

ACTIVITĂȚI METALURGICE LA POROLISSUM (MOIGRAD)

Materialul documentar adus la analiză de către Nicolae Gudea, cercetător la Institutul de Arheologie din Cluj-Napoca, este deosebit de interesant, variat și bogat. Nenumăratele probe, totalizând 93 kg, sînt formate din zguri metalurgice în bulgări sau calote de diferite dimensiuni; din fragmente de fer metal, fie în blocuri masive fie dispersate în zgură; din minereuri de fer formate din bucăți de limonit brun, spongios; din fragmente de mangal (cărbune de lemn) incrustate în zgură și în aliajul de fer-carbon; din fragmente numeroase și variate de obiecte metalice, din fer, cupru și alte metale.

Mai amintim apoi cioburile de creuzete refractare folosite la elaborarea metalelor neferoase: cupru, plumb și zinc. Din cioburile acestea s-au păstrat părți acoperite cu oxizi, carbonați bazici sau silicați hidratați ai neferoaselor, cu ajutorul cărora s-au identificat elementele amintite.

Un rol important revine andezitului cu piroxeni de la Porolissum atît ca piatră de construcție a cuptoarelor metalurgice zidite în cetate cît și ca piatră fasonabilă întrebuințată la pavarea drumurilor magistrale din incintă.

Pe acest material documentar neobișnuit de bogat au fost executate cercetări de laborator cu caracter metalografic, mineralogic și chimic, permițîndu-ne în final să reconstituim o activitate metalurgică complexă și intensă desfășurată între zidurile cetății Porolissum.

METALURGIA FIERULUI

Materia primă pentru obținerea fierului era limonitul, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, un hidroxid de fier spongios rezultat din alterarea în zona de oxidație a numeroaselor și importanțelor zăcămintele de sulfuri de fier și de polimetalice situate la distanțe mai mici sau mai mari de Porolissum (Fig. 1).

Cităm aici localitățile cele mai importante de la N și NE de Porolissum care după părerea noastră ar fi putut fi furnizoarele cele mai probabile de minereuri de fier limonitos și de neferoase nu numai în evul mediu ci și în antichitate: Ilba, Nistru, Băița, Baia Mare (sau Rivulus Dominarum cum i se mai spunea în evul mediu), Baia Sprie (Mons Medius), Căvnic, Băiuț, Țibleş, Rodna. Localitățile amintite sînt situate la distanțe variind între 60 și 125 km de Porolissum. La acestea se adaugă localitatea Răzoare din Munții Preluca, situată la 50 km dar cu aflorimente de magnetit-manganos și zona de S a Meseșului cu aflorimentele de sulfuri polimetalice de la Cornișel, Stirci și Singiorzul de Meseș, de proporții mai modeste.

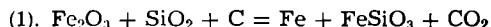
Alte surse ipotetice privind materia primă, situate însă la distanțe mai mari de Porolissum le-ar fi putut constitui minereurile din Munții Apuseni, zona Remetea, Baia de Arieș, Sălciua, Roșia-Bucium Șasa și Poieni cu filoanele Arama și exploatarea la zi de la Ieruga, datînd din epoca romană. La fel binecunoscutele

exploatări de la Ghelar-Teliuc și de la Muncelul Mic-Vețel (Micia) sau acelea din Mii Semenice și din partea de S a Banatului, ca de exemplu Ocna de Fier-Dognecca-Ciclova-Moldova Nouă, ar fi putut aproviziona cu minereu feros sau poli-metalic atelierele de la Porolissum, dată fiind rețeaua rutieră de prim rang din Dacia romană. Rămâne totuși distanța mare ca un factor prohibitiv.¹

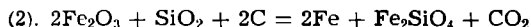
Ca material reducător și energetic era folosit cărbunele de lemn (mangalul), așa după cum o dovedesc numeroasele și frecvențele incluziuni de fragmente cărbunoase din zgurile metalurgice și din calotele de fer metal.

Materialul fondant și totodată reactivul de zgurificare folosit în covârșitoarea majoritate a cazurilor era cuarțul, sub diferitele sale forme de apariție în regiune: nisipuri cuarțoase, gresii silicioase, cuarțite metamorfice (Fig. 3). Rar de tot apar ca reactivi fondanți calcarele sau dolomitele, aflate și ele la îndemână, în apropierea cetății.

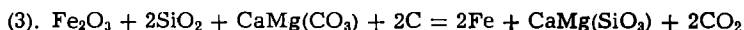
Cu ajutorul acestor substanțe se trecea la zgurificarea minereului și la reducerea lui după reacțiile tip de mai jos, având loc la temperaturi în jur de 1200°C.



Zgurificarea conduce la formarea, în acest caz, a hiperstenului sau la alte minerale din clasa piroxenilor, ca de exemplu augitul, în cazul prezenței aluminiului în sistem. Se obțin astfel zguri cu silicați mai săraci în fer (piroxeni) (Fig. 2—4).



În această reacție între minereu, silice și cărbune se produce o zgură olivinică, în speță fayalitul, un compus mai bogat în fer, în detrimentul randamentului ferului metalic (Fig. 2, 3, 4).



Aici, randamentul în fer metal este mai bun întrucât el nu mai intră în compoziția silicatului dar continuă să apară ca incluziune de fer dendritic conținut în zgură, la fel ca și în celelalte două reacții de zgurificare (Fig. 5).

Zgurificarea bazică, realizată prin adăos de carbonați sau de feldspați duce la formarea de zguri diopsidice sau augitice, prezente la Porolissum într-un număr foarte restrâns de cazuri, ceea ce ne face să presupunem că mersul bazic era aplicat incidental.

Indiferent de procedeu, se obținea atît un fer metal masiv, impurificat cu zgură, cit și un fer metal dispersat ca dendrite sau sferule microscopice în matricea de silicați ai zgurii. Astfel, o mare parte din fer rămînea captiv în fondul de silicați. Prin procedeul acid (cu silice), eficiența metalurgică scade pînă la o treime din cantitatea totală de fer a limonitului intrat în reacție.

