

Contract	SERVICII DE PROSPECTARE ȘTIINȚIFICĂ ȘI ARHEOLOGICĂ PENTRU PROIECTUL „REABILITARE CURTEA DOMNEASCA DIN MUNICIPIUL SUCEAVA”
Contract nr.	44972/2022
Proiect nr.	470 / 2022
Beneficiar	MUNICIPIUL SUCEAVA
Contractant	SC ARHITECTURA GRAFICA DESIGN SRL SUCEAVA
Subcontractant	UNIVERSITATEA „ALEXANDRU IOAN CUZA” DIN IASI

CURTEA DOMNEASCĂ (JUD. SUCEAVA)
RAPORT DE CERCETARE GEOFIZICĂ

- **Introdurre**

Cercetările geofizice s-au desfășurat ca urmare a contractului cu numărul 2 din 05.07.2023 încheiat între SC ARHITECTURA GRAFICA DESIGN SRL SUCEAVA și Centrul Arheoinvest (Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași). Echipa de cercetare a fost formată din trei membri, după cum urmează: CS II dr. Andrei Asăndulesei, CS dr. Casandra Brașoveanu și laborant drd. Radu Alexandru Brunchi. Perioada de desfășurare a prospecțiunilor geofizice a fost iulie-august 2023.

Raportul de față detaliază aspectele arheologice și descrie metodologia utilizată în vederea realizării sondajului geofizic. Interpretarea studiului geofizic se realizează prin analiza anomaliilor. Rezultatele investigațiilor sunt discutate mai jos, iar interpretările sunt susținute de ilustrații adecvate. Acolo unde este fezabil, este oferit un rezumat detaliat al anomaliilor și, dacă este posibil, sunt sugerate posibile interpretări.

- **Context istoric și arheologic**

Ansamblul Curtea Domnească din Suceava, cu toate componentele sale, poate fi încadrat cronologic între secolele al XIV-lea și al XVII-lea. Este situat în centrul orașului Suceava, actualmente pe Bulevardul Ana Ipătescu. A fost ridicat la sfârșitul secolului al XIV-lea. Arsă într-un incendiu, Curtea a fost reconstruită de Ștefan cel Mare (1457-1504) și apoi refăcută în timpul lui Vasile Lupu (1634-1653). A fost abandonată la sfârșitul secolului al XVII-lea.

lea, iar zidurile sale au început să fie demantelate. În prezent, se află în curs de cercetare, dar și într-o stare de degradare.

Ansamblul „Curtea Domnească” din Suceava a fost inclus pe Lista monumentelor istorice din județul Suceava în anul 2004, la numărul 1409, având cod LMI SV-II-a-A-05471 și este format din 4 obiective:

Palatul Domnesc - ruine – datând de la mijlocul secolului al XIV-lea și având cod LMI SV-II-m-A-05471.01;

Turn locuință - ruine – datând din secolul al XIV-lea și având cod LMI SV-II-m-A-05471.02;

Turn de poartă - ruine – datând din secolul al XIV-lea și având cod LMI SV-II-m-A-05471.03;

Anexă - ruine – datând din anul 1486 și având cod LMI SV-II-m-A-05471.04.

• Scopuri și obiective

Principalul obiectiv al prezentului demers a fost de a identifica anomalii de relevanță arheologică care ar putea să înlesnească o mai bună înțelegere a resurselor culturale din zona studiată. Concret, obiectivele specifice ale cercetării au fost:

- de a identifica anomaliile geofizice, posibil de origine arheologică, din cadrul zonelor prospectate;
- de a localiza precis aceste anomalii și de a prezenta rezultatele în hărți tematice;
- de a descrie caracteristicile detectate și de a discuta proveniența acestora;
- de a formula un set de recomandări pentru viitoare cercetări astfel încât să se poată aprecia cât mai corect posibil complexitatea situațiilor arheologice întâlnite.

Prin cercetarea de față s-a dorit investigarea prin metode non-invazive a ansamblului Curților Domnești din Suceava. Prospeccțiunile non invazive au fost realizate în două zone-cheie: actualul parc, situat în vecinătatea ruinelor Curții Domnești (Zona 1) și zona delimitată în jurul ruinelor Curții Domnești (Zona 2) (Fig.1.) Metoda principală utilizată a fost cea a măsurătorilor de rezistență electrică a solului, întrucât prezența liniilor de electricitate, traficul, dar și construcțiile prezente în zona vizată, perturbă bună funcționare a altor instrumente folosite în prospectare (precum este cazul georadarului sau magnetometrului). Acolo unde zona a permis, au fost realizate și măsurători de Tomografie Electrică (ERT). Măsurătorile ERT au avut rolul de a verifica adâncimea până la care regăsim anomalii de relevanță arheologică.



Fig. 1. Vedere de ansamblu asupra zonelor vizate pentru prospectare.

• Metodologie

Măsurătorile geofizice au fost derulate în acord cu recomandările de bună practică specificate în cel mai recent ghid elaborat în colaborare cu alte organisme relevante la nivel european de International Society for Archaeological Prospection (ISAP) - *EAC GUIDELINES FOR THE USE OF GEOPHYSICS IN ARCHAEOLOGY. Questions to Ask and Points to Consider*.

