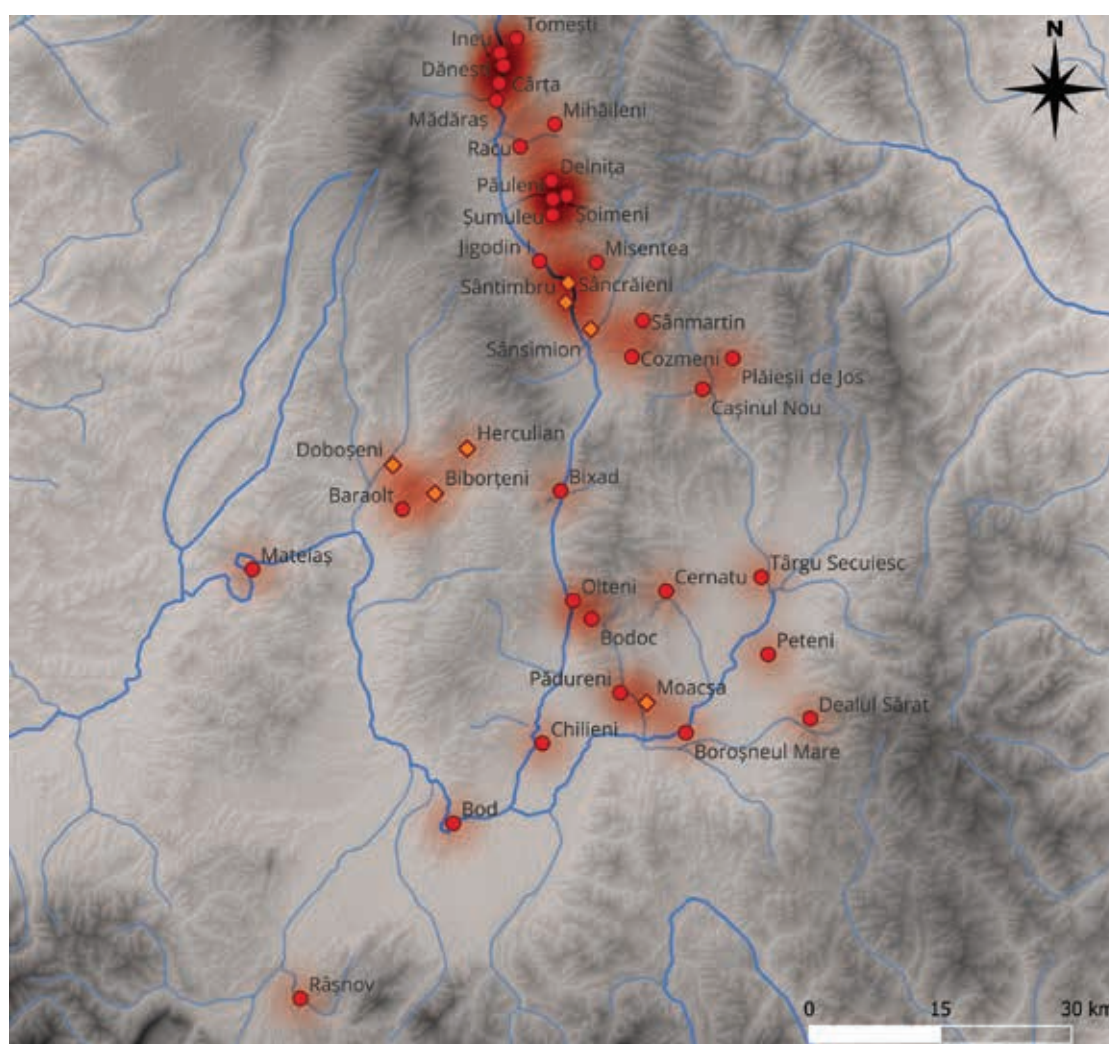


Fig. 2. Activități metalurgice (producție și prelucrare fier) în depresiunile din SE Transilvaniei. Analiză de tip heatmap
Fig. 2. Metallurgical activities (iron production and processing) in the depressions of southeastern Transylvania. Heatmap analysis.

sistem economic și sugerând continuitatea activității în arealele optime, chiar dacă verigile intermediare nu au fost încă descoperite.

Această analiză de densitate constituie un prim pas în identificarea micro-zonelor metalurgice. Cercetările viitoare și rafinarea cronologică a siturilor ar putea să permită trecerea de la evaluarea prin distanța euclidiană la modele mai complexe de analiză de tip *Cost Surface Analysis*. Acestea vor utiliza Modelul Numeric al Terenului (DEM) pentru a integra efortul real de

parcursire a reliefului și ponderea cantitativă a descoperirilor, oferind o imagine și mai fidelă a peisajului industrial istoric.

4. Clarificări asupra cronologiei

Stabilirea unei cronologii detaliate și absolute a activităților de producere a fierului în depresiunile din sud-estul Transilvaniei nu constituie obiectivul principal al acestui articol. Mai exact, datele disponibile nu permit încă acest demers. Pentru a construi o cronologie a activităților metalurgice în depresiunile din SE Tran-

silvaniei, este nevoie de o cercetare mai amplă prin care urmele activităților metalurgice să fie documentate prin săpături arheologice în contexte stratigrafice bine cunoscute. În plus, este necesară analiza cu radiocarbon (C14) a cărbunelui recoltat din vatra cuptoarelor și determinări de arheomagnetism pentru structurile (cup-toare) păstrate in situ, pentru a obține o serie de datări de cronologie absolută. Din acest motiv, tiparele de distribuție în spațiu puse în evidență prin analizele de mai sus trebuie să fie înțelese în primul rând ca micro-zone cu tradiție în metalurgia fierului și mai puțin ca dovezi ale unor centre metalurgice specifice doar unei perioade din trecut.

