MĂSURĂTORI ARHEOMAGNETICE LA POROLISSUM

TAMÁS LIPOVICS, LÁSZLÓ LENKEY, MIHÁLY PETHE, MÁTYÁS HEREIN, JUDIT FERENCZ, ISTVÁN BAJUSZ

GEOPHYSICAL PROSPECTING IN POROLISSUM

Abstract: *The talk presents the results of a magnetic survey carried out with archeological purposes by the Geophysical Department of the Eötvös University (and Historical Museum of Zalău, Babeş-Bolyai University of Cluj-Napoca) near the small, Transylvanian village of Mojgrad.*

To help the archeological investigations magnetic surveys were carried out by GSM-19 type Overhauser gradiometers with vertical gradient method in a meter times meter grid. In the surroundings of the town three places were surveyed an area of 1,5–2 hectares:

– 1. In the south-western forefront of the fortress, in front of the Porta Decumana (200 × 60 m – fig. 1/1, 4, 7);

– 2. In the northern area of the fortification, along the road that leads to the town (70 × 20 m – fig. 1/2, 5, 8);

– 3. Inside the fortress, also in the south-western area (100 × 60 m – fig. 1/3, 6, 9).

In all the three of locations the walls of the buried buildings were mapped. The buried walls show significant positive anomalies on the magnetic anomaly maps which is due to the fact that they were constucted of dacite stones. The volcanic rocks come from the quarry of the neighbouring Magura mountain, and bears a very strong magnetization.

Rezumat: *În luna august 2005 o grupă formată din cadre didactice şi studenţi de la Catedra de Geofizică a Universităţii „Eötvös Loránd" din Budapesta, în colaborare cu Muzeul de Istorie şi Artă Zalău şi Catedra de Istorie Antică şi Arheologie din cadrul Universităţii „Babeş-Bolyai" din Cluj-Napoca, au efectuat măsurători magnetice cu scop arheologic pe teritoriul complexului arheologic roman Porolissum (Moigrad, jud. Sălaj). Aceste*

www.muzeuzalau.ro / www.cimec.ro

măsurători au fost efectuate cu magnetometre Overhauser, tip GSM-19, prin aranjarea verticală a gradientelor, pe un sistem de coordonate de 1 × 1 m.

Pe teritoriul Porolissumului măsurătorile magnetice cu maximă defalcare au fost executate în trei sectoare pe cca. 1,5-2 ha. (fig. 1):

- 1. imediat la sud-vest de porta decumana, pe un spațiu de 200 × 60 m (fig. 1/1, 4, 7);

- 2. în interiorul castrului, la sud-vest de clădirea comandamentului, pe partea dreaptă a drumului ce duce spre porta decumana, pe o suprafață de 70 × 20 m (fig. 1/2, 5, 8);

- 3. la nord de castru, pe lângă drumul principal dezvelit, la nord-est de acesta, pe un spațiu de 100 × 60 m (fig. 1/3, 5, 9).

În toate cele trei zone cercetate se pot bine identifica urmele obiectivelor, a zidurilor îngropate. Acestea apar ca importante anomalii pozitive în imaginea anomaliilor magnetice. Acest fenomen se datorează faptului, că materialul de construcție este de factură vulcanică (dacit care provine din cariera de la Măgura Moigradului), iar solul este sedimentar.

***Keywords**: Porolissum (Moigrad, Sălaj County), Roman-age, archeomagnetic prospecting.*

***Cuvinte-cheie**: Porolissum (Moigrad, jud. Sălaj), epoca romană, măsurători arheomagnetice.*

În luna august 2005 un grup format din cadre didactice[1] și studenți[2] de la Catedra de Geofizică a Universității „Eötvös Loránd" din Budapesta, în colaborare cu Muzeul Județean de Istorie și Artă Zalău și Catedra de Istorie Antică și Arheologie din cadrul Universității „Babeș-Bolyai" din Cluj-Napoca,[3] au efectuat măsurători magnetice cu scop arheologic pe teritoriul complexului arheologic roman Porolissum (Moigrad, jud. Sălaj).