Prima dintre metodele utilizate a fost cea de *rezistență electrică a solului*. În cadrul studiului de față, după identificarea zonelor de interes, au fost realizate casete de 20x20 m în funcție de caracteristicile fiecărei zone. Carourile au fost înregistrate cu un sistem GPS RTK Leica, în vederea georeferențierii ulterioare și a suprapunerii, în plan, a rezultatelor. Măsurătorile de rezistivitate electrică au fost realizate în toate zonele vizate, aceasta fiind cea mai accesibilă metodă, dat fiind contextul actual al cercetării (metoda nefiind perturbată de câmpurile electro-magnetice din jur). Achiziția datelor s-a efectuat prin intermediul unor măsurători realizate la distanțe de 50 cm între fiecare punct, atât pe axa x, cât și pe y. A fost prospectată o suprafață de aproximativ 6100 m² (Zona 1, aproximativ 3400 m²; Zona 2, aproximativ 2700 m²). Zonele rămase neacoperite nu au fost accesibile din diverse motive (ruinele existente, arbori sau arbuști, trotuare).

Aparatul utilizat, Geoscan RM-15, a fost configurat conform tabelului 1. Datele au fost descărcate și prelucrate folosind software-ul Geoplot 3.0, fiind ulterior introduse în ArcGIS Pro, în vederea realizării planșelor. Tabelul 2 exemplifică principalii parametri utilizați în procesarea datelor în Geoplot 3.0 pentru a obține rezultatele finale.

Setări Geoscan RM-15	
Dimensiune Carou	20x20m
Sample interval	0,5m
Traverse interval	0,5m
Curent	1mA
Log Speed	Medium
Method	Zig-Zag
Gain	X1
Baud Rate	9600
Configurație aparat	Twin-probe Array

Tabel 1. Setările utilizate pentru achiziția datelor cu instrumentul Geoscan RM-15.

Proces	Effect
Zero mean grid	Elimină efectul de „benzi” care poate apărea ca o consecință a utilizării rețelelor cu mai mulți senzori sau a unei metode de colectare a datelor în zig-zag prin setarea citirii medii pentru fiecare traversă la
Destagger	Îndepărtează eșalonarea datelor introduse prin ritmul inconsecvenței de colectare a datelor și adesea exacerbată prin metodologia zig-zag.
Despike	Elimină vârfurile aleatorii sau citirile înalte pentru a reduce aspectul citirilor dominante, adesea create de obiectele feroase moderne care pot distorsiona rezultatele.
High pass filter	Îndepărtează undele de înaltă frecvență sau anomaliile largi, cum ar fi cele cauzate de variații graduale puternice.
Interpolation	Funcție folosită pentru a netezi sau a reduce aspectul bloc al datelor prin îmbunătățirea densității spațiale și echilibrarea cantității de puncte de date în direcțiile X și Y.

Tabel 2. Principalele funcții folosite în etapa de prelucrare a datelor (Geoplot 3.0).

Măsurătorile ERT. În cazul de față, a fost utilizat aparatul Lippmann 4point Light 10W. Au fost investigate două zone: în prima dintre acestea (amplasată la Nord de ruinele Curții Domnești) au fost efectuate 8 profile paralele, amplasate la distanțe de 1m, cu lungimea de 20m, orientate E-V, pentru care au fost utilizați 40 electrozi activi (ActEle), amplasați la intervale de 0,5 m. În cazul celei de-a doua zone (la Sud de ruinele Curții Domnești) au fost măsurate 4 profile paralele, amplasate la distanțe de 1 m și orientate aproximativ E-V. Au fost utilizați 40 electrozi, amplasați la un interval de 1 m, fiind obținute, astfel, 4 măsurători a câte 40 m, care pot fi procesate atât 2D, cât și în vederea obținerii unei ilustrații 3D. Întrucât lungimea profilului influențează în mod direct adâncimea măsurătorii, pentru primele profile, efectuate în extremitatea de nord a ansamblului, au fost obținute rezultate până la adâncimea de 3 m. În schimb, în cazul celor 4 profile paralele din cea de-a doua zonă, au putut fi generate rezultate până la adâncimea de 8.5 m. Măsurătorile au fost realizate cu ajutorul software-ului Geotest, fiind utilizată configurația Dipole-Dipole. Ulterior, fiecare profil a fost procesat în softul Res2Dinv, fiind realizate inversiuni *Robust model constraint*, utilizate pentru a putea obține delimitările posibilelor anomalii. Eroarea absolută pentru acest tip de inversiune a bazei de date cu șase iterații, a fost de aproximativ 3.5%. Folosind ERT am putut stabili adâncimea până la care putem identifica anomaliile din sol.

Rezultate



Fig. 2. Măsurătorile de rezistivitate electrică.