În catalog au fost menționate indiciile cronologice disponibile. În condițiile în care cele mai multe fragmente de zgură au fost recuperate din cercetări de suprafață, asocierea dintre urmele metalurgice și alte tipuri de materiale (de obicei, fragmente ceramice din una sau mai multe perioade) constituie doar un indiciu. În aceste condiții, activitățile metalurgice documentate pot fi sincronizate cronologic cu una sau unele dintre categoriile ceramice sau pot fi din perioade mai târzii. Un exemplu ilustrativ este la Șoimeni, acolo unde fragmentele ceramice indică o așezare din epoca bronzului în timp ce bulgării de zgură descoperiți printre fragmentele ceramice nu pot fi decât dintr-o perioadă ulterioară.

Chiar și cu limitările cronologice menționate mai sus, studiul de față are meritul de a clarifica numeroase aspecte legate de potențialul metalurgic și de intensitatea activităților de producere și prelucrare a fierului din SE Transilvaniei, oferind în același timp una din explicațiile persistenței ocupării acestui spațiu geografic de comunități umane din preistorie și până în perioada pre-industrială.

5. Contribuții analitice: compoziția geochimică a zgurii

O componentă esențială a studiului de față constă în analiza geochimică a eșantioanelor de zgură. Scopul acestei investigații nu este doar de a cataloga elemente. Unele dintre probe, de exemplu, nu sunt produse secundare ale reducerii minereului de fier (zgură), chiar dacă aspectul lor exterior este identic. Mai departe, dorim să înțelegem procesul metalurgic (reducere vs. forjare), să identificăm tipul de minereu utilizat și să deducem caracteristicile probabile ale produsului finit (fierul).

Un studiu arheometalurgic sistematic, aplicabil ideal siturilor cu contexte stratigrafice intacte (in situ), ar necesita un protocol complex, care să includă, cel puțin:

- Spectrometria cu Raze X (XRF), pentru compoziția elementară a materialului.
- Difrakția cu Raze X (XRD), pentru analiza compoziției mineralogice a zgurii.
- Studiul metalografic la microscop, pentru structura internă.
- Analize de datare absolută (metoda Radiocarbon și/sau Arheomagnetism) aplicate cuptoarelor și cărbunelui.

O astfel de abordare sistematică și cuprinzătoare nu poate fi aplicată decât la o mică parte dintre urmele metalurgice, dat fiind că majoritatea eșantioanelor disponibile provin din cercetări de suprafață (periegheze) sau colecții muzeale cu context limitat.

Din acest motiv, studiul de față este un prim pas către un protocol analitic scalabil și non-invaziv, care are ca pivot central Spectrometria cu Raze X Portabilă (pXRF). Această metodă oferă o modalitate rapidă și eficientă de caracterizare a compoziției elementare (macro- și microelemente) pentru un număr mare de eșantioane. Pe baza acestor date, se poate realiza o estimare validă a compoziției mineralogice a zgurii (în special raportul dintre oxizii de fier și oxizii de siliciu), esențială pentru a confirma natura sa de zgură de tip *bloo-*

metry (faialitică), specifică reducerii directe a fierului. Analizele suplimentare, mai laborioase, urmează a fi realizate pentru un eșantion restrâns și selectat pe baza relevanței.

În cele ce urmează, ca prim pas demonstrativ al protocolului, prezentăm rezultatele analizei pXRF pentru două eșantioane arheologice:

- Șoimeni, jud. Harghita, „Dâmbul Cetății”: Eșantion recoltat dintr-un sit care a fost de curând descoperit (cercetări de suprafață József Puskás, Dan Buzea, Dan Ștefan), aflat la mai puțin de 1 km de situl cunoscut de la Păuleni-Ciuc „Dâmbul Cetății”. Contextul arheologic indică o suprapunere problematică: fragmente ceramice din epoca bronzului la suprafață alături de o mare cantitate de zgură de fier, impunând o analiză chimică pentru clarificarea naturii acestei activități meșteșugărești mai târziu.

- Dealul Sărat, jud. Covasna (Vestul orașului Covasna): Au fost investigate trei eșantioane dezvelite prin săpături arheologice sistematice, oferind un context stratigrafic mai sigur pentru validarea tehnologiei de reducere. Aspectul vizual, morfologic și textural al probelor (bulgări duri formați dintr-un amestec sinterizat, parțial vitrificat, cu zone de culoare roșie și brună) sugerează prezența zgurii de fier. O observație atipică, relevantă pentru înțelegerea instalației, este fuziunea parțială dintre matricea sinterizată/vitrificată și fragmente de rocă locală care nu au suferit transformări profunde. Acest aspect sugerează că materialul aflat la temperatură înaltă a curs rapid peste fragmente din roca locală a vetrei.

- Bod, jud. Brașov. Eșantion recoltat dintr-o zonă situată la 300 m vest de situl de la Dealul Popilor. Situl este menționat în repertorii pentru urme arheologice preistorice, din perioada dacică, din perioada romană și post-romană. Au fost investigate două eșantioane de zgură. Aspectul vizual, morfologic și textural al probelor

este acela al unor bulgări duri formați dintr-un amestec sinterizat, parțial vitrificat, cu zone de culoare roșie și brună.