Pentru interese arheologice se pot folosi multe metode de măsurători geofizice: electrice, magnetice sau geomagnetice. În fiecare caz pe suprafața Pământului se stabilesc anumite parametrii fizice date, pe baza cărora, având în vedere dispersarea valorilor măsurate la suprafață, se pot face deducții privind localizarea și caracteristicile obiectivului (obiectivelor) măsurat(e). În cazul nostru măsurătorile au fost efectuate cu *magnetometre Overhauser, tip GSM-19*, prin aranjarea verticală a gradientelor, pe un sistem de coordonate de 1 × 1 m. Prin această metodă s-a stabilit câmpul magnetic, mai precis mărimea vectorului de inducție. Mărimea acestuia este în strânsă legătură cu magnetismul obiectivelor din zona măsurată, precum și cu intensitatea și direcția magnetismului zonei geografice.

[1] Tamás Lipovics, László Lenkey.

[2] Mihály Pethe, Mátyás Herein, Judit Ferencz.

[3] Ambele instituții au fost reprezentate prin István Bajusz.

www.muzeuzalau.ro / www.cimec.ro

În 2005 cu *magnetometre Overhauser, tip GSM-19* s-au cercetat următoarele zone (fig. 1.):

- 1. La sud-vest de castrul de pe dealul Pomet: în fața porții *decumana* (sector J);[4]
- 2. În interiorul castrului: în partea de nord-vest a *retenturii* (sector A);
- 3. La nord de castru, pe latura nord-estică a drumului principal (sector N).

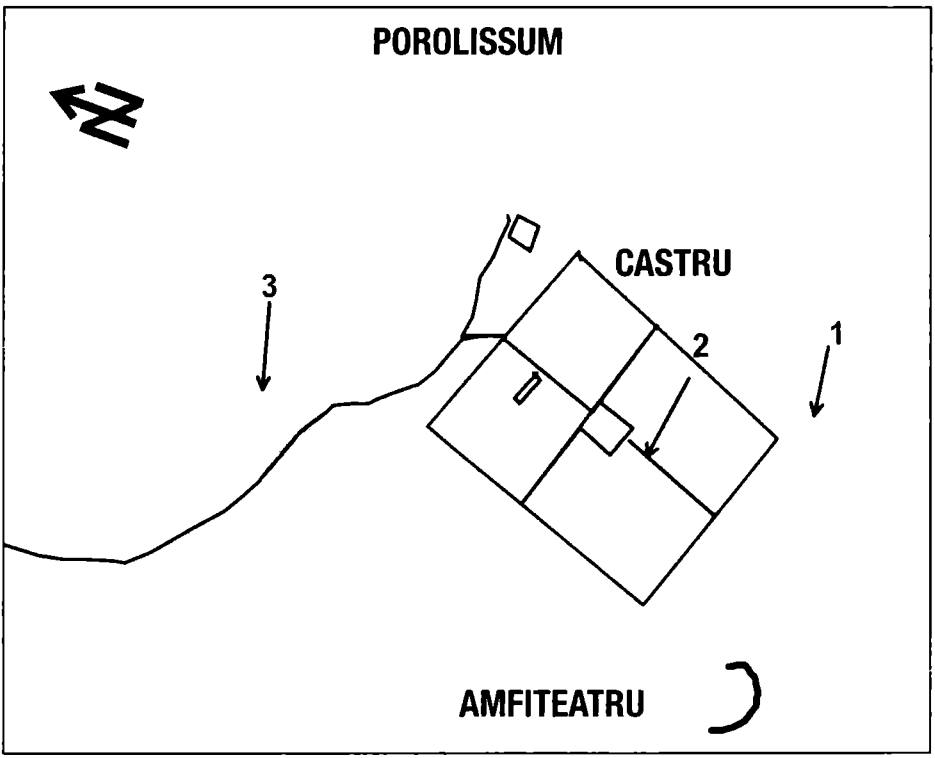

Fig. 1. Zonele cercetate la Porolissum prin măsurători arheomagnetice. 1. Spațiul din fața porții decumana; 2. Fâșia din interiorul castrului, la sud-vest de Principia; 3. Zona la nord de castru, pe latura nord-estică a drumului roman principal.

Din punct de vedere al măsurătorilor cele mai importante date sunt cele purtate de diferențele dintre parametrii magnetici ale obiectivelor arheologice măsurate și ale anturajului. De exemplu: când un zid acoperit de pământ poartă o magnetizare puternică, iar magnetismul zonei este mic, atunci zidul apare ca o puternică anomalie magnetică. Acest fenomen este adevărat și invers: un obiectiv mai puțin purtător de magnetism, așezat într-un mediu magnetic puternic, apare

[4] Pentru împărțirea pe sectoare a zonei vezi: N. Gudea, *Porolissum. Un complex arheologic daco-roman la marginea de nord a Imperiului Roman* = *ActaMP*, 13, 1989, p. 357, fig. 7.

www.muzeuzalau.ro / www.cimec.ro

de asemenea ca o anomalie, dar negativă. Prin măsurători sistematice putem primi o imagine a anomaliilor, iar prin analiza relației dintre anomaliile de aceeași amplitudine putem contura imaginea clădirilor, a zonei construite sau deranjate.

