



UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE GEOLOGIE ȘI GEOFIZICĂ



TEZĂ DE DOCTORAT

**FOLOSIREA METODELOR GEOFIZICE ÎN
ARHEOLOGIE. STUDII DE CAZ ȘI LECȚII**



- REZUMAT -

COORDONATOR ȘTIINȚIFIC:

Prof. Dr. Marian IVAN

DOCTORAND:

Andrei Emilian MIHAI

BUCUREȘTI 2022

Abstract

În ultimii ani, geofizica de suprafață este aplicată în din ce în ce mai multe domenii, de la inginerie și detectarea de utilități până la studii de mediu și arheologie. Arheologia este unul dintre domeniile care a beneficiat cel mai mult din dezvoltarea geofizicii, în special prin prisma numeroaselor metode care au devenit accesibile în ultimii ani.

Dar studiile de geofizică în arheologie sunt, deseori, subfinanțate, mai ales deoarece nu produc beneficii financiare imediate. Mai mult, în România, aplicarea pe scară largă a geofizicii în arheologie nu este încă la nivelul care poate fi observat în alte țări.

În acest proiect sunt prezentate mai multe metode a aplica metodele geofizice în studii arheologice. Mai multe metode sunt discutate (electrice, magnetice, georadar, date aeriene, date satelitare), fiecare cu avantajele și dezavantajele lor. Metodele sunt utilizate atât separat cât și împreună, într-o formă integrată. Se pune accent pe aplicarea lor într-un context real (nu ideal), discutându-se situații și provocări ce sunt întâlnite deseori în practica de geo-arheologie. De asemenea, un interes special este acordat soluțiilor open-source, accesibile financiar, care ar putea fi utilizate la scară largă în România. Studiul este unul interdisciplinar ce prezintă mai multe perspective.

Sunt prezentate date din mai multe studii de caz, precum și modele geofizice și abordări pentru dezvoltarea și asamblarea de echipament geofizic. Direcții potențiale pentru cercetare sunt de asemenea discutate. În cele ce urmează în acest rezumat sunt prezentate doar câteva elemente reprezentative din studiu.

Cuprins

Abstract	2
1. Introducere.....	6
2. Considerente teoretice și generale.....	7
3. Geofizica în arheologie	9
4. Metodologie, aparatură și software	17
5. Măsurători și studii de caz.....	23
6. Discuții și concluzii.....	43
7. Bibliografie selectivă.....	45

Tabel de figuri

Figură 1. Dispozitive geoelectrice comune.	7
Figură 2. Anomalii geomagnetice peste obiective comune în arheologie.	8
Figură 3. Exemplu de achiziție date georadar de-a lungul profilelor.	9
Figură 4. Electrozi rupți în urma măsurătorilor într-o zonă cu sol foarte uscat.	10
Figură 5. Rezultatele unei campanii de achiziție GPR în interiorul unei biserici (din Mihai, 2014).	11
Figură 6. Ilustrație a unui dispozitiv twin probe.	12
Figură 7. Corelarea cu hărți istorice poate evidenția elemente notabile. Exemplu din Biblioteca Națională a Scoției.	13
Figură 8. Comparatie între date Google Earth și date Lidar open source din Cumbria, UK.	14
Figură 9. Comparatie între date open-source Lidar (stânga) și Google Earth (dreapta) în Devon, UK. .	14
Figură 10. Comparatie între date satelitare în 2018 (stânga) și 2016 (dreapta).	15
Figură 11. Imagine satelitară de la o zonă cu potențial arheologic din România (locație nedezvăluită).	15
Figură 12. Variația poziționării GPS în decursul a 24 de ore.	16
Figură 13. Model de elevație (DEM) care scoate în evidență o movilă în partea stângă a măsurătorilor. În caseta zoom-in sunt vizibili utilizatorul, Bicicleta sa, și rucsacul folosit pentru transportul echipamentului.	18
Figură 14. Un prototip pentru multiplexer.	19
Figură 15. Un alt prototip în timpul măsurătorilor.	19
Figură 16. Sistemul de poziționare asamblat aici consta din două cipuri cu capabilitate RTK/DGPS (jos), două antene specializate (una prezentată aici), și cipuri adaptoare (stânga).	20
Figură 17. Un model al unui mormânt cu un contrast slab de permitivitate față de mediul înconjurător.	21
Figură 18. Semnalul GPR produs de scenariul de mai sus, contrast pozitiv de permitivitate.	21
Figură 19. Semnalul GPR produs de scenariul de mai sus, contrast pozitiv de permitivitate.	21
Figură 20. Un model al unor calcare așezate aproximativ (dar nu perfect) orizontal.	22
Figură 21. Semnalul GPR produs de scenariul de mai sus.	22
Figură 22. Rezultatul prospectării Wenner la situl Valea Nandrulei.	23
Figură 23. Rezultatul prospectării Wenner la situl Cladova.	24
Figură 24. Săpătură arheologică în zona Ardeu.	25
Figură 25. Fotografie aeriană a sitului. Sursă: Muzeului de Istorie „Paul Păltănea”	26
Figură 26. Datele de prospectare electrică din jurul școlii. Este posibil ca poziționarea uneia dintre zone să fi suferit un offset.	27
Figură 27. Datele de prospectare GPR din jurul școlii. Este posibil ca poziționarea uneia dintre zone să fi suferit un offset.	27
Figură 28. O suprafață mică prospectată magnetic în zona "La Pin".	28
Figură 29. Același rezultat ca mai sus, cu forme diferite de vizualizare.	28
Figură 30. Date magnetice din zona grădiniței.	29
Figură 31. Date geoelectrice din zona grădiniței.	30
Figură 32. Pseudosecțiune a unui profil, obținută cu Res2DINV.	31