Avem astfel următoarea schemă tehnică:

Minereu limonitos ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$):

a. Aliaj fer-carbon separat ca metal compact sau ca fază dispersă în zgură (Fig. 6—9).

b. Zgură fayalitică sau hiperstenică, ori un amestec de olivin-piroxen (Fig. 2—4).

c. Zgură diopsidică (Fig. 5), augitică sau anortozitică.

¹ V. Cazacu, *Substances minérales et techniques minières utilisées dans l'espace Carpatho-danubien de la haute antiquité jusqu'à la période des migrations*, în *Proceedings of the 16 International Congress of the History of Science*, A. Scientific sections, Bucharest, 1981, p. 14; Șt. Olteanu—N. Neagu, în *RevMuz*, 4, 2, 1967, p. 117—125; Șt. Olteanu—N. Neagu—D. Seclăman, *La technologie de la réduction du minerai de fer et le problème de la continuité historique sur le territoire de la Roumanie pendant la 1^{er} millenaire n.e.*, în *Proceedings of the 16-th International Congress of the History of Science*, p. 62. S. Tătaru—O. Kheil, *Roman Gold-mining in Dacia*, în *Proceedings of the 16-th International Congress of the History of Science*, p. 18.

Incluziunile dendritice sau sferice de fer metal sau de magnetit, Fe_3O_4 , din matricea de zgură sînt caracteristice nu numai pentru ferul elaborat la Porolissum ci și pentru zgurile siderurgice provenite din alte ateliere din Dacia². Această dispersare a ferului în masa zgurii se datorează temperaturii mai scăzute cu aprox. 250°C decît cea necesară pentru o separare integrală a ferului metalic dintr-o topitură omogenă. Conform cu diagrama de stare a sistemului $\text{Fe}-\text{C}$ ³ aceasta prezintă un eutectic la 1200°C , temperatură la care topește alți silicați de fer, dar au o viscozitate ridicată, cît și aliajul fer-carbon. Rezultă că fazele sînt topite dar nu și separate total din cauză viscozității mari la temperatura eutectică.

Deficitul de căldură trebuie atribuit gabaritului redus al cuptorului după cum și modulul defectuos de izolare termică a acestuia.

Studiul microscopic-metalografic al materialului siderurgic confirmă cele arătate mai sus prin structura microlitică și sticloasă a zgurii iar prezența scheletelor de cristale de fer între cristalele micronice de silicați indică totodată și o succesiune în timp și spațiu a componenților zgurii: mai întîi solidifică metalul, iar apoi silicații, aceștia din urmă formînd texturi tipice, întrepătrunse, ofitice, intersertale (Fig. 2—4 și 6—9), resp. radiare la zgurile diopsidice (Fig. 5).

Sub raport chimic, zgurile din antichitate se pot considera ca foarte bogate în fer, așa după cum rezultă și din analiza zgurilor de la Porolissum (tabel 1). Conținutul lor în fer total variază între 33,25 și 46,09%, confirmînd astfel pe deplin datele de analiză microscopic-metalografică.

Conținutul mare de fer al zgurilor este dat de un amestec de incluziuni metalice (sferule și dendrite), de oxizi-hidroxizi (magnetit-limonit) și mai ales de silicați de fer (hipersten-fayalit) dar raportul între acești componenți ai zgurii poate varia în limite largi. Este deci vorba aici de existența unui domeniu de răspîndire al componenților principali ai zgurilor în triunghiul concentrațiilor $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}$ (Fig. 10). Coordonatele procentuale ale zgurilor se obțin prin transformarea datelor chimice cantitative din tabelul 1 în proporții moleculare procentuale (tabel 2).

Dacă ținem seama de faptul că o parte din elementele componente ale zgurilor se comportă izomorf, deci că ferul bivalent poate fi substituit în mod nelimitat cu elementul magneziu sau în mod limitat cu mangan bivalent și cu calciu, vom înțelege și mai bine corelația strînsă dintre compoziția mineralogică și cea chimică a zgurilor. La fel se întîmplă și cu elementele siliciu tetravalent și cu aluminiul trivalent cari se pot substitui parțial în configurațiile lor tetraedrice.

Se obțin astfel parametri moleculari în procente (tabel 2) iar prin proiectarea acestora în triunghiul concentrațiilor (Fig. 10) se conturează un domeniu de variație larg al compoziției molare a zgurilor situat în partea din jurul vîrfului notat cu FeO (MgO , MnO , CaO) (Fig. 10).

Constatăm că și pe această cale, printr-o interpretare petrochimică, se obțin aceiași compoziții din clasă silicaților olivinici și piroxenici ai ferului (inclusiv substituenții săi izomorfi).

Ferul masiv obținut la Porolissum formează calote cu diametrul bazei de 15—20 cm și cu greutatea de cîteva kg. Conform analizei metalografice, ferul acesta este format dintr-un agregat de α -ferrit-cementit (Fe_2C), fin-granulat (Fig. 11) sau de α -ferrit-cementit-grafit (C), cu structura granulară (Fig. 12).

Ca impurități nocive ale ferului se mai găsesc în masa sa fragmente de zguri, în proporții mai mici sau mai mari, fragmente de mangan, care contribuie la degradarea proprietăților sale fizice. Acestea urmează să fie îndepărtate în continuare printr-un asiduu tratament termic și mecanic (descrie în continuare).

În ceea ce privește cuptorul siderurgic de la Porolissum, — un adevărat precursor miniatural al furnalelor de azi —, era o construcție din zidărie cu formă tronconică, folosindu-se în acest scop andezitul cu piroxeni din cariera înveci-

² M. Comșa, *Cultura materială veche românească. Așezările de la Bucov-Ploiești secolele VIII—X*, București, p. 51.