5.1. Metodologia de analiză (pXRF)

Spectrometrele portabile de fluorescență de raze X (pXRF) moderne oferă performanțe la nivelul multor echipamente de laborator din generațiile mai vechi. Noua generație de detectoare pe bază de siliciu (*Silicon Drift Detectors* – SDDs), cu suprafețe mari, asigură o sensibilitate suficientă pentru a detecta și cuantifica elementele ușoare, începând cu magneziul ($Z \geq 12$). O altă caracteristică importantă este operarea cu fascicol îngust, de 3.5 mm, față de echipamentele mai vechi cu fereastră de 8÷10 mm. În sfârșit, tuburile moderne de raze x asigură caracteristici de excitare de până la 55 keV (la o putere de până la 5W), suficiente pentru a pune în evidență cele mai multe dintre elementele grele (*rare earth elements* – REE).

Pentru studiul nostru, analizele compoziționale au fost efectuate cu un spectrometru portabil de fluorescență de raze X (pXRF), model SciAps X-200. A fost utilizată o strategie analitică cu fascicul dublu pentru o cuantificare optimă a unui spectru larg de elemente: 40 keV, pentru detectarea și măsurarea precisă a elementelor de tranziție și a elementelor grele (de la Ti la U) și 10 keV, fascicul optimizat specific pentru detectarea și cuantificarea elementelor ușoare (Mg, Al, Si, P, S, K, Ca).

Analiza spectrelor (*fitting* și deconvoluție) a fost realizată prin metoda parametrilor fundamentali (*fundamental parameters* – FP) cu ajutorul aplicației pyMCA, folosită standard în cele mai multe laboratoare pentru analiza spectrelor de fluorescență. Mai departe, compozițiile au fost ajustate în baza unei serii de materiale de referință (*Standard Reference Material* – SRM) ce au inclus mai multe varietăți de oxizi de fier, oțel carbon, oțeluri slab aliate, oxizi de siliciu și aluminiu.

5.2. Compoziția zgurii și estimarea mineralogică pentru eșantionul de la Șoimeni

5.2.1 Analiza chimică și estimarea mineralogică

Pentru a asigura relevanța datelor și a elimina contaminarea de suprafață sau crustele de alterare, măsurătorile au fost realizate direct pe o secțiune proaspătă a eșantioanelor. Această pregătire mini-

mă, dar esențială, garantează că analiza reflectă compoziția internă, sticloasă sau microcristalină, a zgurii așa cum s-a solidificat la momentul producerii.

Analiza zgurii de la Șoimeni a relevat o compoziție dominată de oxizi de fier și silicați, tipică pentru zgurile provenite din procese de reducere directă (tip *bloomery*).

Compoziția elementară brută, relevantă pentru matricea zgurii, este prezentată în Tabelul 1.

Element	Procent (%)	Rolul probabil în zgură
Fe	57.86	Matrice (FeO), Wüstit, Fier metalic (prins)
Si	18.56	Matrice (SiO ₂), Formator de Fayalit
Al	6.14	Matrice (Al ₂ O ₃), Hercynit, Faze sticloase
Ca	4.56	Fondant (CaO), Faze sticloase
Mn	2.35	Oxid (MnO), se distribuie atât în zgură cât și în nucleul metalic
K	1.15	Fondant (K ₂ O), Faze sticloase
Mg	0.85	Fondant (MgO), Faze sticloase
P	0.17	Impuritate (P ₂ O ₅), se distribuie atât în zgură cât și în nucleul metalic
Ti	0.12	Impuritate (probabil TiO ₂)
LE	8.15	Elemente ușoare (C, O, H) - necuantificate

Tabelul 1. Compoziția chimică și estimarea mineralogică pentru eșantionul de la Șoimeni.

Table 1. Chemical composition and mineralogical estimation for the Șoimeni sample.

Din punct de vedere stoichiometric, compoziția sugerează o matrice dominată de fayalit (Fe₂SiO₄), format prin reacția dintre SiO₂ (provenit din ganga minereului) și FeO (oxid de fier).

Conținutul extrem de ridicat de fier (57.86%) indică o eficiență scăzută a reducerii, o caracteristică a cuptoarelor antice, unde o cantitate semnificativă de fier rămâne în zgură sub formă de wüstit (FeO) sau este prinsă în matricea de fayalit. Prezența Aluminiului (6.14%) sugerează, de asemenea, formarea unor spineli, cel mai probabil hercynit (FeAl₂O₄).

Elementele precum Calciul (CaO), Potasiul (K₂O) și Magneziul (MgO) acționează

ca fondanți (fluxuri). Chiar dacă prezența CaO (4.56%) nu pare intenționată (nefiind la nivelul zgurilor romane, de exemplu), prezența sa, alături de ceilalți oxizi alcalini și alcalino-pământoși, contribuie la scăderea temperaturii de topire (eutectic) și la reducerea vâscozității zgurii, facilitând separarea acesteia de masa de fier redus (*luppa*).

5.2.2 Estimări privind minereul și produsul final

Profilul geochemic al zgurii oferă indicii valoroase despre natura minereului utilizat. Conținutul relativ ridicat de Mangan (Mn, 2.35%) și Fosfor (P, 0.17%), corelat

cu un conținut foarte scăzut de Titan (Ti, 0.12%) și Nichel (Ni, 0.01%), este puternic sugestiv pentru utilizarea limonitului (amestec de oxizi de fier) sau a sideritului (carbonat de fier), dar și a fierului de mlaștină (*bog iron*).

Minereurile metamorfice sau eruptive (ex. magnetit din zăcămintele de ilmenit sau *skarn*²) ar prezenta, de regulă, concentrații mult mai ridicate de Titan, Vanadiu sau Nichel.