Figură 33. Pseudosecțiune a aceluiași profil, obținută cu Resipy.	32
Figură 34. Pseudosecțiune a unui profil, obținută cu Res2DINV (sus) și Resipy (jos).	32
Figură 35. Pseudosecțiunea geoelectrică suprapusă peste secțiunea de săpătură.....	33
Figură 36. Profilul GPR realizat deasupra secțiunii de săpătură.	34
Figură 37. Exemple de profile din jurul Casei Cuza.	35
Figură 38. Achiziționarea (sus) și rezultate reprezentative (jos) de date georadar din Casa Cuza.	36
Figură 39. Ortomozaic (sus) și DEM (jos) al movilei mai mari.....	38
Figură 40. Două profile topografice pe movila mai mare.	39
Figură 41. Ortomozaic în jurul movilei mai mici. Erori de poziționare sunt evidențiate.	40
Figură 42. Model DEM după corecții de poziționare.	40
Figură 43. Poziționarea movilei pe baza datelor topografice și profilele ERT realizate pe această movilă.....	41
Figură 44. Profil topografic al unui profil ERT.	41
Figură 45. Exemplu de date ERT fără introducerea topografiei (primul profil), urmate de profilul topografic și modificările pe care le aduce introducerea corecțiilor microtopografice.	42

1. Introducere

Capitolul 1. începe cu o descriere scurtă a istoriei geofizicii și a conturării aplicațiilor potențiale ale geofizicii. Este menționat faptul că geofizica aplicată este de multe ori utilizată ca o unealtă în alte domenii, fie pentru a răspunde la anumite întrebări, fie pentru a analiza non-invaziv anumite structuri. Este descrisă succint abordarea flexibilă și interdisciplinară.

De la început, s-a încercat cristalizarea studiului de aici într-o formă care să răspundă la patru întrebări de cercetare:

- Ce metode geofizice sunt cel mai bine potrivite pentru detectarea obiectivelor arheologice din mediile din România?
- Cum pot aceste metode fi aplicate cel mai bine pentru a detecta obiective arheologice în acest context?
- Ce îmbunătățiri sau ajustări pot fi utilizate pentru a îmbunătăți eficiența acestor metode, luând în considerare și limitările și provocările practice?
- Ce lecții pot fi învățate din studiile de caz și cum pot fi aceste lecții folosite pentru a avansa practica geo-arheologică în România?

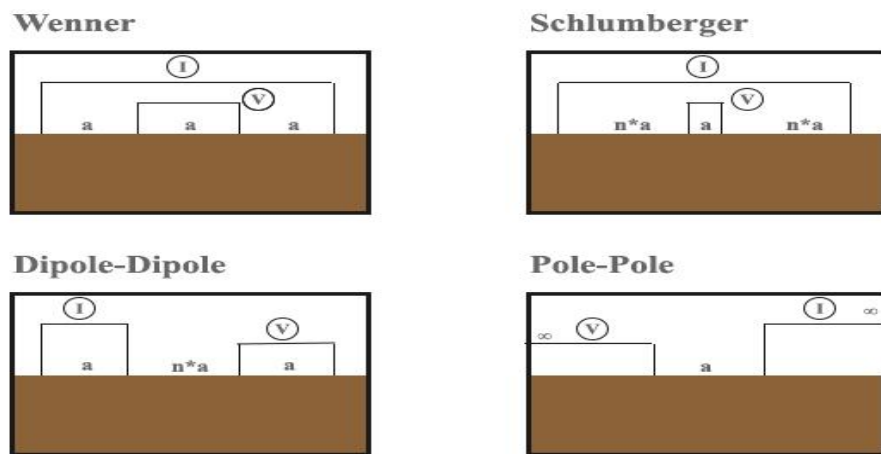
De asemenea, mai multe întrebări secundare, complementare, au apărut pe de-a lungul studiului:

- Există date satelitare open-source ce ar putea fi folosite într-un context arheologic, și dacă da, cum ar putea fi folosite?
- Ce cumul de informație poate fi obținut dintr-un studiu geo-arheologic?
- Cum poate fi realizată poziționarea zonelor de interes cu precizie, fără a utiliza echipament foarte scump?
- Cum poate fi îmbunătățită metoda de achiziție pentru a acoperi o zonă cât mai mare cât mai repede?
- Este posibilă reducerea costurilor asociate cu măsurătorile geofizice, pentru a face aceste măsurători mai accesibile în arheologia din România?
- Pot fi folosite modelele geofizice pentru a ajuta în măsurătorile și interpretarea datelor geo-arheologice?

2. Considerente teoretice și generale

Deși studiul este unul interdisciplinar, de geofizică aplicată, considerentele teoretice ale geofizicii sunt tratate cu atenție. Capitolul 2. prezintă un rezumat al teoriei din spatele acestor metode geofizice. Trei metode geofizice au fost selectate și sunt discutate aici: metodele geoelectrice, geomagnetice, și georadar.

Metodele geo-electrice sunt discutate în prima parte a capitolului. Principiul de bază al acestor metode este bine cunoscut: curentul electric este injectat prin electrozi înfiți în pământ (electrozi de injecție), iar apoi este măsurată diferența de potențial dintre alți electrozi (electrozi de măsură). Această diferență de potențial este folosită în algoritmi de inversie pentru a releva parametrii electrici (rezistivitate) ai subsolului. În practică, sunt deseori folosite dispozitive specifice cu 4 electrozi (ie Wenner, Schlumberger, Dipol-Dipol, etc),. Există însă de asemenea dispozitive discutate în literatură (Wilkinson et al., 2006), dar deși acestea sunt discutate în lucrare, nu ocupă un loc central. Metodele geoelectrice sunt aplicate în numeroase ramuri ale geofizicii de suprafață, inclusiv (dar nu numai) studii de inginerie, mediu, mineralizări, și desigur, arheologie. Sunt prezentate principii de bază ale metodei, precum și valori de rezistivitate ale unor materiale și roci comune.

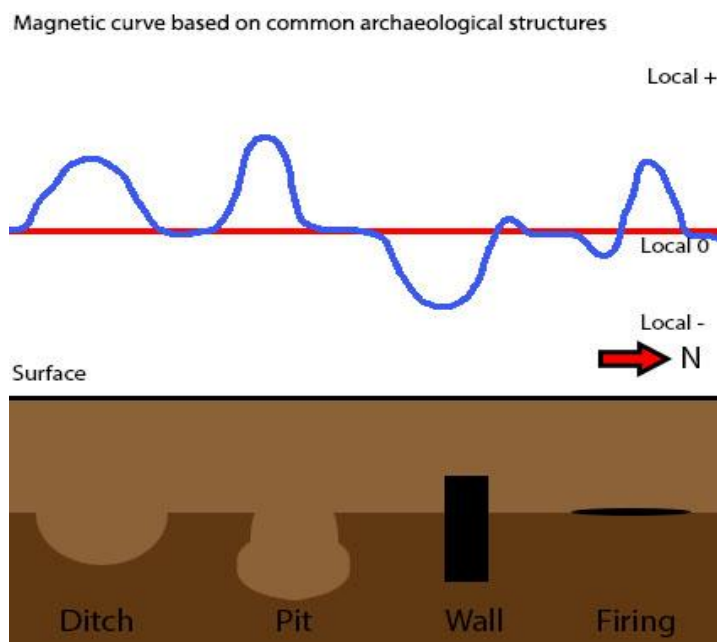


Figură 1. Dispozitive geoelectrice comune.

Există două metode de a aplica metodele geoelectrice: în planul vertical sau în planul orizontal. În planul orizontal, rezultatul este o cartare geoelectrică la o anumită adâncime, care depinde de distanța dintre electrozi. În plan vertical, rezultatul este fie 1D (sondaj electric vertical), fie 2D (pseudosecțiune). De asemenea, pot fi realizate și măsurători 3D. În practica modernă, profilarea geoelectrică este realizată deseori cu dispozitive multielectrod, cu mai multe canale, în care o consolă centrală (sau un computer/tabletă) determină geometria electrozilor de injecție și de măsură (Griffiths & Barker, 1993, 1994; Loke & Barker, 1996; Loke, 1999).

Elemente de bază ale metodei geomagnetice sunt discutate de asemenea, mai ales că este metoda cea mai populară în arheologie (Fedi et al., 2017). Este de asemenea o metodă cu o lungă istorie, și cu mai multe tipuri de aparatură ce poate fi folosită. Aplicații tipice sunt descrise, precum și valori de susceptibilitate pentru materiale tipice și alte elemente legate de practica de achiziție (filtrări, corecții, etc).