Pentru toate cele trei zone s-a reușit demonstrarea existenței unor construcții. Dintre măsurători se evidențiază o clădire situată la nord de castru, compartimentată în două, unde, în al doilea compartiment, se distinge un element circular (fig. 9.). Anomalia aparține probabil de un templu, elementul circular putând fi bază de altar. Pe imaginea magnetică zidurile se prezintă ca o puternică anomalie pozitivă, care se datorează faptului că acestea au fost construite din dacit, iar solul este format din depuneri. Piatra de construcție este de origine vulcanică, provine din cariera de la *Măgura Moigradului* și poartă o puternică magnetizare, care, față de comportamentul magnetic aproape neglijabil al solului, dă un contrast puternic. Acest fenomen, caracteristic pentru toată suprafața așezării, a ajutat mult la obținerea unor rezultate bune prin aplicarea metodei de cercetare prin măsurare geomagnetică.

Instrumentul de măsurat

La măsurătorile de la Porolissum am folosit *magnetometre Overhauser, tip GSM-19*. Magnetometrele *Overhauser* fac parte din familia magnetometrelor cuantice, funcționarea lor se bazează pe efectul *Overhauser*. Fiecare instrument este compus dintr-o sondă și o unitate electronică. Sonda conține un lichid cu o componență specială, în care se află un număr mare de protoni și neutroni liberi. Lichidul se află într-o bobină electrică. Datorită acesteia lichidul este expus unui câmp electromagnetic cu radiofrecvențe, iar electronii liberi din lichid intră în inducție, preluând energie. Energia provine de la protoni, a căror situație spin se modifică. Fiecare proton începe o mișcare procesională, ca un titirez, pe o direcție stabilită de spațiul magnetic exterior, astfel lichidul se polarizează. Datorită procesării protonilor, în lichid se creează un câmp magnetic pulsant, cu frecvență dată. Prin decuplarea inducției de radiofrecvențe, procesarea protonilor se încetinește, dar în acest timp pulsarea lor creează semnal electric, ce poate fi bine măsurat în bobina din jurul lichidului. Unitatea electronică măsoară acest semnal, mai precis frecvența acestuia. Între frecvența procesională a protonilor și mărimea câmpului magnetic exterior există o relație lineară, astfel că prin măsurarea frecvenței, cunoscând factorul proporțional, spațiul exterior poate fi ușor determinat. Măsurătoarea este efectuată extrem de rapid și cu mare exactitate. Exactitatea absolută a instrumentelor folosite de noi este în jur de 0,1 nT, care, având în vedere că vectorul de inducție magnetică la polurile magnetice ale Pământului este de cca. 60 000 nT, înseamnă stabilirea exactă a unei părți de un miliard a câmpului magnetic. Instrumentul, pentru executarea unei singure măsurători, are nevoie de 0,2–0,5 secunde, deci poate culege foarte multe date într-un timp relativ scurt.

www.muzeuzalau.ro / www.cimec.ro

Măsurări de testare

În cazul măsurătorilor magnetice este foarte importantă alegerea sistemului de organizare şi de defalcare ale acestora, care se realizează, în general, prin testări. În cadrul testărilor – după posibilităţi – măsurătorile magnetice se fac pe un teren deja cunoscut. Pentru teritoriul testat, folosind mai multe posibilităţi de organizare şi de defalcare a măsurătorilor, se poate alege metoda cea mai optimă, care corespunde situaţiei magnetice şi geologice a zonei cercetate.