³ Hütte. *Taschenbuch für Eisenhüttenleute*, Berlin, 1930, p. 1, diagrama de stare Fe-C . Elisabetha Nöseg, *The investigation of the iron-sponge fragments from Burgenland*, în *Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland*, 59, Eisenstadt, 1977, p. 71—72.

nată (Măgura Moigradului) și captușit cu un mortar gros de material refractar. Acesta din urmă era format dintr-un amestec de caolin, — extras pe loc din nisipurile cuarțoase caolinoase prin levigare —, caolin calcinat și cuarț spălat, fin granular. Aceste nisipuri cuarțoase-caolinoase abundă pe toată valea Agrijului, formînd numeroase aflorimente sau deschideri naturale ale unor depozite complexe de vîrstă oligocenă.

Partea utilă a cuptorului nu depășea diametrul de 25 cm la bază și probabil cel mult 75 cm înălțime, judecînd după diametrul maxim al calotelor de fer și de zguri găsite în haldele de deșeuri. Producția sa zilnică nu depășea cîteva zeci de kg, într-un flux continuu.

Impuritățile conținute deci de ferul brut se elimină în continuare printr-o afinare care consta dintr-o repetată și alternativă încălzire la roșu, într-un mediu reducător (operație denumită „pudlaj” în evul mediu tîrziu) și forjare repetată, în vederea îndepărtării zgurilor incluse și a micșorării conținutului de carbon dizolvat în fer. Se trecea astfel din domeniul fontei în acela al oțelului.

Un alt produs siderurgic semnificativ găsit la Porolissum este ferrosiliciul, Fe_2Si , sub forma unor agregate de cristale prismatice cu textura intersertală, cu birefringență optică și cu implicații importante în elaborarea fontei de calitate (Fig. 13).

În final urma transformarea lingourilor de fer metal obținute prin îmbunătățirea calității, deci prin afinare, în numeroase și variate obiecte de uz casnic, unelte agricole sau arme de luptă. Dintre acestea s-au găsit în probele analizate de noi: cuie, piroane, caiele, catarama, vîrfuri de săgeți etc. Prezența acestora, după cum și compoziția lor confirmă elaborarea obiectelor în atelierile de ferărie din incinta cetății, din ferul elaborat și afinat în atelierile metalurgice funcționînd tot aici.

Metalurgia neferoaselor.

Pentru dezvoltarea la Porolissum a metalurgiei neferoaselor pledează cîteva fapte de o importanță crucială și anume:

Prezența minerurilor polimetalice de cupru, plumb și zinc în paragenezele: calcopirit (CuFeS_2), galenit (PbS), sfalerit sau blendă (ZnS), alături de pirit (FeS_2). Mineralele acestea au fost găsite ca incluziuni relictice în unele zguri de la Porolissum (Fig. 14).

Existența creuzetelor refractare, cu o compoziție mullitică (Fig. 15 și 16) constituie o altă dovadă. Faptul ne indică cunoașterea de către meșterii metalurgi de la Porolissum a confecționării creuzetelor refractare, absolut necesare în tehnica topirii reducătoare a minerurilor de cupru-plumb-zinc.

Creuzetele erau confecționate din materialul caolinos extras din nisipurile cuarțoase-caolinoase care se găsesc aici la tot pasul și care era supus la o prelucrare minuțioasă. Mai întîi o spălare a produsului natural pentru a extrage caolinul refractar, apoi calcinarea pînă la sinterizare a unei părți din acest caolin levigat, pentru a-i mări proporția de alumina (Al_2O_3) și incorporarea caolinului ars (șamota din zilele noastre) în pasta ceramică împreună cu o cantitate de nisip de cuarț spălat. Dozarea celor trei componenți ai pastei ceramice refractare trebuia în așa fel făcută încît creuzetele să fie refractare, să aibă plasticitatea necesară unei prelucrări la strungul olarilor și să reziste mecanic și chimic la acțiunea corozivă a topiturilor în timpul reacțiilor reducătoare.

Amintesc aici în treacăt că aceleași nisipuri oligocene de la Var, la aprox. 5 km NE de Moigrad, sînt exploatate azi, după aproape 2000 ani, în scopuri ceramice într-o instalație a Institutului de Cercetări Ceramice CERO Cluj-Napoca.

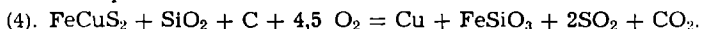
Pe pereții creuzetelor refractare s-au găsit resturi de oxizi și de carbonați bazici de cupru și de zinc, viu și variat colorate, după cum și sferule metalice cenușii de plumb îngropate în aureole de litargă, PbO , galbenă și de miniu, Pb_3O_4 , roșu.

Prezența „alamei” între piesele descoperite în șantierul de la Porolissum este o dovadă a folosirii zincului și plumbului în aliajele de cupru (tab. 3).

Faptele amintite constituie dovezi peremptorii privind funcționarea la Porolissum — în paralel cu producerea ferului — a unor secții specializate în clăbora metalului colorat: cupru, plumb și zinc.

În ceea ce privește metalurgia neferoaselor, aceasta consta tot într-o zgurificare cu adaos de reactivi adecuați (silice, calcit, dolomit), reducător și generator de energie (mangal) și calcinarea la temperaturi ridicate (sub 1200°C), împreună cu minereul polimetalic format dintr-un amestec de oxizi, carbonați și sulfuri, provenind tot din zona de oxidație a zăcămintelor de la N și NE de Porolissum.

Metalele rezultă prin topire și reducere, după ecuația chimică de mai jos, privind elaborarea cuprului:



Metalele se obțin în stare lichidă, ca topituri care apar la diferite temperaturi: 327°C pentru plumb, 419,4°C pentru zinc și 1083°C pentru cupru.

Zgurificarea, reducerea și topirea în cazul neferoaselor se produc în condiții de temperatură mai avantajoase, mai ușor de realizat decât în cazul elaborării ferului. După cum se vede din reacțiile din ecuația chimică⁴, se obțin pe de-o parte metalele colorate iar pe de altă parte o zgură de silicați de fer, piroxeno-olivinică, aceiași ca și la elaborarea ferului.