Mai multe tipuri de aparatură sunt discutate (fluxgate, precesie protonică, gradiometru, etc). Tipuri de anomalii potențiale sunt prezentate ca un exemplu, precum și alți factori ce pot influența detecția de obiective (contrastul geofizic, adâncimea, etc).



Figură 2. Anomalii geomagnetice peste obiective comune în arheologie.

Georadarul, o metodă electromagnetică este prezentat apoi. La fel ca la celelalte metode, este descris principiul de funcționare, precum și potențiale aplicații, care variază de asemenea foarte mult (deși georadarul este o metodă relativ nouă față de celelalte două). Avantajele georadarului sunt discutate (este o metodă rapidă, cu o rezoluție excelentă), precum și dezavantajele acestuia (adâncime de pătrundere relativ mică, vulnerabil la soluri nefavorabile și contact imperfect dintre antenă și sol). De asemenea, valori de permitivitate pentru materiale comune sunt prezentate, precum și aspecte relevante legate de propagarea undelor electromagnetice în sol.



Figură 3. Exemplu de achiziție date georadar de-a lungul profilelor.

Sunt discutate elemente care afectează calitatea datelor GPR (fenomene fizice precum dispersia sau atenuarea, dar și caracteristici legate de frecvența antenei), precum și parametri relevanți pentru achiziția de date.

3. Geofizica în arheologie

Următorul capitol prezintă aspecte legate de particularităților acestor metode geofizice atunci când sunt aplicate în studii de arheologie. Aplicarea metodelor geofizice în arheologie nu este, în sensul strict, diferit de alte aplicații. Spre exemplu, progresul puterii de procesare a datelor oferă un avantaj în mai toate metodele geofizice (Kvamme, 2006; Rücker et al., 2017), inclusiv în arheologie. De asemenea, ca o aripă a geofizicii deseori subfinanțată (Urbini et al.,

2007), unde scopurile sunt deseori științifice sau de protejarea patrimoniului istoric, geo-arheologia a beneficiat de implementarea metodelor mai ieftine și accesibile.

Geo-arheologia este, prin definiție, un domeniu interdisciplinar. Deseori, nu sunt implicate însă doar geofizica și arheologia, ci apar și elemente de pedologie, geochimie, inginerie, istorie, morfologie, matematică, programare, etc. Analiza și interpretarea rezultatelor geofizice este de asemenea un proces complex și interdisciplinar, și este indicat să fie realizat în colaborare cu expertiza arheologică. Elementele pragmatice joacă deseori un rol important, deoarece anumite situri sunt greu accesibile (mai ales cu aparatura) sau dificile din varii motive. Mai mult, obiectivele în geo-arheologie diferă față de alte ramuri ale geofizicii deoarece obiectivele sunt antropice, nu naturale, ceea ce provoacă deseori alt tip de contrast geofizic.