Măsurătorile cu magnetometre se fac prin două sisteme:

– *a.* cu ajutorul unei singure sonde;

– *b.* prin folosirea a mai multor sonde.

a. În cazul unei singure sonde, mărimea câmpului magnetic, din cauza schimbării acestuia în timp, trebuie corectată. Câmpul magnetic al Pământului, ca urmare a fenomenelor din ionosferă, are variaţii zilnice. Dacă aceste variaţii n-am lua-o în seamă, atunci ele s-ar suprapune peste valorile măsurate de noi în cursul zilei. Această corecţie este numită corecţie bazică. Esenţa ei constă în instalarea în apropierea zonei măsurate, într-un loc „nepoluat" magnetic, al unui alt magnetometru, independent de primul, şi care, în timpul măsurătorilor, înregistrează variaţia diurnă a câmpului magnetic. După terminarea măsurătorilor, scădem datele instrumentului de bază din datele înregistrate în acelaşi timp de instrumentul de măsurat, obţinând astfel un sistem de date, care nu mai conţine schimbările în timp a câmpului magnetic. Astfel valorile primite vor reprezenta numai informaţiile caracteristice zonei măsurate.

b. În cazul măsurătorilor efectuate prin folosirea concomitentă a mai multor sonde, se iau în considerare diferenţele dintre datele măsurate de acestea, astfel corecţia de bază se poate realiza prin intermediul unui singur instrument. Magnetometrele care pot stabili diferenţa dintre datele provenite de la mai multe sonde, se numesc *gradiometre*. Stabilirea diferenţei, adică a gradientului, se poate face prin mai multe dispuneri în spaţiu, ca de ex. în cazul a două sonde: sondele pot fi aşezate una lângă alta, sau una sub cealaltă. În primul caz se stabileşte gradientul orizontal, în celălalt caz gradientul vertical (fig. 2.).

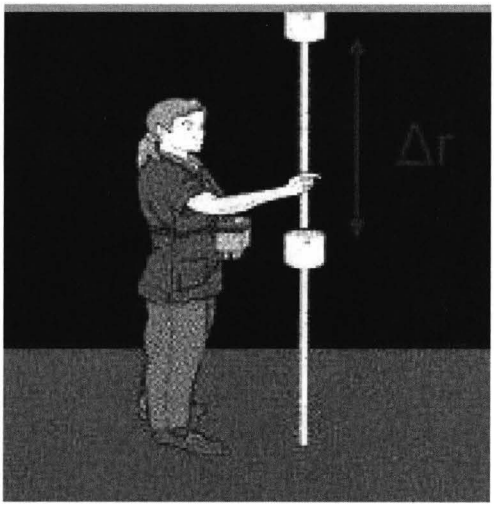

Fig. 2. Schema principiului de măsurare al gradientului vertical.

Pentru măsurători este importantă şi reglarea distanţei dintre sonde, precum şi distanţa acestora de suprafaţa terenului. Sondele aşezate mai sus înregis-

www.muzeuzalau.ro / www.cimec.ro

trează în special valorile caracteristice pentru efectele magnetice mai mari, aflate mai adânc, iar cele fixate mai jos efectele mai mici, caracteristici obiectivelor aflate mai aproape de suprafață. În principiu scopul este o defalcare cât mai mare, adică identificarea unor obiective de mică extindere. Aceasta însă este influențată de adâncimea obiectivelor măsurate, de magnetismul deșeurilor aflate în apropiere de suprafață. De aceea este nevoie de o reglare intermediară, optimă pentru locul cercetat, a distanțelor dintre sonde și a distanței acestora de la suprafață.

În cazul nostru, pentru a putea alege metoda optimă a măsurătorilor, am efectuat măsurări de testare în fața porții *decumana*. Zona testată a fost o suprafață de 30 × 32 m, unde în 2003, cu ocazia secetei, a fost identificată, măsurată și schițată urma unei clădiri romane (fig. 3.D.) (aproximativ zona de mijloc a punctului 1 din fig. 1.).