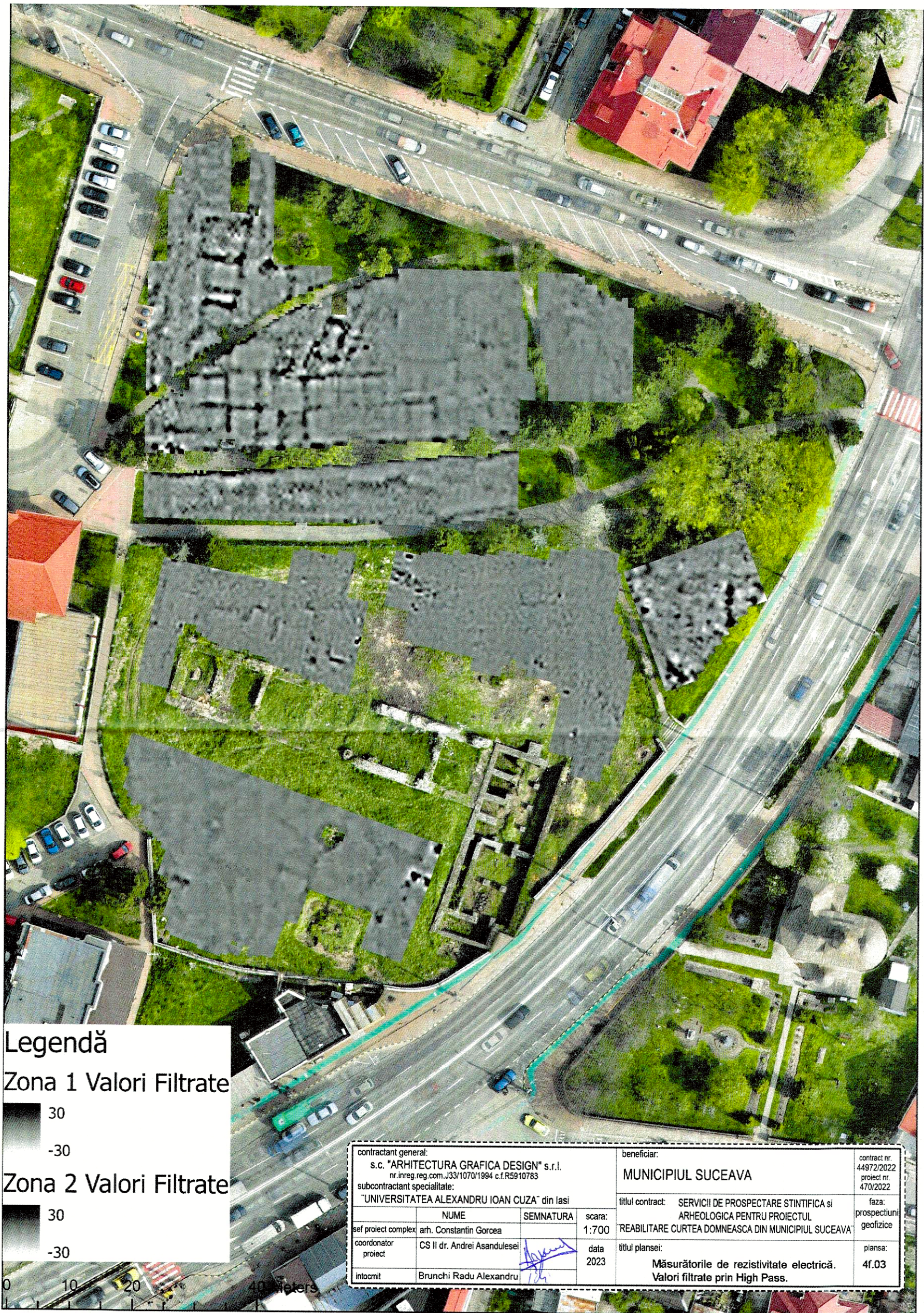


Fig. 3. Măsurătorile de rezistivitate electrică. Valori filtrate prin High Pass.