Pentru obținerea metalelor neferoase se utilizau cuptoare cu vatră și boltă, deci cuptoare cu reverberație, în care se puteau așeza creuzete refractare în serie conținând fiecare creuzet o mică șarjă formată din minereul polimetalic plus adaosurile cuvenite: mangalul ca reducător și generator de energie calorică, cuarțul ca reactiv și fondant.

Cităm aici exemplul concludent al unei zguri cu matricea din silicați de fer piroxeno-olivinici și cu incluziuni de cupru metalic globular de până la 2 cm diametrul, alături de fer metal masiv (proba 563 Porolissum, castru, 1980). Un alt exemplu îl formează separările sferice de plumb metalic, amintite deja, de pe cioburile creuzetelor refractare sau zonele colorate în roșu rubin (Cu_2O), în negru (CuO), sau verde, $\text{Cu}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, de pe aceleași obiecte de ceramică refractară.

Ca o concluzie finală în legătură cu metalurgia neferoaselor, rezultă că zgurificarea minereului de cupru — plumb — zinc conduce tot la formarea unei matrici de silicați de fer și la separarea din fază topită a celor trei metale.

Concluzii

Ca rezultat al unei cercetări complexe privind materialul arheologic de la Porolissum, putem conchide următoarele:

Minereul de fer utilizat aici este limonitul. Acest minereu de fer provine din alterarea piritei din zăcămintele de sulfuri polimetalice și aurifere situate fie la N și NE de Porolissum, la distanțe rezonabile, fie din alte centre miniere ale Daciei romane, situate însă la distanțe mai mari.

Ca sursă de căldură și ca reducător s-a folosit mangalul, atît în cuptoarele-furnale pentru fer, cît și în cuptoarele cu vatră și reverberație, pentru neferoase.

Substanțele aplicate ca reactivi pentru zgurificarea minereului de fer și polimetalic au fost gresiile silicioase, nisipurile cuarțoase, cuarțitele sau chiar cuarțul (floarea de mină), în aproape toate cazurile, cu excepția unor reactivi din grupa carbonaților de calciu și magneziu, aplicați incidental.

În aceste condiții de reacție, zgurificarea minereului limonitos consta în formarea unor topituri de silicați de fer (olivino-piroxenici) și a aliajului de fer-carbon sub formă de calote cu diametrul sub 25 cm, impurificate cu zgură și mangal.

⁴ Șt. Olteanu—N. Neagu, *op. cit.*, p. 117—125.

În cazul cînd minereurile folosite erau sulfurile de cupru-plumb-zinc sau produsele lor de oxidare, zgurificarea și reducerea erau determinate tot prin topire cu adaosuri silicioase și cu formarea aceluiași zguri olivino-piroxenice și a topiturilor metalice de cupru-plumb-zinc.

Utilizarea ferului astfel obținut, presupunea în continuare un tratament termic și mecanic repetat, într-un mediu reducător, pînă la obținerea unui metal cu proprietăți corespunzătoare scopului aplicativ urmărit. Este faza de afinare și de transformare a ferului brut, în fer forjabil și în oțel.

Randamentul în metal al atelierelor de la Porolissum era în medie de 33% din conținutul de fer al minereului limonitos. O altă parte era legată chimic în molecula silicaților de fer, tot în proporție de o treime. Ultima treime a ferului din minereu se pierdea sub formă de incluziuni metalice de dimensiuni micronice, captive în matricea de silicați.

Cuptoarele folosite la elaborarea ferului aveau forma de trunchi de con și o capacitate internă, utilă, mică, de pînă la 25 cm la bază și cu o înălțime de aprox. 75 cm. Producția zilnică putea fi de cîteva zeci de kg pe cuptor. Dimensiunile externe ale acestor minifurnale luau însă proporții prin faptul că ele erau construite din zidărie de andezit și căptușite pe dinăuntru cu un mortar refractar format din caolin, caolin calcinat și cuarț. Acești importanți componenți ai masei refractare erau preparați pe loc din nisipurile cuarțoase-caolinoase din zonă prin procedeele: spălare, separare, calcinare și redozarea corespunzătoare a celor trei componenți.

Tabel 1. Compoziția chimică a zgurilor de la Porolissum

Oxizi %	Zguri piroxeno-olivinice, feri-fero, negre, probele :		
	668	678	684
SiO ₂	23,69	26,74	19,56
TiO ₂	0,16	0,26	0,24
Al ₂ O ₃	6,57	6,19	5,66
Fe ₂ O ₃ total	47,55	59,73	65,92
MnO	0,25	0,71	0,21
MgO	1,17	0,92	0,77
CaO	9,76	3,95	4,23
Na ₂ O	0,40	0,34	0,20
K ₂ O	3,00	1,40	1,14
S	0,41	0,49	0,51
Suma	92,96	100,73	98,43
FeO total	42,80	53,76	59,33
Fe metal total	33,25	42,09	46,09

Tabel 2. Echivalenți molari și coordonate ternare.

Oxizi molari %	Zguri piroxeno-olivinice ferri-ferre, negre, probele :		
	668	678	684
SiO ₂ (+TiO ₂)	31,4	33,0	25,0
Al ₂ O ₃	5,0	5,0	4,0
FeO (+MnO) MgO (CaO)	63,6	62,0	71,0
Suma	100,0	100,0	100,0
Exces de fer metal %	28	26	42

Tabel 3. Compoziția aliajului de cupru sau a „alamel” de la Porolissum.

Elemente : %	Cu 61,32	Pb 11,28	Sn <10	Zn 1,38	Ni 0,3	Sb <0,3	Hf <0,3	Ti u	Ag u	P u
-----------------	-------------	-------------	-----------	------------	-----------	------------	------------	---------	---------	--------

u = urme

Metalele cupru-plumb-zinc erau obținute în creuzete refractare așezate în serie în cuptoarele cu vatră și boltă care se puteau încălzi fie cu lemn fie cu mangal.