Deși zgura reprezintă deșeurile în procesul de reducere a materiei prime, compoziția sa permite inferențe asupra caracteristicilor metalului produs. Printr-o recalculare a compoziției (prezentată anterior), eliminând elementele asociate strict matricei sterile a zgurii (Si, Al, K, Mg, Ca, Ti, S) și normalizând elementele metalurgice-actives (Fe, Mn, P, V, Ni), obținem un proxy pentru compoziția aliajului.

Această normalizare indică un metal cu un conținut ridicat de Mangan (aprox. 3.9%) și un conținut semnificativ de Fosfor (aprox. 0.28%). Un astfel de conținut de fosfor ar fi clasificat metalul ca fiind un fier fosforos, casant la rece (*cold-short*), dar care prezintă avantaje în prelucrarea la cald și sudarea prin forjare, proprietăți exploatate adesea de făurarii antici.

5.3. Analiza fragmentelor vitrificate de la Covasna, „Dealul Sărat”

În situl de la „Dealul Sărat” (Covasna) au fost identificate, atât la suprafață cât și în săpătură, mai multe fragmente litice (bolovani) cu aspectul specific pentru zgură. Au fost selectate trei probe recoltate din săpătură, denumite DS1, DS2 și DS3. Totuși, contextul arheologic nu a permis o atribuire cronologică certă, lăsând deschisă problema atât a naturii, cât și a epocii activităților pirotehnologice care au generat aceste materiale. Bolovanii măsurați prezintă un aspect exterior de zgură (tex-

tură neregulată, zone sinterizate și incluziuni sticloase/vitrificate), o observație care, în mod tradițional, ar sugera o activitate metalurgică. Având în vedere aspectul macroscopic menționat, am încercat să aflăm mai multe despre compoziția geo-chimică a probelor, folosind datele XRF și estimarea analitică a profilului geo-chimic, pentru a determina în mod obiectiv natura materialului și, potențial, originea acestuia, testând ipoteza unei producții de fier.

Protocolul de analiză a fost identic cu cel utilizat pentru proba de la Șoimeni, folosind spectrometrul SciAps X-200 în mod de măsurare cu fascicul multiplu (40 keV și 10 keV), pentru a asigura o cuantificare robustă atât a elementelor grele, cât și a celor ușoare.

O diferență metodologică importantă constă în faptul că măsurătorile au fost efectuate direct pe suprafața eșantioanelor. Deși s-a utilizat un stand de măsură pentru stabilitate și au fost alese zone compacte, omogene și nealterate vizibil, această abordare (măsurare la suprafață, fără secțiuni proaspătă) expune analiza la întreaga istorie post-depozițională a artefactului. Suprafața acestor probe este interfața directă cu mediul de îngropare (solul), fiind supusă proceselor de alterare chimică. Aceste procese pot include dizolvarea și levigarea (spălarea) elementelor mobile (precum K, Ca, Mn) sau, invers, precipitarea și îmbogățirea secundară cu elemente din soluția solului (ex. oxizi de fier, carbonați).

5.3.2. Compoziție geo-chimică și analiză statistică

Au fost efectuate câte două măsurători (m1, m2) pe eșantioanele DS1 („zona roșiatică”) și DS2, și o măsurătoare pe DS3 („zona albă”). Datele obținute relevă o compoziție radical diferită de cea a oricărei zguri metalurgice cunoscute.

Statisticile descriptive pentru elementele majore și de tranziție sunt agregate în

² Skarn – rocă metamorfică de contact formată la interfața dintre magme și roci carbonatate.

Tabelul 2. Se poate observa o heterogenitate chimică pronunțată în DS1 (ex. deviații standard mari pentru Al și Fe), sugerând o textură neomogenă sau o alterare neuni-

formă. În contrast, DS2 prezintă o stabilitate chimică mult mai mare între cele două puncte de măsură (ex. deviații standard mici, valoare identică pentru Ca).

Eșan- tion	Statis- tică	LE (Balans)	Si	Al	Fe	K	Ca	Mn
DS1 (n=2)	Media	77.57	13.20	5.05	2.45	0.83	0.56	0.08
	Dev. Std.	7.33	1.94	3.25	1.75	0.18	0.15	0.003
	Interval	72.38 - 82.75	11.83 - 14.57	2.75 - 7.35	1.21 - 3.68	0.70 - 0.95	0.45 - 0.66	0.081 - 0.085
DS2 (n=2)	Media	62.18	23.60	8.30	2.47	1.19	0.66	0.89
	Dev. Std.	3.30	3.42	0.64	0.37	0.13	0.00	0.22
	Interval	59.85 - 64.51	21.18 - 26.01	7.85 - 8.75	2.21 - 2.73	1.10 - 1.28	0.66 - 0.66	0.73 - 1.04
DS3 (n=1)	Valoare	62.17	27.96	5.31	1.47	1.37	1.22	0.07

Tabelul 2. Statistici descriptive (medie, deviație standard, interval) pentru compoziția eșantioanelor de la „Dealul Sărat” (pXRF, % masic).

Table 2. Descriptive statistics (mean, standard deviation, range) for the composition of the samples from “Dealul Sărat” (pXRF, wt%).

Analiza datelor din Tabelul 2 conduce la trei observații fundamentale care infirmă ipoteza inițială. Bulgării vitrificați recoltați din săpăturile de la „Dealul Sărat” nu sunt produse secundare ale metalurgiei fierului (zgură).

1. Problema „LE” (Elemente Ușoare)

Cea mai vizibilă caracteristică este procentul masiv de „LE” (*light elements*, elemente cu $Z < 12$, raportate de software ca „balans”), care variază între 59% și 83%. Acest balans reprezintă masa compusă din elemente pe care pXRF nu le poate cuantifica (Oxygen, Carbon, Hidrogen).