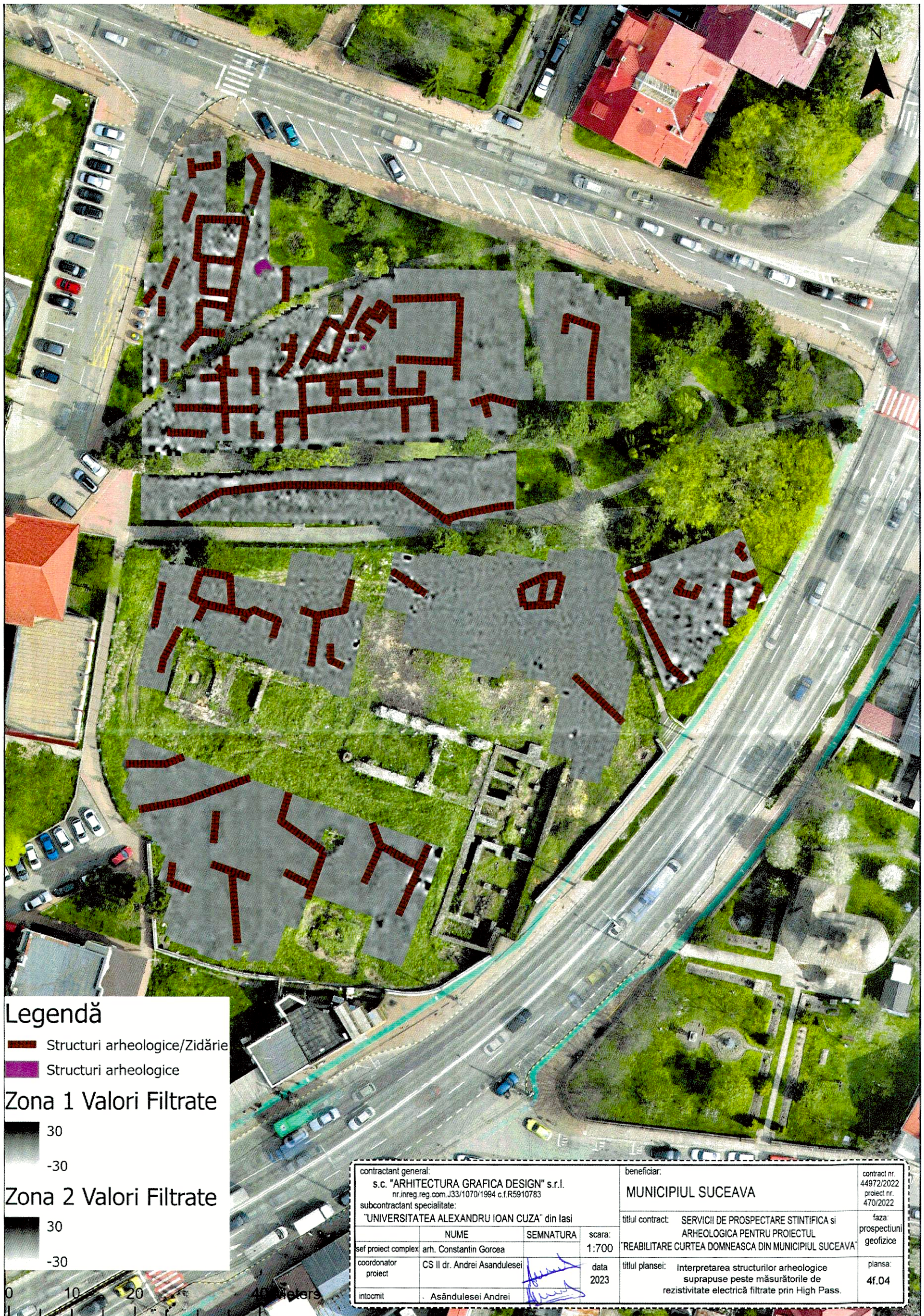


Fig. 4. Interpretarea structurilor arheologice suprapuse peste măsurătorile de rezistivitate electrică filtrate prin High Pass.