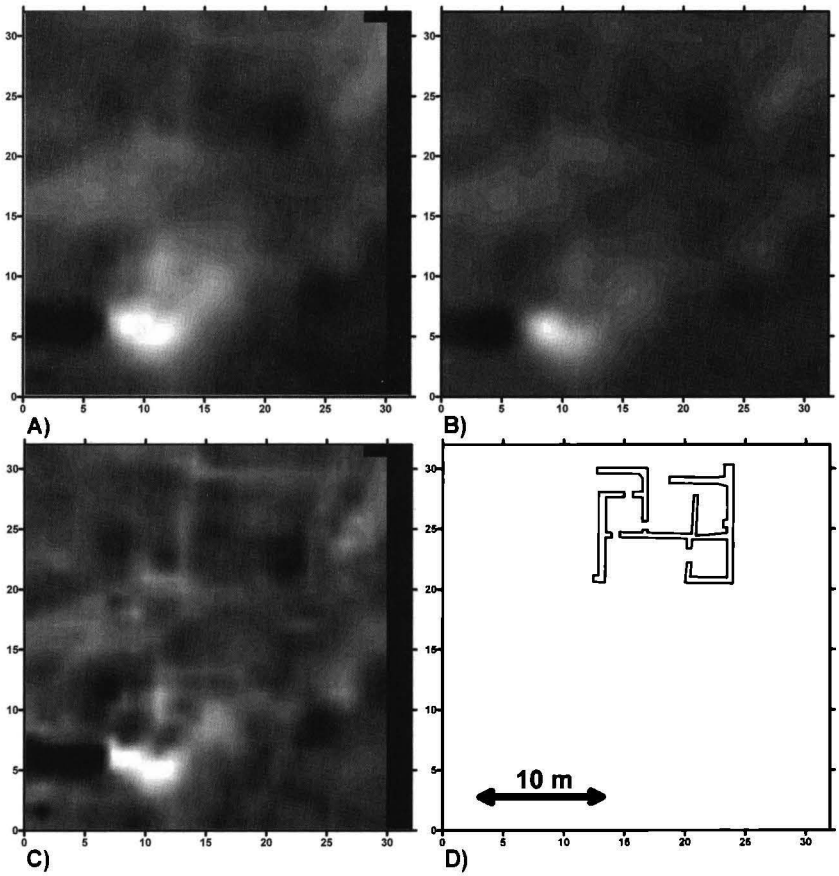

Fig. 3. Rezultatele testărilor. A): măsurarea intensității totale a câmpului magnetic; B): gradientul vertical măsurat cu sonde fixate de rucsac; C): gradientul vertical măsurat în apropierea suprafeței terenului; D): planul clădirii schițate în 2003.

www.muzeuzalau.ro / www.cimec.ro

În cadrul investigațiilor am testat, pe lângă măsurarea puterii câmpului magnetic, două tipuri de aranjare a gradientelor verticale, pe sistem plasă de 1x1 m. Prima măsurare a fost executată cu sonde aplicate pe rucsac. Distanța dintre sonde a fost de 56 cm, sonda de jos fiind la 170 cm de nivelul de călcare actual (fig. 3.B.). Avantajul acestei măsurători este, că poate s-o efectueze o singură persoană, iar dezavantajul se datorează faptului că sondele trebuie fixate relativ la un nivel înalt față de nivelul de călcare. A doua măsurare a fost realizată de două persoane. Una din persoane a manipulat baza electronică, cealaltă persoană a lucrat cu sondele fixate pe o bară. Distanța dintre sonde a fost aceeași, 56 cm, dar distanța sondei inferioare față de nivelul de călcare a fost doar de 75 cm (fig. 3.C). În acest caz, potrivit datelor unui magnetometru special instalat, măsurătorile sondei inferioare au fost reduse bazic, ceea ce ne-a oferit a treia imagine totală de anomalie (fig. 3.A). Valorile anomaliilor sunt prezentate în figurile 3.A., B., C. În fig. 3.D. este prezentată schița clădirii identificate cu ocazia secetei din anul 2003. Din ilustrațiile prezentate se poate constata, că fig. 3.C. este cea mai elocventă. Ea prezintă rezultatele obținute prin măsurare executată cu sonde dispuse la înălțime joasă. Tocmai de aceea pentru măsurătorile următoare a fost aleasă această soluție. Comparând rezultatele măsurătorilor cu schița clădirii, putem constata că urmele zidurilor apar ca anomalii pozitive.

Pe lângă alegerea modului de măsurare, am studiat și modul de defalcare al măsurătorilor. În practica măsurătorilor geofizice este unanim acceptat sistemul de plasă de 1 × 1 m, sistem folosit și de noi.

Rezultate

Pe teritoriul *Porolissum*ului măsurătorile magnetice cu maximă defalcare au fost executate în trei sectoare (fig. 1.):

– Imediat la sud-vest de *porta decumana* (sector J), pe un spațiu de 200 × 60 m;

– În interiorul castrului (sector A), la sud-vest de clădirea comandamentului, pe partea dreaptă a drumului ce duce spre *porta decumana*, pe o suprafață de 70 × 20 m;

– La nord de castru, pe lângă drumul principal dezvelit (sector N), la nord-est de acesta, pe un spațiu de 100 × 60 m.