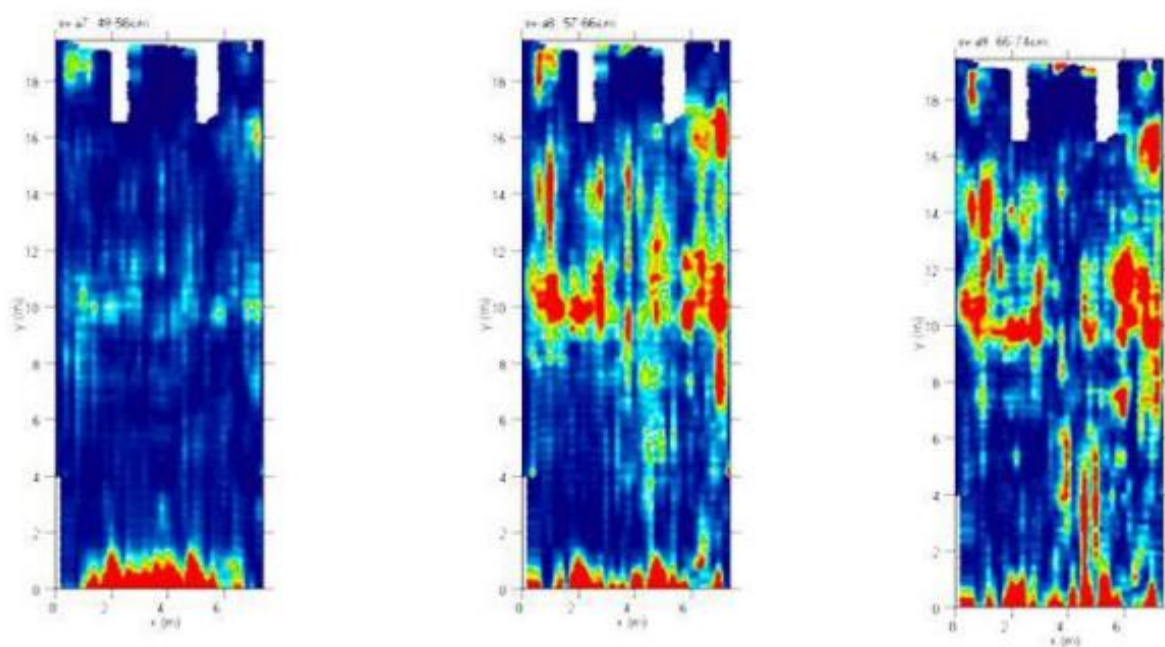


Figură 4. Electrozi ruși în urma măsurărilor într-o zonă cu sol foarte uscat.

Aplicarea georadarului într-un context arheologic este destul de puțin diferită de alte domenii. Metoda are o vastă aplicabilitate, fiind folosite de la studii de situri neolitice (Dabas et al., 1999) până la urme ale războiului modern (Fernández-Álvarez et al., 2016). Este demn de menționat faptul că elementele de achiziție, procesare, și interpretare (Conyers, 2015; Novo et al., 2008) ridică provocări semnificative. Dacă sunt realizate profiluri paralele sau perpendiculare (ceea ce a fost și cazul aici), distanța între ele trebuie să fie mai mică decât dimensiunea obiectivelor. În practică, profilurile nu ar trebui să fie la o distanță mai mare de

0.5 metri decât dacă se urmăresc obiective relativ mari. De asemenea, există un compromis între adâncimea de investigare și rezoluție, unde antenele cu frecvență mai mare au rezoluție mai bună dar adâncime mai mică și vice versa.

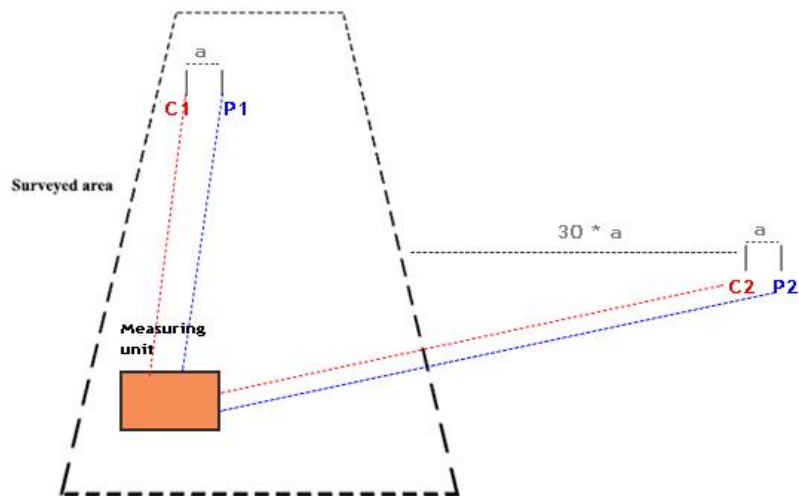
În practica de georadar în arheologie, sunt deseori identificate reflexii notabile, dar interpretarea lor este dificilă (Kvamme, 2018). Acesta a fost și cazul aici. Pentru identificarea datelor georadar, continuitatea laterală și geometria în plan a reflexiilor a fost foarte importantă. Sunt prezentate mai multe tipuri de reflexii tipice și elemente caracteristice obiectivelor arheologice pe profiluri georadar. De asemenea, este de notat faptul că metoda georadar poate fi aplicată neinvaziv și în interiorul clădirilor.



Figură 5. Rezultatele unei campanii de achiziție GPR în interiorul unei biserici (din Mihai, 2014).

Metodele geoelectrice aplicate în arheologie au mai multe particularități. În primul rând, adâncimea de investigare este mai mică decât în majoritatea altor studii. De asemenea, rareori sunt de interes valorile absolute – obiectivul este identificarea structurilor și elementelor arheologice pe baza contrastelor. Metodele geoelectrice sunt de asemenea relativ încete față de georadar și magnetometrie. Din aceste două motive, o anumită metodă numită *twin probe array* (metoda matriței duble, o variație a dispozitivului pol-pol) a devenit populară în arheologie. În această metodă, se folosesc doar doi electrozi mobili (unul de injecție și unul de

măsură), în vreme ce alți doi electrozi sunt înfiți “la infinit” – la o distanță de peste 30 de ori mai mare decât distanța dintre perechile de electrozi (Gaffney, 2008) .



Figură 6. Ilustrație a unui dispozitiv twin probe.

Această metodă a devenit comună în arheologie (Armstrong, 2010; Keay et al., 2009; Kvamme, 2006) nu datorită vreunui avantaj geofizic sau științific, ci datorită faptului ca datele pot fi achiziționate mult mai rapid și în mai puțini oameni (ceea ce este descris și la studiile de caz). Metoda este descrisă în amănunt în teză.