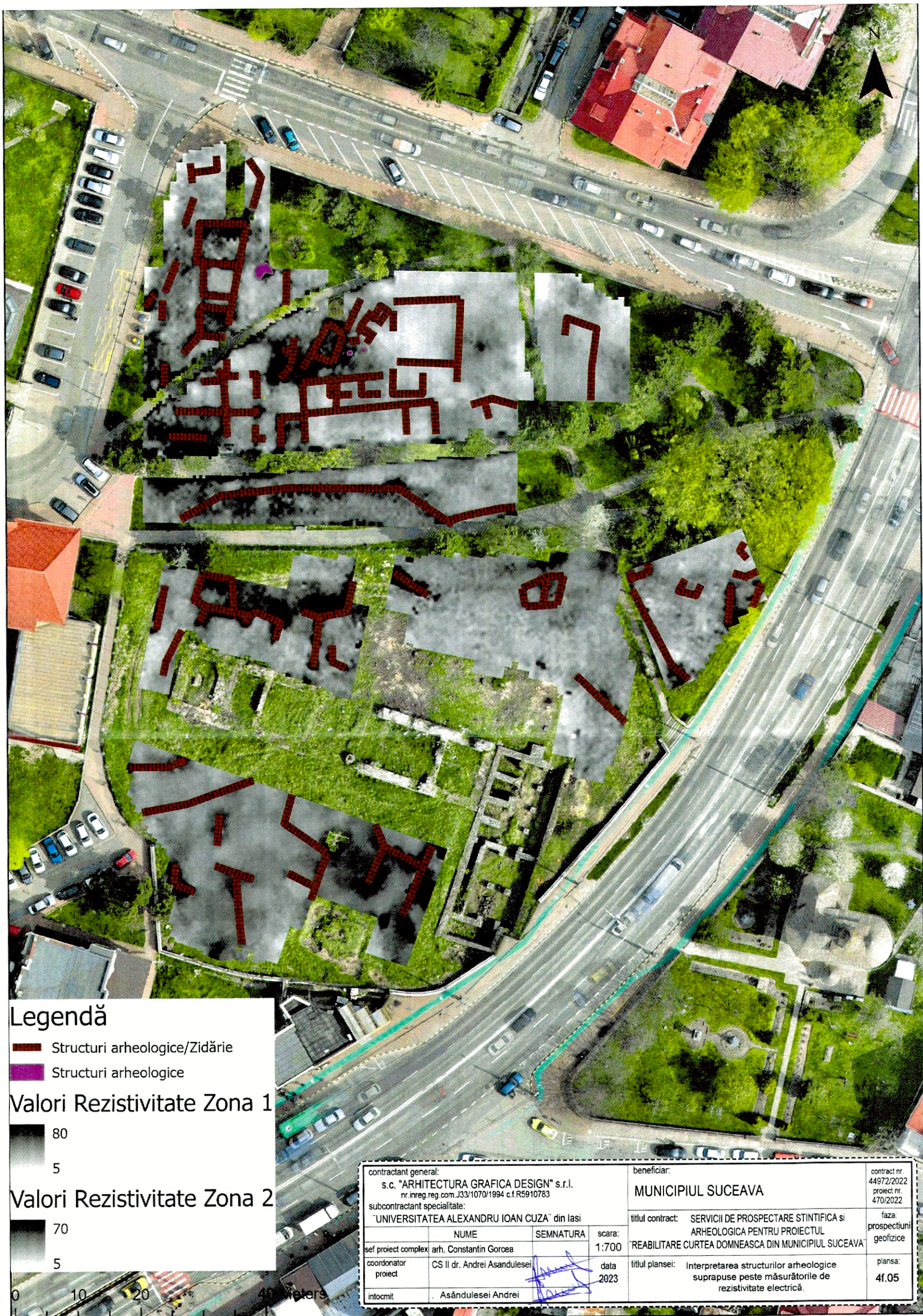


Fig. 5. Interpretarea structurilor arheologice suprapuse peste măsurătorile de rezistivitate electrică.

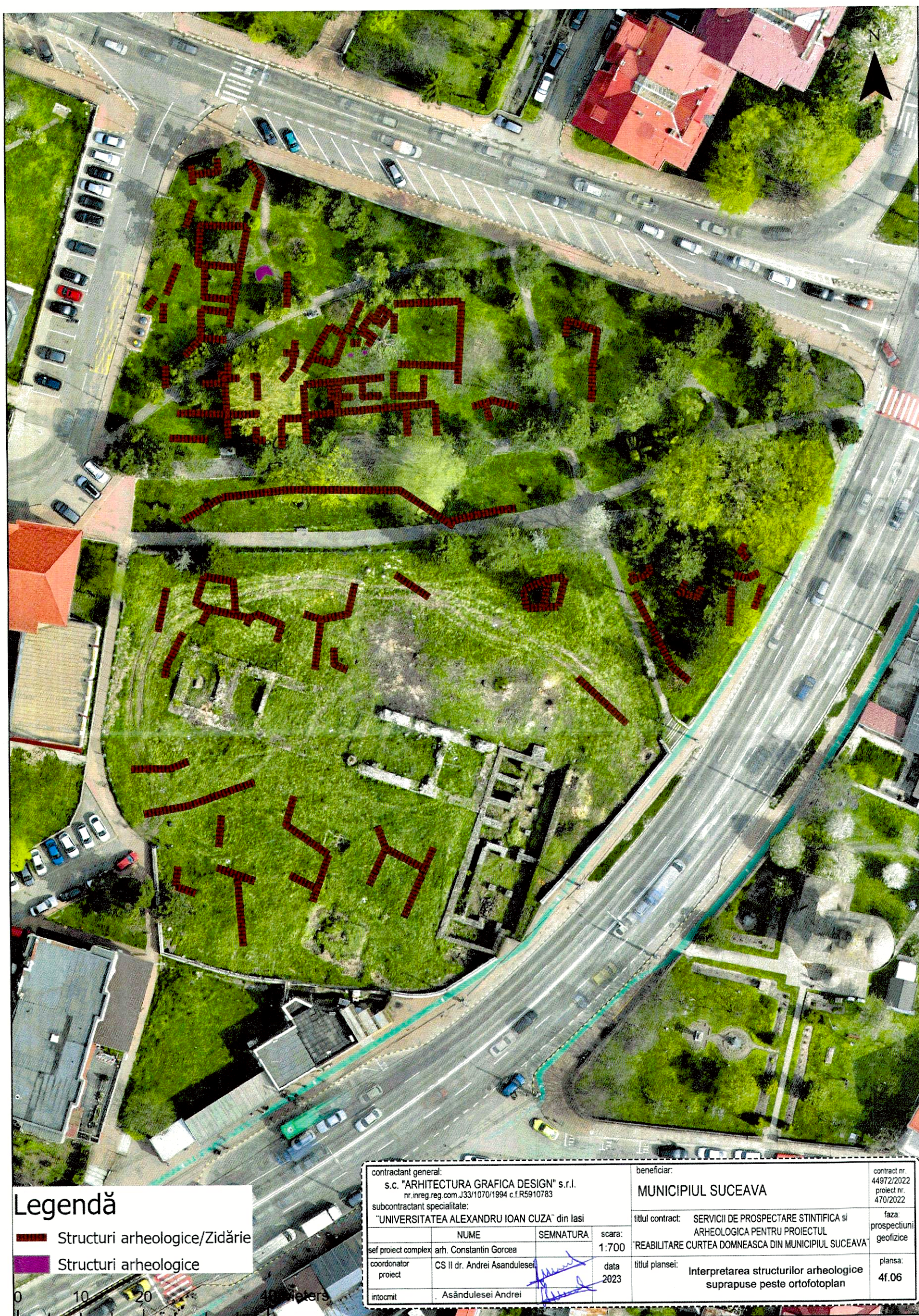


Fig. 6. Interpretarea structurilor arheologice suprapuse peste ortofotoplan.



Fig. 7. Măsurători ERT suprapuse peste ortofotoplan.