O alocare stoichiometrică a Oxigenului pentru formarea oxizilor (ex. SiO_2 este ~53% O ca masă, Al_2O_3 este ~47% O) este insuficientă. Chiar dacă am presupune că toate elementele măsurate (Si, Al, Fe, K, Ca) sunt prezente ca oxizi, cantitatea de Oxigen necesară nu poate justifica

un balans atât de mare. Rezultă un exces de „LE” de peste 30-50%, care indică o prezență masivă fie de Carbon (C) (in-vizibil pentru XRF), fie, mult mai probabil, de compuși hidratați (H_2O , OH) rezultați dintr-o alterare chimică intensă.

2. Conținutul redus de Fier (Fe) și Calciu (Ca)

Spre deosebire de zgura fayalitică „Șoimeni” (57.8% Fe), eșantioanele „Dealul Sărat” prezintă un conținut de fier extrem de scăzut (medii de 2.45% Fe). Acest nivel este similar cu cel al crustei terestre obișnuite și exclude categoric o origine în reducerea directă (*bloomery*) a fierului, un proces care necesită un exces de FeO (wüstit) pentru a forma o zgură fluidă la ~1200°C.

De asemenea, ipoteza unei zguri moderne (tip furnal înalt, caracteristică pentru metalurgia modernă, sec. XVI-XVIII) este infirmată. Deși acele procese produc

zguri cu Fe scăzut (sub 2%), ele o fac prin reducerea totală a fierului la fontă lichidă, un proces care necesită temperaturi mai mari și adăugarea masivă de fondant (calcar). Rezultatul este o zgură calciu-silicatică, dominată de CaO (adesea 30-50%). Probele noastre, cu sub 1.3% Ca, sunt complet incompatibile cu această tehnologie.

3. Ipoteză: Material refractar (argilă arsă) cu alterare post-depozițională

Compoziția chimică este dominată de Siliciu (Si) și Aluminiu (Al), cu un aport secundar de Potasiu (K). Aceasta este amprenta geochemică clasică a unui aluminosilicat (o argilă sau un lut), utilizat frecvent ca material de construcție refractar.

Natura dură, sinterizată și vitrificată a eșantioanelor nu este contradictorie cu această ipoteză; dimpotrivă, ea sugerează că materialul argilos a fost supus unei **activități pirotehnologice intense**, la temperaturi de peste 900-1000°C, suficiente pentru a provoca o topire parțială (vitrificare).

Propunem următoarea ipoteză sintetică:

Eșantioanele DS1, DS2 și DS3 nu sunt zguri metalurgice, ci, cel mai probabil, fragmente de material refractar (ex. pereți de cuptor) sau de structură din pământ (ex. chirpici, vatră) care a suferit o ardere la temperatură înaltă (ex. cuptor de ceramică, cuptor metalurgic, sau un incendiu violent).

Compoziția chimică bizară, în special procentul uriaș de LE, este interpretată ca un rezultat combinat al:

- Impregnării cu Carbon (C) în timpul procesului de ardere. Prezența carbonului ar sugera o atmosferă reducătoare în interiorul structurii pirotehnologice (ex. funingine, particule de cărbune prinse în matrice).
- Alterării post-depoziționale (hidratare). Sticla aluminosilicatică formată la temperatură înaltă este, prin natura sa, in-

stabilă chimic în sol pe termen lung. De-a lungul timpului, aceasta a suferit un proces de devitrificare și hidratare, reintroducând masiv H și O (H_2O , grupări OH) în structura sa, ceea ce explică balansul „LE” anormal de ridicat și compoziția „spălată”.

4.3.3. Concluzii preliminare referitoare la probele de la „Dealul Sărat”

Deși macroscopic se aseamănă cu zgura, analiza geochemică pXRF infirmă categoric originea acestor materiale în procesul de reducere a fierului. Ele nu sunt un produs secundar metalurgic, ci mai degrabă dovezi ale unei alte activități pirotehnologice care a implicat temperaturi înalte (ex. construcția cuptoarelor, arderea ceramicii, un incendiu de proporții).

Compoziția lor actuală este un palimpsest: o suprapunere între materialul original (argilă), transformările suferite la temperatură înaltă (vitrificare) și o alterare chimică severă survenită în sol. Aceste eșantioane sunt cruciale tocmai pentru că demonstrează riscul interpretărilor bazate exclusiv pe aspectul macroscopic și subliniază necesitatea analizei geochemice în caracterizarea siturilor arheologice pirotehnologice.

3.4. Avantajele protocolului multifascicul

Adoptarea unui protocol cu fascicul dublu (Dual Beam) nu este trivială, ci esențială pentru caracterizarea zgurilor.

- Fasciculul de 40 keV asigură excitația optimă și cuantificarea precisă a elementelor de tranziție care definesc amprenta minereului (ex. Fe, Mn, Ni, V).
- Fasciculul de 10 keV este specific proiectat pentru a crește dramatic sensibilitatea pentru elementele ușoare (Mg, Al, Si, P, K, Ca).

Fără acest al doilea fascicul de joasă energie, cuantificarea elementelor care formează peste 30% din matricea zgurii (silicații, aluminații și fondanții) ar fi extrem de imprecisă. Doar prin combinarea

celor două fascicule putem obține o imagine completă, permițând caracterizarea simultană atât a „rețetei” metalurgice (raportul $\text{SiO}_2/\text{FeO}/\text{CaO}$), cât și a sursei minereului (amprenta elementelor trasoare, cum ar fi Mangan/Fier sau Vanadiu/Nichel).