Pentru toate teritoriile s-a folosit gradientul organizat pe verticală, pe un sistem de plasă 1 × 1 m. Datorită obstacolelor de teren (tufe etc.), care trebuiau ocolite, suprafața măsurată nu prezintă întotdeauna un plan rectangular regulat. Excepție face doar măsurătoarea din interiorul castrului.

În toate cazurile, măsurătorile au fost executate pe un sistem local de coordonate rectangulare, apoi rezultatele au fost prelucrate prin mai multe filtre. Prin aplicarea filtrelor, cu ajutorul programului de prelucrare a imaginilor *ERMapper*, folosind diferite metode matematice, am încercat ca din „zgomotul"

www.muzeuzalau.ro / www.cimec.ro

fondului magnetic să separăm diferitele semnale, considerate importante pentru noi. În toate cele trei cazuri am aplicat mai multe filtre: primul filtru derivat, al doilea filtru derivat, precum filtrul convulțional de protuberanțe. Pe figurile 4, 5 și 6 sunt prezentate datele inițiale și cele filtrate.

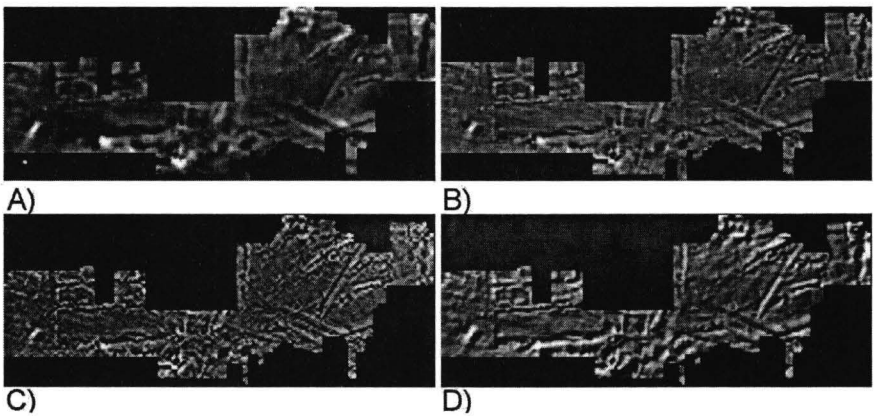

Fig. 4. Imaginea anomaliilor măsurate în fața porții *decumana*: A.: Imaginea inițială; B.: Imaginea după primul filtru derivat; C.: Imaginea după al doilea filtru derivat; D.: Imaginea după folosirea filtrului de protuberanță.

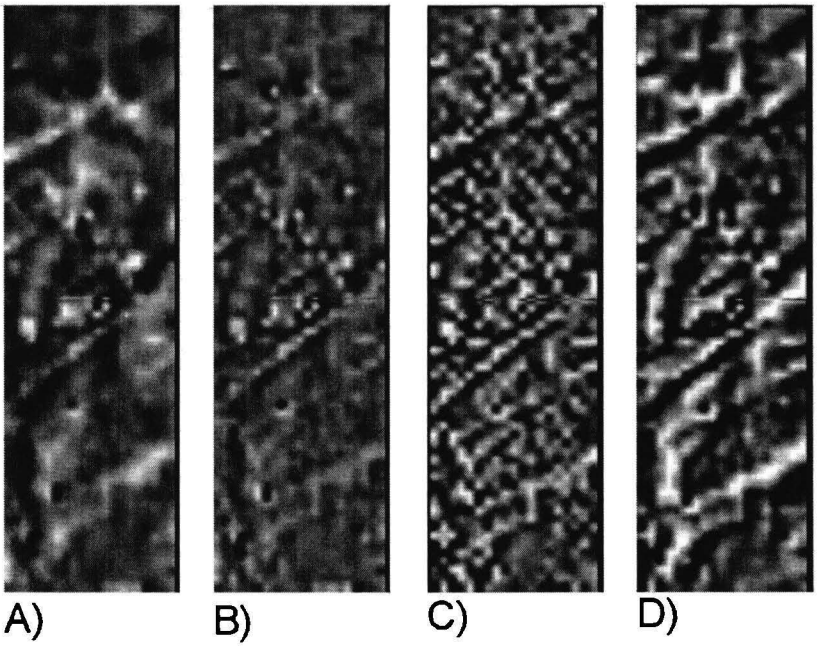

Fig. 5. Imaginea anomaliilor din interiorul castrului. A.: Imaginea inițială; B.: Imaginea după primul filtru derivat; C.: Imaginea după al doilea filtru derivat; D.: Imaginea după folosirea filtrului de protuberanță.