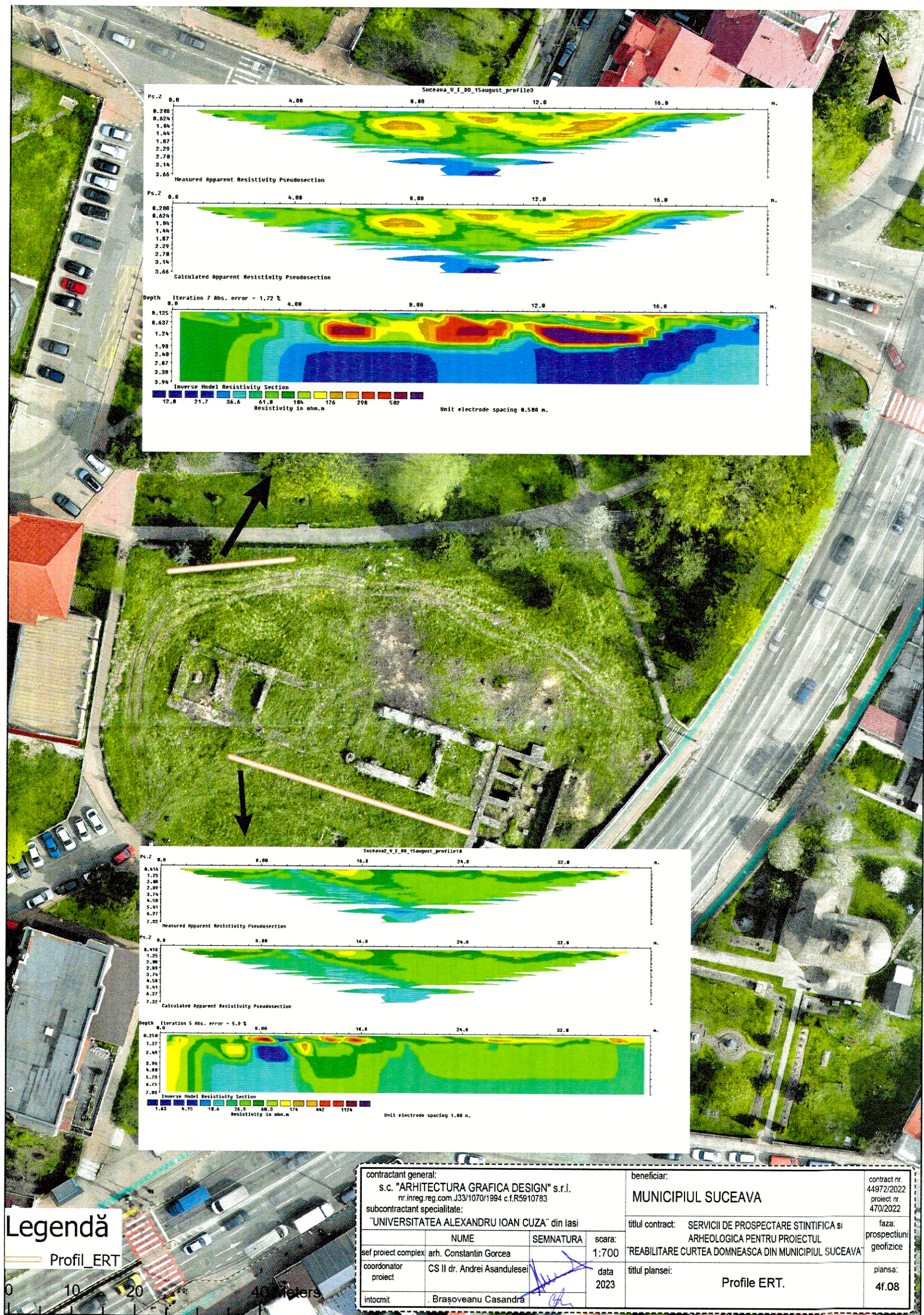


Fig. 8. Profile ERT.

• Concluzii

Prospectările geofizice au relevat o densitate mare de structuri ce pot fi considerate a fi de proveniență arheologică. Investigațiile s-au bazat pe măsurătorile de rezistență electrică a solului metodă ce a generat cel mai bun contrast în urma testelor efectuate aici. Pentru validarea datelor în anumite zone au fost măsurate și profile de tomografie electrică, ce oferă informații mai clare cu referire la adâncimea structurilor.

Dintre cele două zone investigate, în suprafața dinspre nord, aferentă parcului, s-a manifestat un contrast foarte bun, semn că aici structurile identificate nu se află îngropate la mare adâncime (probabil maximum până la 1 m sau 1,5 m). Se distinge o rețea clară de ziduri și fundații de zid, unele dispuse rectangular, ce formează încăperi. Anomaliile detectate par a fi aliniate cu cele două artere principale de circulație din zona, dinspre nord și vest. Totodată, din punct de vedere planimetric, credem că există posibilitatea ca aceste structuri vizibile să nu fie contemporane, unele fiind dispuse diferit față de organizarea majorității.

Cu totul diferită este situația din suprafața sudică (Zona 2). Aici nu mai beneficiem de un contrast extraordinar, asta și din cauză că zona a fost cercetată sau deranjată de alte intervenții, cota terenului fiind mult mai jos decât cea din parc. Cu toate acestea, sunt vizibile câteva structuri clare, de mari dimensiuni, mai masive, diferite de cele din parc, fapt ce ne face să credem că anomaliile detectate aici pot fi dintr-o perioadă mai veche. Unele dintre acestea par a fi în conexiune cu ruinele vizibile ale Curții.