Rocile andezitice, exploatate din cariera Măgura Moigradului, din proximitatea cetății, se pretau la construcții și la pavaje.

Sursa de energie o forma lemnul și mangalul preparat de meșterii cărbunari.

EUGEN STOICOVICI

METALLURGISCHE BETÄTIGUNGEN IN POROLISSUM

(Zusammenfassung)

Das überaus reichhaltige archäologische Material über Metallurgie in Porolissum (Moigrad; Kreis Sălaj; Rumänien) erlaubt uns — auf Grund des Ergebnisses der mineralogischen, metallurgischen und chemischen Untersuchungen — einige wichtige Feststellungen.

Im Altertum gab es in Porolissum eine ständige Betätigung auf dem Gebiete der eisenhaltigen Metalle und der Buntmetalle (Kupfer, Blei, Zink).

Das zur Eisengewinnung verwendete Eisenerz war das Limonit (Fe₂O₃·H₂O), entstanden durch Veränderung der schwefelhaltigen Metallsulfiden in dem sogenannten Oxydationszone oder „Eisenhut“.

Zur Gewinnung von Kupfer, Blei und Zink verwendete man die polymetallischen Gesteinlager von Chalkopyrit, Galenit, Sphalerit oder deren Oxydationsprodukte (Cuprit, Tenerit, Malachit, Cerusit, Smithsonit-Calamin).

Möglichkeit für die Beschaffung des Gesteins gab es sowohl im Bergwerksgebiet von Baia Mare, also ausserhalb des römischen Dakien, als auch im nächsten Kristallgebiet des Meseș-Preluca Gebirges. Die Beschaffung des Eisens- und

Buntmetallerzes aus den Westbergen Poiana Ruscă, Semenik und dem Banat kam — wegen den grossen Entfernungen — nur in zweiter Linie in betracht.

Die Gewinnung des Eisens erfolgte auf Grund einer saueren Verschlackung des Limonitgesteins durch Behandlung mit Quarz (SiO_2), und Reduktion mit Holzkohle bei einer Höchsttemperatur von etwa 1200°C , wodurch schliesslich eine zähflüssige Schmelzmasse entsteht von Eisensilikaten der Olivin- und Pyroxen-Klasse und einer gleichfalls im Schmelzstadium befindlichen von Eisen-Carbon Legierung eutektischer Zusammensetzung.

Die Technologie der Verarbeitung der in den kegelstumpfförmigen Hochöfen kleinen inneren Umfanges ($d=25$ cm; 75 cm Höhe) gewonenen Kalotten von Eisenmetall, bestand in der Bearbeitung des heissen Metalls durch wiederholtes Schmieden, unter Reduktion.

Bei Reduktion und Verschlackung des Buntmetalls erhielt man dieselben Eisensilikate als Schlacke und die metallischen Elemente von Kupfer, Zink und Blei in der Reihenfolge ihres Schmelzpunktes.

Die metallurgischen Prozesse fanden in feuerfesten Schmelztiiegeln statt, die in Hochöfen mit Herd und Wölbung erhitzt wurden.

Zur Beschaffung der Reagenten und des feuerfesten Materials wurden bekannte örtliche Quellen benützt: die oligocenen Schichten von quarz-kaolinhaltigen Sand oder die Quarz und Quarz-Feldspat-Adern vom Meseş und Preluca. Dasselbe gilt auch für den Baustein, der im Andezitsteinbruch der Măgura Moigradului gewonnen, bearbeitet und für die Hochöfen und Wege verwendet wurde.

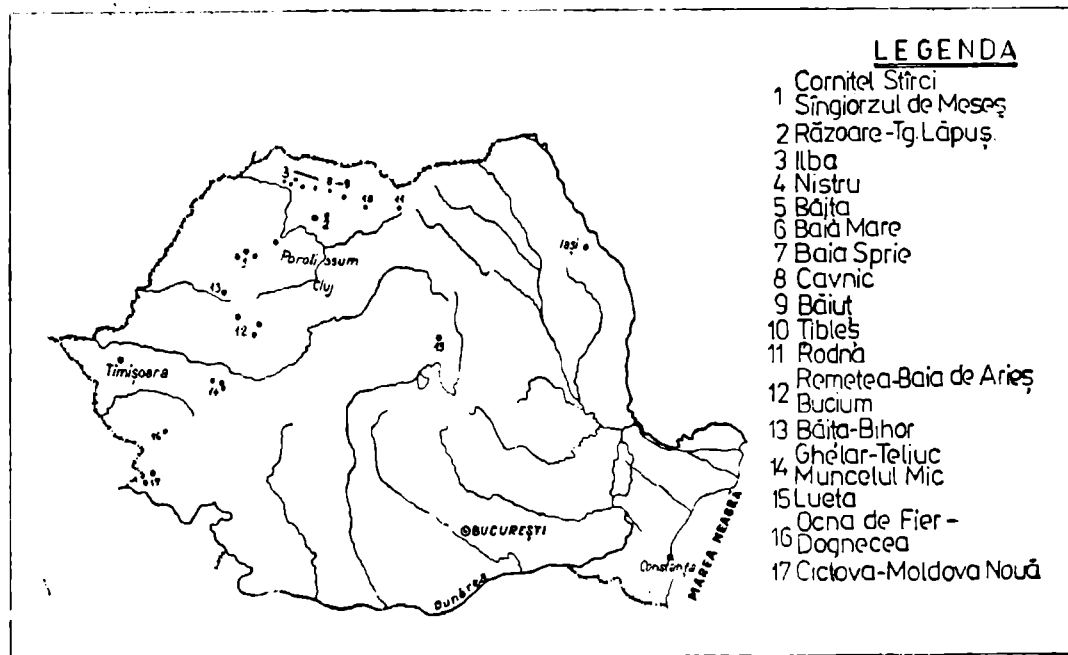


Fig. 1. Situația geografică a surselor de minereu mai apropiate sau mai îndepărtate de poziția cetății Porolissum.