www.muzeuzalau.ro / www.cimec.ro

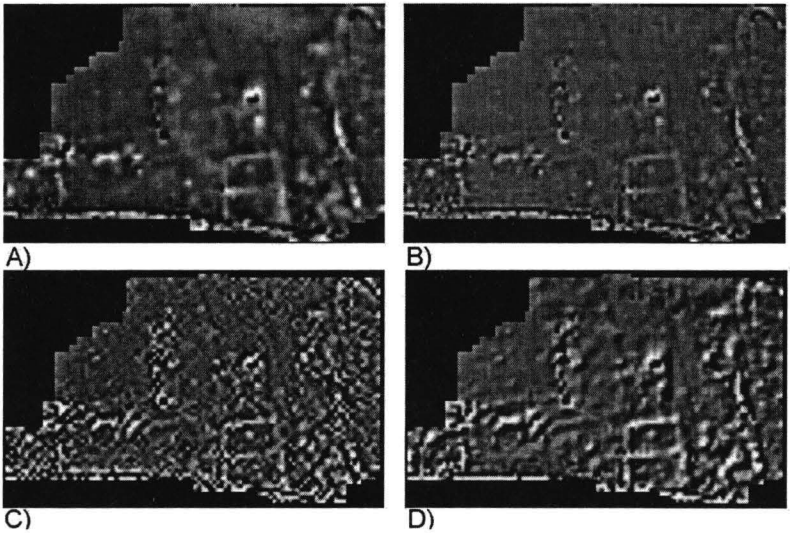

Fig. 6. Imaginea anomaliilor de lângă drumul principal, la nord de castru. A.: Imaginea inițială; B.: Imaginea după primul filtru derivat; C.: Imaginea după al doilea filtru derivat; D.: Imaginea după folosirea filtrului de protuberanță.

Se poate observa că dintre imaginile filtrate cele obținute după folosirea filtrului de protuberanță aduc cele mai multe informații, fiindcă obiectivele căutate, zidurile acoperite de pământ, preiau o formă alungită. Aceste forme alungite sunt întărite de filtru, iar celelalte forme, „zgomotele", anomaliile mici, punctiforme, sunt oprimate. Imaginile anomaliilor rezultate după filtrare sunt prezentate de figurile 7, 8, 9. În toate cele trei zone cercetate se pot bine identifica urmele obiectivelor, a zidurilor îngropate. În unele cazuri se văd bine contururile construcțiilor, chiar și compartimentarea interioară.

În fața porții *decumana* sunt accentuate acele anomalii lung extinse, care probabil sunt provocate de vechile secțiuni arheologice, respectiv urma actualului drum de care, perpendiculară pe acestea.

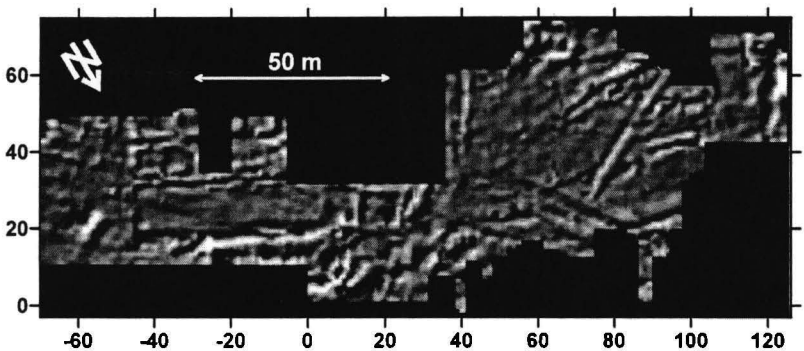

Fig. 7. Imaginea zonei din fața *Porta Decumana*, după folosirea filtrului de protuberanță.

www.muzeuzalau.ro / www.cimec.ro

În partea sud-vestică a castrului, pe partea dreaptă a viei *decumana*, unde până acuma nu s-au făcut sondaje arheologice, pe imaginea ce reprezintă anomaliile magnetice pe o fâşie îngustă, se pot observa contururile unor clădiri, ce sunt aşezate perpendicular pe linia drumului.