• Bibliografie

1. Asăndulesei Andrei 2015. *GIS (Geographic Information System), fotogrametrie și geofizică în arheologie. Investigații non-invazive în așezări Cucuteni în România*, Editura Universității "Alexandru Ioan Cuza" din Iași, Iași.
2. Conyers Lawrence B. 2004 – *Ground-Penetrating Radar for Archaeology*, AltaMira Press, Walnut Creek – Lanham – New York – Toronto – Oxford.
3. Conyers Lawrence B. 2006 - *Ground-Penetrating Radar*, in: *Remote sensing in archaeology: an explicitly North American perspective* (ed. Jay K. Johnson), University of Alabama Press, Tuscaloosa, p.131-159.
4. Conyers Lawrence B., Cameron Catherine M. 1998 – *Ground-Penetrating Radar Techniques and Three-Dimensional Computer Mapping in the American Southwest*, *Journal of Field Archaeology*, 25, 4, p. 417-430.

5. Gaffney Chris 2008 – Detecting trends in the prediction of the buried past: a review of geophysical techniques in archaeology, *Archaeometry*, 50, 2, p. 313-336.
6. Gaffney Chris, Gater John 2003 – *Revealing the Buried Past. Geophysics for Archaeologists*, Tempus Publishing, Gloucestershire.
7. Goodman Dean, Piro Salvatore, Nishimura Yasushi, Schneider Kent, Hongo Hiromichi, Higashi Noriaki, Steinberg John, Damiata Brian 2009 – GPR Archaeometry, in: *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications* (ed. Harry M. Jol), Elsevier, Amsterdam, p. 479-508.
8. Leckebusch Jürg 2003 – Ground-penetrating Radar: A modern three-dimensional prospection method, *Archaeological Prospection*, 10, p. 213-240.
9. Leckebusch Jürg, Peikert Ronald 2001 – Investigating the True Resolution and Three-dimensional Capabilities of Ground-penetrating Radar Data in Archaeological Surveys: Measurements in a Sand Box, *Archaeological Prospection*, 8, p. 29-40.
10. Neubauer Wolfgang, Eder-Hinterleitner Alois, Seren Sirri, Melichar Peter 2002 – Georadar in the Roman Civil Town Carnuntum, Austria: An Approach for Archaeological Interpretation of GPR Data, *Archaeological Prospection*, 9, p. 135-156.
11. Renfrew Colin, Bahn Paul 1991 – *Archaeology. Theories, methods and practice*, Thames and Hudson, London.

• **Lista Figurilor**

Fig. 1. Vedere de ansamblu asupra obiectivului vizat. Planșă ortofotoplan.

Fig. 2. Măsurătorile de rezistivitate electrică.

Fig. 3. Măsurătorile de rezistivitate electrică. Valori filtrate prin High Pass.

Fig. 4. Interpretarea structurilor arheologice suprapuse peste măsurătorile de rezistivitate electrică filtrate prin High Pass.

Fig. 5. Interpretarea structurilor arheologice suprapuse peste măsurătorile de rezistivitate electrică.

Fig. 6. Interpretarea structurilor arheologice suprapuse peste ortofotoplan.

Fig. 7. Măsurători ERT suprapuse peste ortofotoplan.

Fig. 8. Profile ERT.

Fig. 9. Metode geofizice de cercetare în arheologie (Gaffney 2008, Table 1).

Fig. 10. Clasificarea principalelor tipuri de caracteristici arheologice, în funcție de răspunsul oferit în cadrul metodei rezistivității electrice (Asăndulescu 2015, tabelul 6).

• Anexe – Fundamentele științifice ale metodelor

Pentru o mai bună înțelegere a acestor metode de prospectare geofizică în secțiunea următoare am urmărit prezentarea principiilor de funcționare pentru fiecare dintre metodele amintite anterior și utilizate în prezentul demers.

Prospecțiunile geofizice pot măsura diferite proprietăți fizice ale solului și rocilor, în același timp fiind sensibile și la modificările antropice. În funcție de tipul de instrument folosit, metodele geofizice pot fi clasificate în două grupe principale: pasive și active (Fig. 9). În cazul celor din prima categorie, dispozitivul măsoară direct amplitudinea câmpurilor de perturbare magnetică, gravitațională sau electrică, generată de caracteristicile din sol. În același timp, metodele active presupun introducerea unui semnal în sol și receptarea sa ulterioară, mai mult sau mai puțin modificată, în funcție de vestigiile îngropate (Piro 2009, 28).

<i>Method</i>	<i>Active or passive</i>	<i>Frequency of use</i>
Magnetometry	Passive	High
Electrical resistance/resistivity	Active	High
Ground penetrating radar	Active	High-middle
Electromagnetic	Active	Middle
Magnetic susceptibility	Active	Middle
Metal detectors	Active	Low
Seismic	Active	Low
Microgravity	Passive	Low
Induced polarization	Active	Low
Self-potential	Passive	Low
Thermal	Passive	Low

Fig. 9. Metode geofizice de cercetare în arheologie (Gaffney 2008, Table 1).