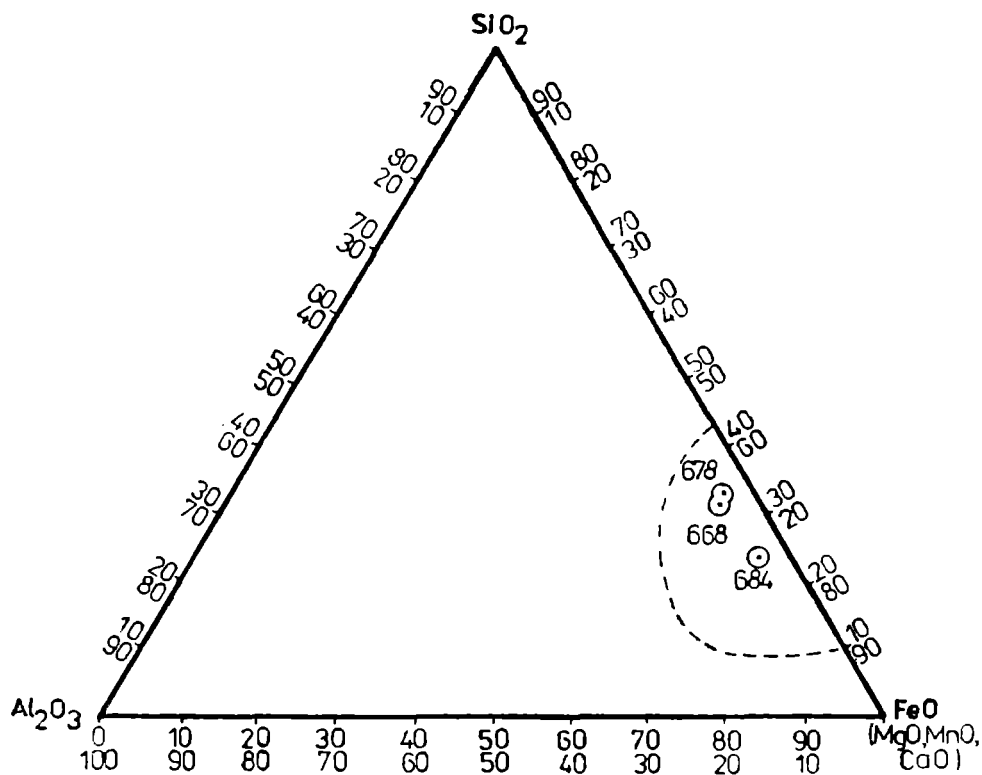


Fig. 10. Triunghiul de concentrație al sistemului ternar $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, cu pozițiile probe de zguri 668, 678 și 684, reprezentate în procente molare.



Fig. 2. Zgură neagră-brună, limonitizată, cu cristale microlitice, alungite, de fayalit și de hipersten (alb) și cu incluziuni opace de fer metalic, magnetit și limonit (negru). Conține numeroși pori sferoidali (alb). Porolissum, proba 566. Mărit de 35×.

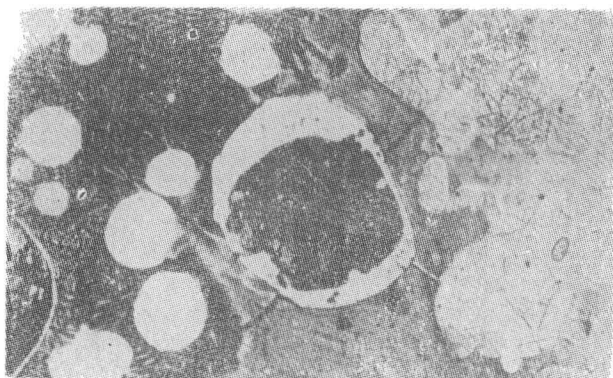


Fig. 3. Zgură neagră cu matricea parțial vitroasă, brună, de nuanțe diferite (mijloc, jos), alternând cu matricea cristalizată de fayalit-hipersten (stînga, sus) și cu fragmente de cuarț fisurat (dreapta) sau înglobînd fragmente de andezit (centru) și numeroși pori (sfere albe, stînga). Porolissum, proba 679. Mărit de 35×.

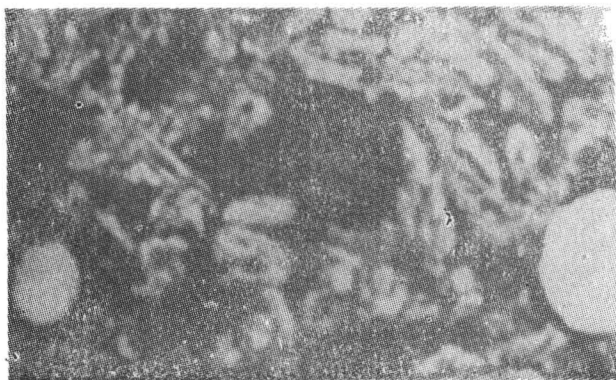


Fig. 4. Zgură neagră cu matricea cristalizată, formată din silicați de fer(hipersten-fayalit) (alb sau cenușiu) cu numeroase incluziuni fer, magnetit, limonit (negru) și cu pori de diferite mărimi (alb). Porolissum, proba 691. Mărit de 35×.

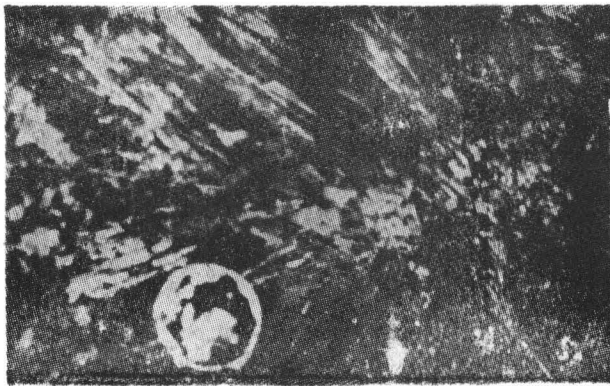


Fig. 5. Zgură cu diopsid prismatic cu textura radiară și unghiuri de extincție caracteristice; bori sferoidali în care s-au format cristale de calcit (stînga, jos). Perclisum proba P. A. Mărit de 35×.