4.4. Analiza Zgurii de la Bod, „Dealul Popilor” (jud. Brașov)

Un al treilea studiu de caz a vizat o probă recoltată din situl Bod, „Dealul Popilor”. Spre deosebire de cazul anterior („Dealul Sărat”), analiza pXRF a confirmat aici na-

tura metalurgică a eșantionului, însă cu caracteristici geochemice distincte față de zgura de la Șoimeni.

Pentru caracterizarea acestui eșantion, s-au utilizat două moduri de calibrare: „Geochem” (3 fascicule cu energiile de 10 kV, 40 kV și 50 kV) și „Alloy” (2 fascicule cu energiile de 9 kV și 40 kV). Deoarece zgura este, din punct de vedere chimic, un amestec de oxizi și silicați și nu un aliaj metalic, datele din modul Geochem (prezentate în Tabelul 3) vor fi considerate de referință pentru matricea probei.

Element	Procent (%)	Observații
Fe	48.91	Conținut ridicat, confirmă zgura de fier (dar mai scăzut decât la Șoimeni)
Si	27.09	Conținut ridicat, indică o matrice bogată în silicați
Al	11.34	Foarte ridicat. Indică o zgură refractară/vâscoasă
Ca	2.52	Din materialul folosit ca fondant
K	2.05	Fondant (posibil din cenușă sau argilă)
P	1.98	Foarte ridicat (ar putea fi un indicator pentru minereu tip <i>bog iron</i>)
Mg	1.73	Din materialul folosit ca fondant
Mn	0.58	Mai scăzut comparativ cu Șoimeni
Ti	0.54	Impuritate
LE	2.42	Balans redus, indică o zgură compactă, puțin hidratată

Tabelul 3. Compoziția chimică și estimarea mineralogică pentru eșantionul de la Bod, „Dealul Popilor” (jud. Brașov).

Table 3. Chemical composition and mineralogical estimation for the sample from Bod, "Dealul Popilor" (Brașov County).

Analiza eșantioanelor de zgură de la Bod indică o zgură de tip *bloomery* (reducere directă), dar cu o „amprentă” chimică net diferită de cea de la Șoimeni.

Matrice Alumino-Silicatică: Diferența majoră constă în conținutul ridicat de Aluminu (Al 11.3%) și Siliciu (aprox. 27.1%), mult peste valorile de la Șoimeni (Al 6%, Si 18%). Aceasta sugerează fie utilizarea unui minereu cu o gangă argiloasă (bogată în alumino-silicați), fie o interacțiune chimică puternică între zgură și pereții cuptorului (care au fost topiți și absorbiți în zgură). O concentrație mare de alumină (Al_2O_3)

crește vâscozitatea zgurii și temperatura de topire, ceea ce ar fi necesitat temperaturi de operare mai ridicate în cuptor.

Indicatorul de Minereu (Fosforul): Conținutul de Fosfor (P 1.98%) este extrem de ridicat (de aproape 10 ori mai mare decât la Șoimeni). Acesta este un indicator puternic al utilizării unui minereu de mlaștină (*bog iron ore*) bogat în vivianit sau fosfați de fier. În procesul de reducere directă de tip *bloomery*, o mare parte din fosfor trece în zgură, dar o cantitate semnificativă intră și în fier. Putem estima că fierul produs la Bod a fost unul bogat

în fosfor („fier dur”), care este mai dur, dar mai casant la rece.

Metale Urme: Prezența Vanadiului (V 143 ppm) și a Plumbului (Pb 700 ppm) completează profilul geochimic, putând servi pe viitor la identificarea sursei exacte a minereului, odată ce vor fi disponibile analize geologice ale zăcămintelor locale.

5. Discuții și concluzii

Din punct de vedere al distribuției în spațiul geografic analizat, urmele metalurgiei fierului se regăsesc în numeroase dintre siturile arheologice de multă vreme cunoscute și cercetate, mai mult sau mai puțin intens, din cele trei județe care compun zona geografică analizată. Mai mult, din analiza hărților putem recunoaște micro-zone în care urmele metalurgice formează clustere pe care le putem asocia cu zone mai bogate în materie primă, dar și cu existența unor comunități care s-au specializat în activități metalurgice.

La fel de importantă este nu doar evaluarea zonelor cu intense urme ale metalurgiei fierului, dar și a zonelor în care aceste urme lipsesc. Astfel, chiar dacă apar în numeroase situri, fragmentele de cuptoare și zgura nu sunt o constantă obligatorie în toate micro-zonele și toate siturile cunoscute. De exemplu, în zona arheologică care se întinde de-a lungul Oltului de la Sfântu Gheorghe, Arcuș și Ghidfalău, având în centru nucleul de descoperiri din punctul Bedeháza nu au fost raportate urme de cuptoare de redus minereu sau zgură de fier, chiar dacă aici s-au adunat deja suprafețe însemnate cercetate sistematic sau prin proiecte de arheologie preventivă. Aceeași constatare o avem și pentru siturile din zona Reci, microzona definită de centrul fortificat de la „Cetatea Zânelor” de la Covasna sau estul extrem al depresiunii Târgu Secuiesc, și exemplele pot continua. Aceasta întărește și mai mult ipoteza că urmele metalurgiei sunt vizibile acolo unde există materie primă

accesibilă (depozite de limonit, siderit sau, posibil, fier de mlaștină), combustibil lemnos și surse de apă. Pentru o corelare mai bună între sursele de materie primă și centrele metalurgice este necesar un studiu geologic aprofundat și nuanțat – sursele minerale nu trebuie doar să fie puse în evidență, dar accesibilitatea lor pentru exploatarea pre-industrială trebuie dovedită. La fel de importantă este și corelarea, într-o etapă viitoare a cercetării, dintre activitățile metalurgice bronz și fier și analiza complementarității dintre sursele accesibile de sare și minereurile metalifere, fie acestea cupru, staniu, zinc sau fier (vezi și Kavruk et al 2017).