Prima dintre acestea, măsurarea *rezistenței electrice a solului*, prima metodă modernă utilizată în cercetarea arheologică, poate fi adaptată în vederea detectării unei game foarte largi de vestigii arheologice, în diverse situații, în care alte metode geofizice nu ar putea oferi rezultate. Principiul care stă la baza măsurătorilor de rezistență electrică a solului este Legea lui Ohm, conform căreia „curentul care trece printr-un material este proporțional cu diferența de potențial sau de tensiune utilizată”. Cu alte cuvinte, un curent electric introdus într-un sol omogen se răspândește uniform. În cazul în care acesta întâlnește obstacole sub forma caracteristicilor arheologice, își schimbă cursul, provocând, astfel, efecte măsurabile la suprafață, iar cartografierea zonelor cu rezistență mică sau mare, din sol, ajută la identificarea anomaliilor care ar putea reprezenta obiective arheologice (Gaffney & Gater 2003, 26). Astfel, rezistența (R) poate fi stabilită prin măsurarea intensității curentului electric (I), care trece

printr-un corp și monitorizarea schimbărilor de tensiune (U): $R=U/I$ (măsurată în *ohmi* - Ω), cu condiția ca fluxul de curent electric să fie menținut constant (Asăndulesei 2015, 176). Trebuie reținut faptul că rezistența și rezistivitatea electrică nu reprezintă același lucru: rezistența este o mărime fizică, prin care se explică proprietatea unui conductor electric de a se opune trecerii curentului (reprezintă inversul conductibilității); rezistivitatea electrică (ρ) este mărimea care caracterizează comportamentul distinct al materialelor sub acțiunea unui curent electric (opusul conductivității). Prima dintre acestea este caracteristică tuturor materialelor prin care curentul circulă, iar cea de-a doua este proprietatea specifică unui anumit material, de a se opune trecerii curentului electric (Asăndulesei 2015, 176-177).

Deși interpretarea rezultatelor obținute în urma măsurătorilor de acest tip poate fi foarte dificilă, din cauza numeroșilor factori care pot influența metoda, a fost identificat un tipar al răspunsurilor pe care principalele anomalii arheologice îl oferă (Fig. 10). Astfel, curentul electric va tinde să circule prin solul umed (de exemplu, un șanț), dar va fi dirijat și în jurul vestigiilor care nu sunt caracterizate de un grad ridicat de umiditate (ziduri).

Anomalii cu rezistență electrică ridicată	Anomalii cu rezistență electrică scăzută
Ziduri	Șanțuri / Gropi
Pietriș	Canale / Rigole
Suprafețe artificiale	Instalații de canalizare
Drumuri	Morminte
Cavouri de piatră	Conducte de metal

Fig. 10. Clasificarea principalelor tipuri de caracteristici arheologice, în funcție de răspunsul oferit în cadrul metodei rezistivității electrice (Asăndulesei 2015, tabelul 6).

Pentru utilizarea în arheologie, cea mai întâlnită configurație este cea cunoscută drept *twin-probe array*, care presupune instalarea pe un cadru mobil a unui electrod care injectează curent electric și a unui altul, care măsoară potențialul, împreună cu un aparat care măsoară rezistența solului. Alți doi electrozi vor fi instalați la distanță de dispozitivul de măsurat, fiind conectați prin intermediul unor cabluri. Această distanță trebuie să fie de cel puțin 30 de ori mai mare decât distanța de separare a electrozilor de pe cadru și influențează, în mod direct, adâncimea până la care metoda acționează. Altfel spus, cu cât distanța dintre aceștia este mărită, poate crește și adâncimea măsurătorii. Astfel, cu distanța de separare de 0,5 m se poate atinge adâncimea de 0,75 m, iar cu o distanță de 1,5 m, anomaliile pot fi identificate până la 1,5 m adâncime (Asăndulesei 2015, 177). Pentru măsurarea rezistenței electrice a solului, am utilizat

dispozitivul RM15 de la Geoscan. Acesta a fost conceput pentru a fi utilizat mai ales pentru configurația *twin-probe array* și are numeroase beneficii. Operatorul trebuie să introducă doar cei doi electrozi, instalați pe cadrul mobil, în sol, iar aparatul va determina singur când a fost efectuată și înregistrată măsurătoarea, dar și când poate fi realizată următoarea, prin utilizarea unui semnal sonor.

O altă metodă de măsurare a potențialului electric al solului este reprezentată de *ERT* (*Electrical Resistivity Tomography*). Această metodă geofizică face parte din categoria celor active întrucât măsoară potențialul electric existent între perechi de electrozi, obținând "radiografii" ale solului. Sistemul poate fi, astfel, folosit pentru a detecta zone țintă care prezintă o conductibilitate diferită, în comparație cu cele înconjurătoare. Datele sunt obținute cu ajutorul unor profile paralele care pot fi interpretate folosind metode de inversiune 3D. Pentru analiza unor structuri considerate simple, cea mai facilă interpretare este cea 2D însă, în cazul unui mediu eterogen, este necesară utilizarea interpretării 3D, pentru a evita eventuale distorsiuni, care pot genera răspunsuri false.

Data,

02.10.2023



Avizat RECTOR,
Prof. univ. dr. Tudorel TOADER

Întocmit,

CS II dr. Andrei Asăndulesci