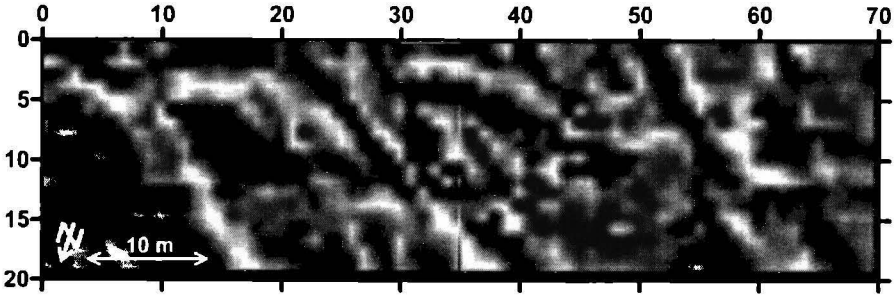

Fig. 8. Imaginea zonei din *retentura* castrului, după folosirea filtrului de protuberanţă.

Pentru zona situată la nord-est de castru, lângă drumul principal, putem constata, că peste tot se pot identifica urme de clădiri. Intensitatea anomaliilor este schimbătoare. Cauza se poate datora faptului, că în multe locuri zidurile au fost scoase de locuitorii zonei, refolosind piatra ca material de construcţie. Dintre imaginile anomaliilor se accentuează o zonă construită de cca. 20 × 25 m, aşezată imediat lângă drum. După imaginea conturată, s-ar putea să fie un templu: este o clădire împărţită în două, iar în spaţiul interior o anomalie puternică sugerează locul unui altar.

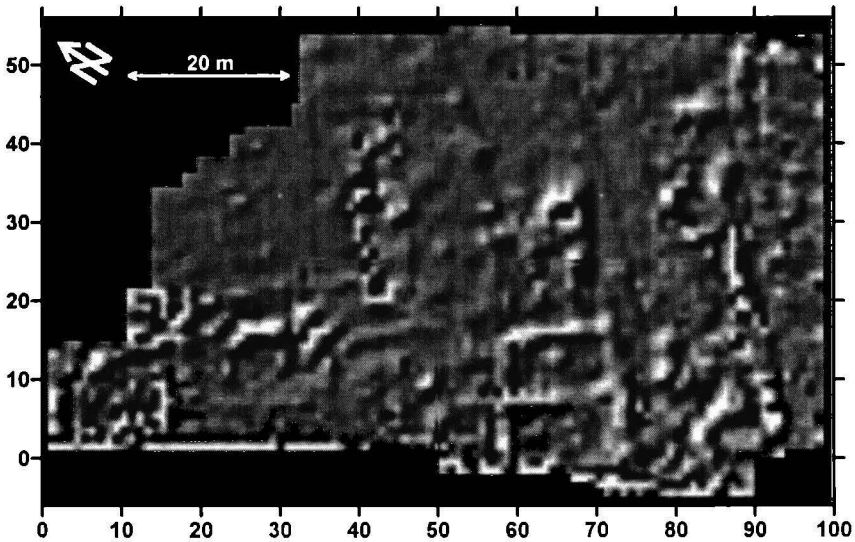

Fig. 9. Imaginea zonei la nord de castru, lângă drumul principal, după folosirea filtrului de protuberanţă.

www.muzeuzalau.ro / www.cimec.ro

Concluzii

Se poate constata că la Porolissum, prin măsurători magnetice de mare defalcare, se pot identifica bine obiectivele arheologice. Acesta se datorează în primul rând faptului, că este o mare diferență magnetică între materialul de construcție (care este în special dacit) și solul pe care s-a construit. Imaginile obținute ale anomaliilor magnetice pot fi de mare ajutor arheologilor, ajutând și la cartarea zonei. Însă este nevoie de o analiză temeinică a imaginilor de anomalii. Acesta nu înseamnă doar o strânsă colaborare cu cercetătorii sau identificarea obiectivelor care produc anomaliile, ci și continuarea filtrării datelor măsurate, folosirea de noi proceduri matematice, ca de ex. aplicarea analizei wavelet.

Bazându-ne pe datele obținute, putem afirma că ar fi necesară extinderea măsurătorilor pe suprafețe mai mari. Astfel s-ar putea carta interiorul castrului, sau alte zone din cadrul așezării.

www.muzeuzalau.ro / www.cimec.ro