O altă caracteristică a cercetărilor referitoare la arheometalurgia fierului este studiul proprietăților fizico-chimice ale structurilor descoperite in situ și probelor recoltate. Un proces analitic elaborat, bazat pe investigații complexe, ar fi un demers ideal, dar posibil foarte greu de pus în practică. Din acest motiv, în acest studiu am încercat o abordare care ar putea funcționa în condițiile în care profilul probelor ar putea fi tipologizat pe baza unor amprente (*fingerprints*) ușor de recunoscut prin spectrometria de raze X portabilă (pXRF), posibil a fi completată, după parcurgerea unui proces laborios de definire de standarde de referință de materiale (CRM), prin spectrometrie de defalcare indusă laser (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy – LIBS), metodă la fel de accesibilă, care ar putea oferi analize complementare în domeniul elementelor ușoare (H, O, C, N), date esențiale pentru o mai bună estimare a profilului geochimic al probelor. O condiție esențială pentru succesul definirii unui protocol analitic simplificat îl constituie etapa în care un număr redus de eșantioane reprezentative selectate din probele disponibile să fie determinate prin metode complexe de laborator (chimie umedă, metalografie, XRD, CP, ICP-MS etc.).

Pentru început, a fost prezentat rezultatul spectrometriei cu raze X și interpretarea posibilă pentru probele recoltate din siturile de la Șoimeni, Covasna „Dealul Sărat” și Bod „Dealul Popilor”, evidențiind contrastul de proprietăți fizico-chimice între ele. În primul caz, profilul geo-chimic estimat corespunde compoziției cunoscute pentru zgura faialitică, caracteristică proceselor tradiționale de reducere a minereului de fier în cuptoare de tip *bloomery*. În cel de-al doilea caz, probele analizate provin de la activități diferite, în care un material de tipul argilei s-a scurs la temperatură înaltă peste bolovani din roca locală. Estimăm că acest prim rezultat dovedește că elaborarea unui proto-

col de analiză simplificat ar putea aduce suficiente beneficii pentru a clasifica materialele descoperite, păstrând demersul interdisciplinar accesibil din punct de vedere al logisticii și timpului alocat.

Studiul de față este un inventar preliminar al cunoștințelor disponibile referitoare la urmele arheologice ale metalurgiei fierului în depresiunile din sud-estul Transilvaniei și o primă încercare de studiu analitic a probelor recoltate. În acest fel, acest demers ar putea fi debutul anunțat pentru un proiect de cercetare mult mai amplu în domeniul arheometalurgiei fierului din acest spațiu geografic, cu o eventuală extindere comparativă la regiunile geografice adiacente.

Bibliografie / Bibliography

Bordi Z. L., 2024. Repertoriul arheologic al județului Covasna. Mega, Cluj-Napoca.

Boroffka N., 1987. Folosirea fierului în România de la începuturi până în sec. VIII î.e.n., *Apulum*, XXIV: 55-77.

Boroffka N., 1991. Die Verwendung von Eisen in Rumänien von den Anfängen bis in das 8. Jahrhundert v. Chr., Vortrag gehalten zu Ehren von DR. JOHN ALEXANDER auf dem Symposium EUROPE IN THE 1st MILLENIUM B.C. New Work 3rd - 4th April 1986 Institute of Archaeology, Oxford, publicat în fascicul, Berlin.

Buzea D., 2006. Descoperirile arheologice de la Olteni, jud. Covasna, *Corviniana X*: 67-122.

Costea F., 2002. Dacii din sud-estul Transilvaniei înaintea și în timpul stăpânirii romane, Ed. C2Design, Brașov.

Costea F., 2010. Din nou despre centrul de putere al dacilor din Defileul Oltului din Munții Perșani, județul Brașov, *Sargetia. Acta Musei Devensis*, I, sn: 71-86.

Glodariu I., Iaroslavschi E., 1979. Civilizația fierului la Daci, Cluj Napoca.

Iaroslavschi E., 1981. Tehnica la Daci, Cluj Napoca.

János P., Kovács, D. 1967. Perieghetză arheologică în bazinul Ciucului, *Studii și Materiale Târgu Mureș*, 2: 43-51.

Jánovits I, 1999. Noi perieghetze arheologice din depresiunea Ciucului, *Angustia* 4: 121-150.

Kavruk V., Ștefan M.-M., Buzea D., Ștefan D., Bordi Z.L. 2017. Towards an archaeological and ethnographic network analysis of salt supply routes in southeastern Transylvania, *Istros* 23: 381-430.

László A. 1975. Începuturile metalurgiei fierului pe teritoriul României. *SCIVA*, 26(1), 17-39.

Pleiner R. 2000. Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters. Praha: *Archeologický ústav AVČR*.

Savu L., 2014. Relația dintre prezența resurselor solului și subsolului și gradul de dezvoltare al bazinului transilvănean al Oltului (sec. IV îHr – î dHr), *Arheovest* II2: 677-714.

Soroceanu, T. 1995. Die Fundumstände bronzzeitlicher Deponierungen – Ein Beitrag zur Hortdeutung beiderseits der Karpaten, in T. Soroceanu (ed.), *Bronzefunde aus Rumänien*: 15-80. Berlin: Wissenschaftsverlag Volker Spiess.

Ștefan M.-M., Ștefan D., Buzea D.-L., 2015. Un nou punct fortificat în peisajul arheologic al secolelor I a. Chr.-I p. Chr. în zona Jigodin–Harghita în estul Transilvaniei, *Istros*, XXI: 499-535.