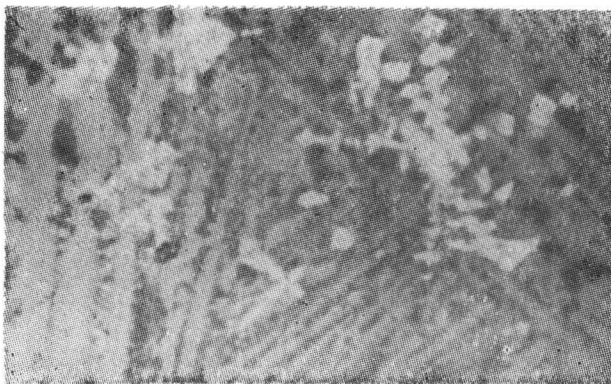


Fig. 6. Zgură cu schelete de cristale de fer metalic (dendrite albe) înglobate într-o matrice de silicați de fer cristalizați în prisme alungite și dispuse în rețea (textură intersertală) (în fondul cenușiu). Perolissum, proba 625 a. Mărit de 35×. Lumină reflectată.

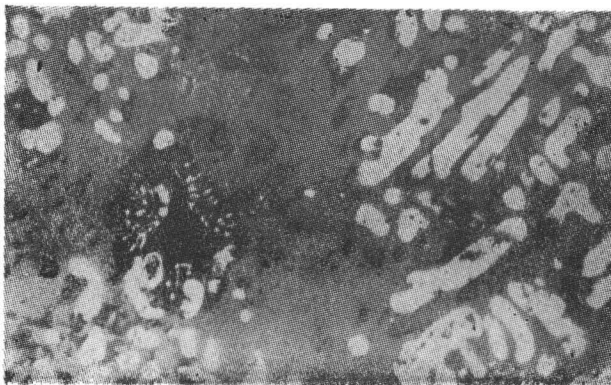


Fig. 7. Zgură cu matricea vitroasă de silicați de fer (cenușiu) cu numeroase incluziuni sferoidale și dendritice de fer metalic de două generații (alb). În centrul figurii se văd trei minuscule gră-nule de minereu polimetalic. Porolissum, proba 691. Mărit de 100×.

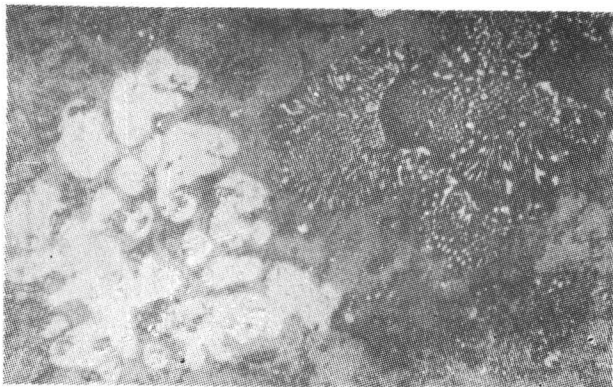


Fig. 8. Zgură cu matrice de hipersten-fayalit și sticlă (cenușiu și negru) și cu dendrite de fer metal de două generații (alb). Porolissum, proba 691. Mărit de 100×.



Fig. 9. Zgură cu numeroase dendrite de fer metal (alb) incluse într-o matrice de silicați de fer de natură piroxenico-olivinică (cenușiu până la negru). Porolissum, proba 685 b. Mărit de 100×

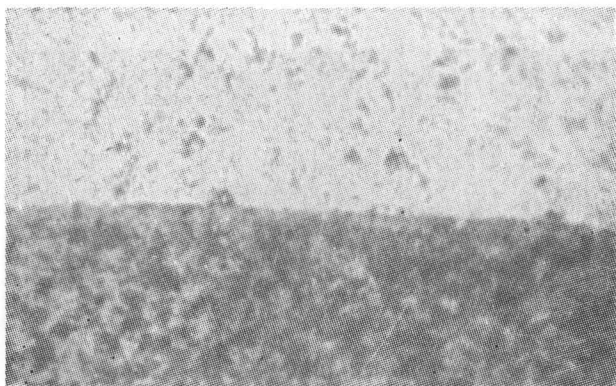


Fig. 11. Aliaj fer-carbon cu α -ferrit (cenușiu-alb), cementit Fe_3C (alb) și cu resturi de zgură (cenușiu-închis) cu structura fin-granulară. Jumătatea mai întunecată a microfotografiei pune în evidență α — ferritul corodat și colorat în cenușiu iar cementitul rămâne neschimbat (alb). Agentul corosiv: acid azotic diluat. Porolissum, proba 668. Mărit de 100×.

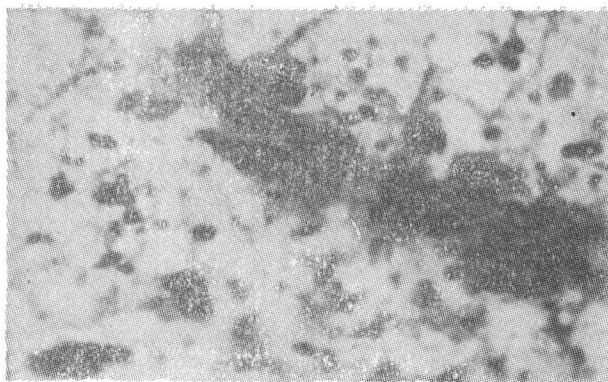


Fig. 12. Agregat de α -ferrit (alb-cenușiu), grafit interstițial (cenușiu-negru), cementit (alb și mai reliefat) și resturi de zgură (negru), cu structura grosieră, granulară. Porolissum, proba 70, piron. Mărit de $100\times$.