Sunt de asemenea discutate anumite aspecte legate de interpretarea anumitor elemente arheologice relativ comune și incertitudinile ce pot fi aduse de astfel de măsurători. Chiar și în cazul unui simplu șanț, umplut ulterior cu sol, nu este mereu clar ce tip de anomalie ne-am aștepta să producă. Materialul solului este mai poros, ceea ce înseamnă că poate absorbi și mai multă umezeală (Ranson & Egloff, 1988), dar poate fi și mai rezistiv în lipsa precipitațiilor (Schmidt, 2008). Dificultăți în interpretarea datelor sunt prezentate și în studii de caz.

În cazul metodelor geomagnetice, variațiile produse de elemente arheologice sunt în general pronunțate. Având în vedere ușurința cu care poate fi aplicată această metodă și rapiditatea cu care pot fi efectuate măsurători, este lesne de înțeles popularitatea metodelor geomagnetice în arheologie. Există totuși limitări: uneori, metoda nu poate fi aplicată (din cauza cablurilor de înaltă tensiune sau a unor clădiri, spre exemplu). Sunt prezentate și

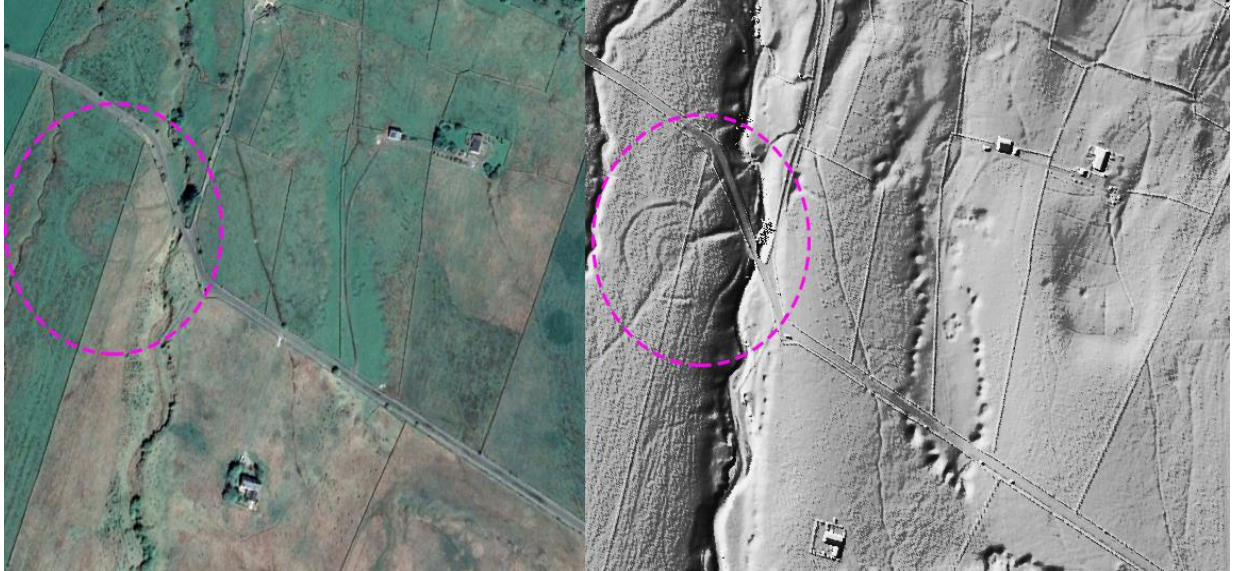
anumite inovații ce pot fi aplicate la nivelul achiziției de date. Spre exemplu, în mediul geo-arheologiei comercial din anumite țări precum Marea Britanie, pentru a acoperi zone mai mari, sunt folosite ATV-uri conectate la mai mulți senzori. Se pot efectua măsurători și din dronă, însă ambele aceste variante sunt, la ora actuală, un lux pentru geo-arheologia din România. O altă variantă cu potențial mai real ar fi aplicarea unor senzori accesibili de tip fluxgate, care au devenit din ce în ce mai preciși datorită dezvoltării tehnologice din ultimii ani (Gavazzi et al., 2019).

După metodele geofizice propriu-zise, sunt discutate și metode aeriene. Mai multe țări au baze de date satelitare cuprinzătoare, iar aceste date pot fi folosite la descoperirea de structuri arheologice, sau la analiza lor și planuirea de campanii de achiziție la sol.



Figură 7. Corelarea cu hărți istorice poate evidenția elemente notabile. Exemplu din Biblioteca Națională a Scoției.