Ștefan M.-M., Ștefan D., Buzea D., 2015. From Sites to Landscapes in Late Second Iron Age Eastern Transylvania. New Perspectives on the Fortified Sites from Jigodin, *Ephemeris Napocensis* XXV: 21-42.

Székely, S. 1959. Raport preliminar asupra sondajelor executate de Muzeul Regional din Sf. Gheorghe în anul 1956, *Materiale și cercetări arheologice* 5: 231-245.

Székely, Z. 1966a. Așezări din prima vârstă a fierului din sud-estul Transilvaniei, Sf. Gheorghe, 1966.

Székely, Z. 1966b. Beiträge zur Kenntnis der Frühhallstattzeit und zum Gebrauch des Eisens in Rumänien. *Dacia* 10: 209-219.

Székely, Zoltán 1981. Contribuție la studiul prelucrării fierului la dacii din sud-estul Transilvaniei, *Aluta* XII-XIII: 31-36.

Vita-Finzi C, Higgs ES, Sturdy D, Harriss J, Legge AJ, Tippet H, 1970. Prehistoric Economy in the Mount Carmel Area of Palestine: Site Catchment Analysis. Proceedings of the Prehistoric Society, 36:1-37.

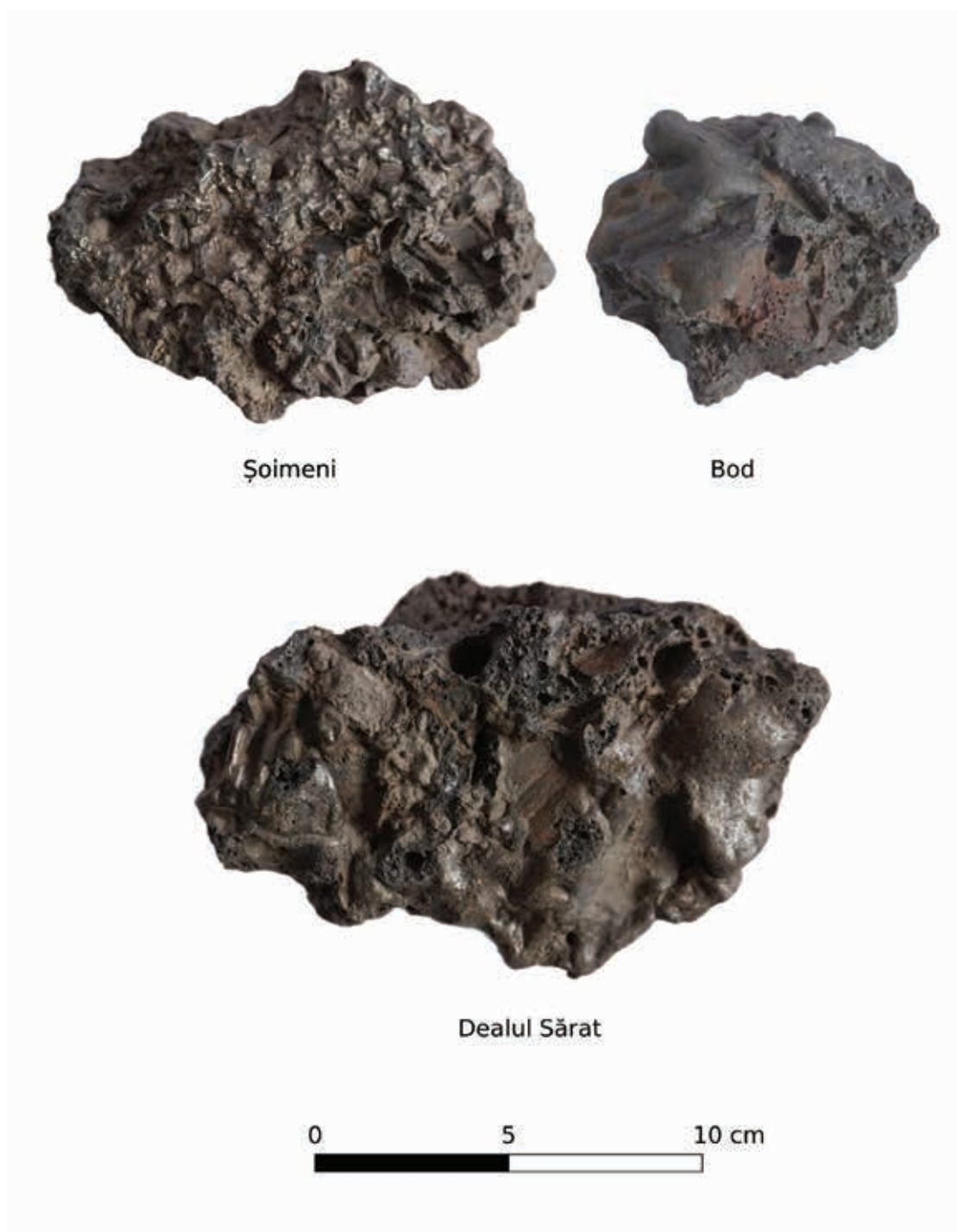


Fig. 1. Zgură recoltată de la Șoimeni, jud. Harghita (sus) și Bod, jud. Brașov (mijloc). Argilă vitrificată recoltată din săpăturile de la Covasna, „Dealul Sărat”, jud. Covasna (jos).
Fig. 1. Slag collected from Șoimeni, Harghita County (top) and Bod, Brașov County (middle). Vitrified clay recovered from the excavations at Covasna, “Dealul Sărat”, Covasna County (bottom).