Fig. 13. Agregat de ferrosiliciu Fe_3Si , cu habit prismatic-acicular, cu textura încrucișată și cu birefringența evidentă la nicoli în cruce (N+). Porolissum, proba 685 b. Mărit de $100\times$.

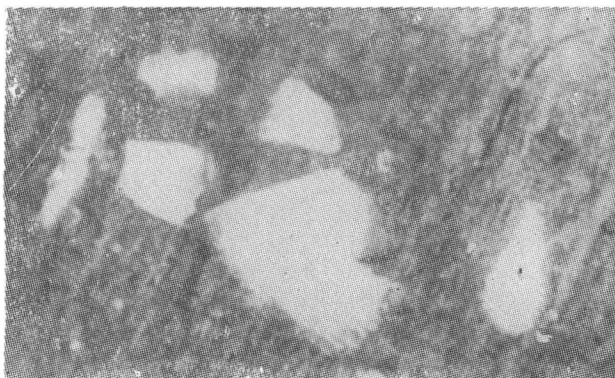


Fig. 14. Incluziuni de fragmente de minereu polimetalic (calcopirit, sfalerit, galenit) (alb și a.b-gri pe marginea unora dintre granulele albe) în matricea microlitică de silicați de fer (cenușiu de diferite nuanțe spre negru) a zgurii. Porolissum, proba 685b. Mărit de $100\times$.

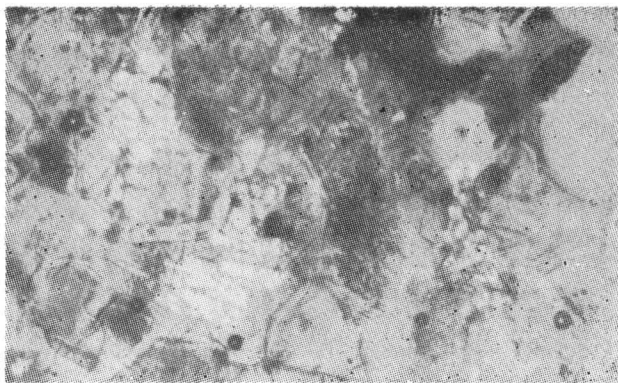


Fig. 15. Ciob ceramic refractar cu mullit, $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, în grupe de cristale aciculare (în centru). Cristalele de mullit rezultând din transformarea termică a caolinitului (centru, dreapta) și a feldspatului (centru-stînga). Porolissum, proba 682. Mărit de 100×.

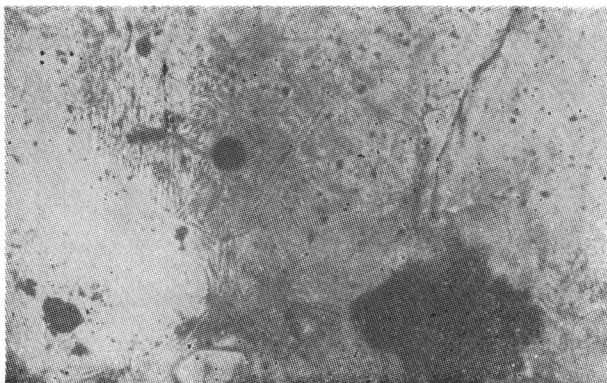


Fig. 16. Ceramică refractară cu mullit, dezvoltându-se în cristale aciculare mari în jurul unor pori (stînga) și resturi granulare de minereu cuprififer (negru). Porolissum, proba 564/80. Mărit de 100×.

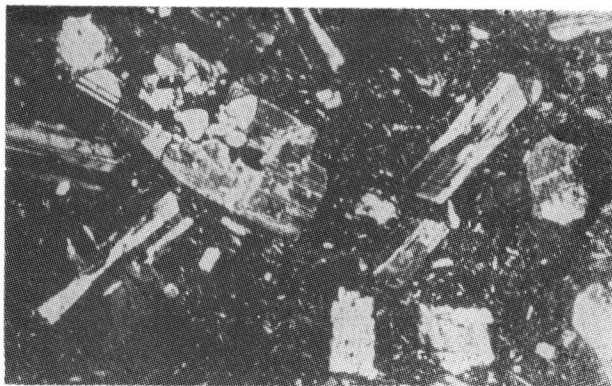


Fig. 17. Andezit cu piroxeni (hipersten și augit) în cristale cu clivajul în rețea, contur patrat sau octogonal (stînga), feldspat plagioclaz maclat și zonat, în cristale alungite, magnetit și ilmenit în cantități remarcabile, toate conținute într-o matrice microlitică (fondul întunecat) cu puțină sticlă vulcanică. Porolissum, proba 685. Mărit de 35×.

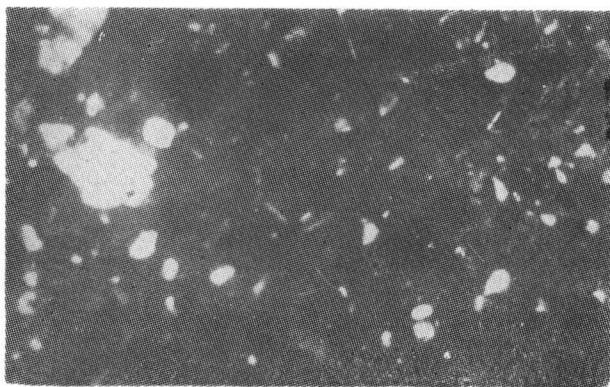


Fig. 18. Andezit cu matricea mullitizată (cristale microlitice aciculare) după ardere în cuptorul cu vatră și boltă în care a fost zidit ca material de construcție. Se mai pot observa în imagine resturi granulare și nereactionate de feldspați (alb). Porolissum, proba 33. Mărit de 100×.