Datele de Lidar pot fi de asemenea foarte importante pentru studii de arheologie, precum și date satelitare de acces public, cum ar fi spre exemplu Google Earth. Atunci când acestea sunt disponibile, la rezoluție satisfăcătoare, este recomandată analiza lor în paralel deoarece anumite elemente ar putea fi mai ușor distinse pe o variantă sau cealaltă.



Figură 8. Comparație între date Google Earth și date Lidar open source din Cumbria, UK.

Astfel, au fost identificate câteva locații de interes, deși locația lor nu este publicată pentru a le proteja de potențiale intervenții nedorite.



Figură 9. Comparație între date open-source Lidar (stânga) și Google Earth (dreapta) în Devon, UK.

Este notabil faptul că uneori, elementele arheologice sunt mai vizibile pe datele de Lidar, iar altele, pe alt tip de date satelitare. De asemenea, perioada în care datele sunt analizate este importantă, deoarece pot fi variații sezoniere (sau de la an la an) semnificative.



Figură 10. Comparație între date satelitare în 2018 (stânga) și 2016 (dreapta).



Figură 11. Imagine satelitară de la o zonă cu potențial arheologic din România (locație nedezvăluită).

Sunt discutate de asemenea metode ce pot oferi date aeriene cum ar fi fotogrammetria sau termometria. Sunt menționate mai multe posibilități de achiziție a acestor date, inclusiv dronă sau chiar și fotografie cu ajutorul zmeului.

Ulterior, sunt discutate elemente de poziționare. Poziționarea în geo-arheologie are un rol dublu: de a determina geometria zonei prospectate și de a poziționa zona cercetată într-un sistem de coordonate. În ciuda progreselor rapide din zona poziționării globale, aceste sisteme nu oferă încă precizia necesară în geo-arheologie (cel puțin în zonele studiate).



Figură 12. Variația poziționării GPS în decursul a 24 de ore.

Există însă moduri de a amplifica capacitatea acestor rețele de poziționare. GPS diferențial (DGPS) sau Real Time Kinematic (RTK) sunt astfel de soluții care folosesc un sistem de referință la sol pentru amplificarea preciziei poziționării. Sunt prezentate aceste metode, precum și altele ce pot oferi precizia necesară (cu mențiunea ca unele astfel de sisteme ridică probleme financiare iar lucrarea de față urmărește și implementarea de soluții low-cost).

Alte abordări ce pot ajuta în probleme de poziționare sunt pozele aeriene și/sau fotogrammetria și poziționarea relativă. Practic, atunci când nu există nici o altă variantă de încredere, se pot măsura distanțe din colțurile zonei măsurate până la alte elemente identificabile fixe, iar pe baza acestor distanțe, se poate triangula poziția.

Fiecare dintre aceste metode poate fi aplicată separat și oferi informații utile. Însă acolo unde este posibil, este recomandată integrarea mai multor date geofizice.

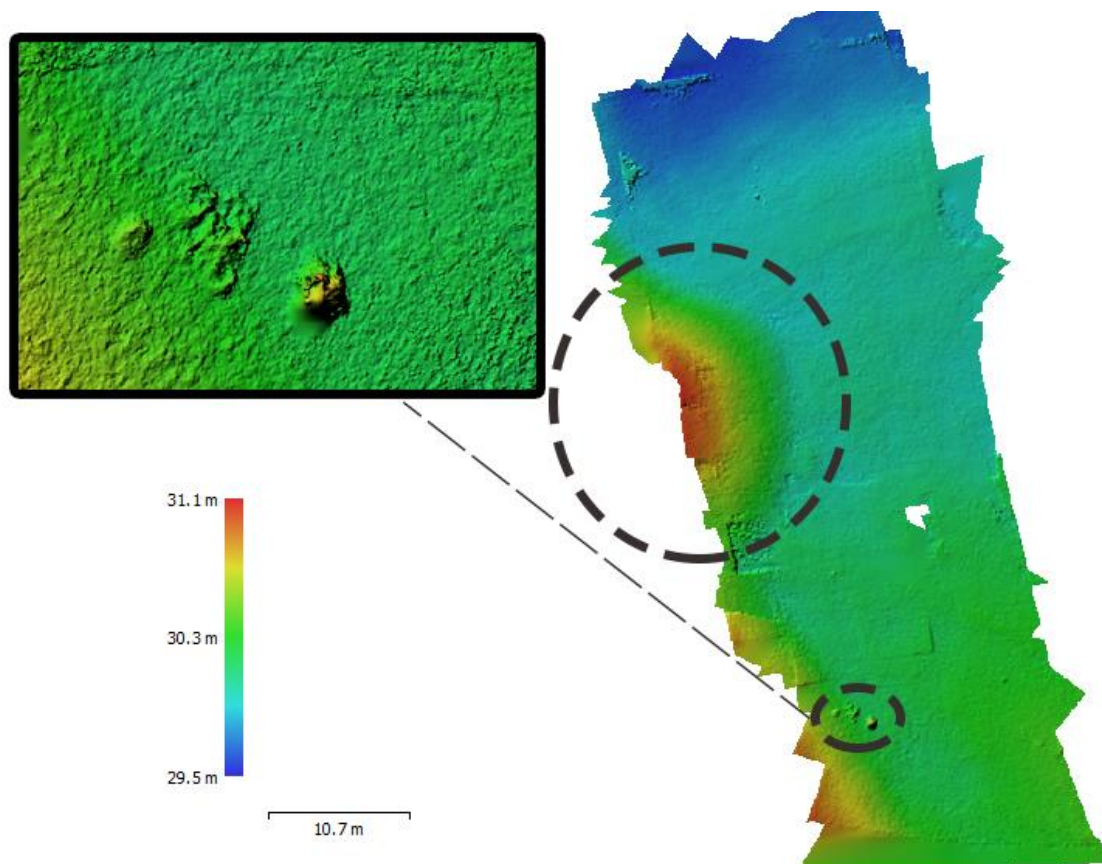
4. Metodologie, aparatură și software

Secțiunea 4. descrie metodologia folosită, precum și aparatura și algoritmi și software-urile folosite. Caracterul multidisciplinar al abordării folosite este descris, precum și abordarea practică, centrată pe găsirea de soluții implementabile într-un mod realist, nu idea. În această secțiune sunt descrise de asemenea mituri și dezinformări ce apar uneori în colaborarea dintre geofizicieni și arheologi din România și care pot pune piedici în calea colaborărilor dintre aceste două domenii.

Aparatura este descrisă pe scurt: antene georadar de frecvențe diferite (cel mai mult au fost folosite cele de 200 MHz și 400 MHz, dar au fost testate și antene de 750 și 1500 MHz). Pentru măsurători electrice, au fost folosite două electrometre comercial de 4 electrozi, precum și aparatura proprie dezvoltată (descrisă tot în acest capitol). Pentru magnetometrie, a fost folosit un magnetometru cu precizie protonică, iar pentru GPS, au fost folosite chip-uri NavSpark cu funcționalitate DGPS și RTK și antene de mare precizie. O dronă comercială cu funcționalitate GPS a fost folosită.

Pentru procesarea datelor geofizice, au fost folosite software-uri comerciale standard (ReflexW, Res2DINV), dar și algoritmi open source (Resipy, Snuffler), precum și software proprietar de la producătorii aparaturii.

Metodologia de fotogrammetrie pe baza dronei, mai puțin folosită actualmente în practica geofizică, este descrisă în mai mult amănunt. Pentru fotogrammetrie sunt realizate mai multe poze georeferențiate care sunt apoi suprapuse și comparate. Este generat un nor de puncte comune, pe baza căruia, împreună cu datele de altitudine, este realizat un ortomozaic. De asemenea, poate fi realizat și un model de elevație (DEM).



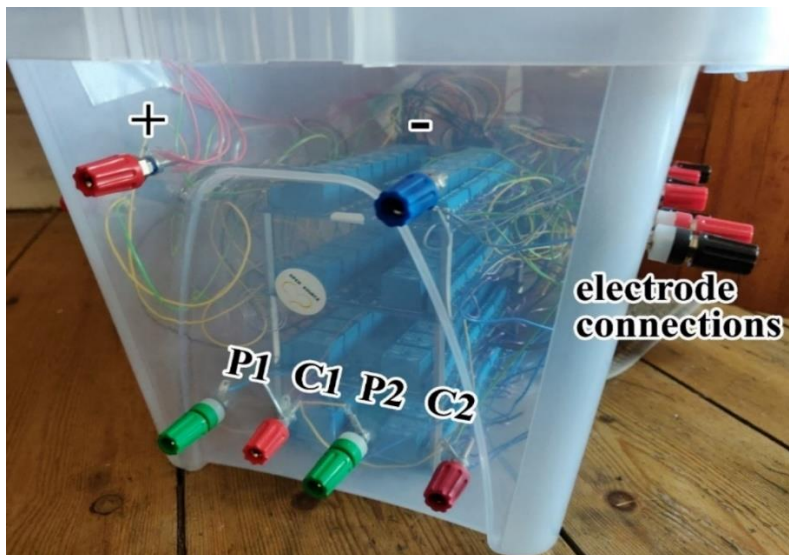
Figură 13. Model de elevație (DEM) care scoate în evidență o movilă în partea stângă a măsurătorilor. În caseta zoom-in sunt vizibili utilizatorul, Bicicleta sa, și rucsacul folosit pentru transportul echipamentului.

Alte software-uri de uz comun în geostiințe au fost folosite (Paraview, Golden Surfer, Arduino IDE, Python3, Photoshop, SkyTraQ GNSS Viewer, etc).

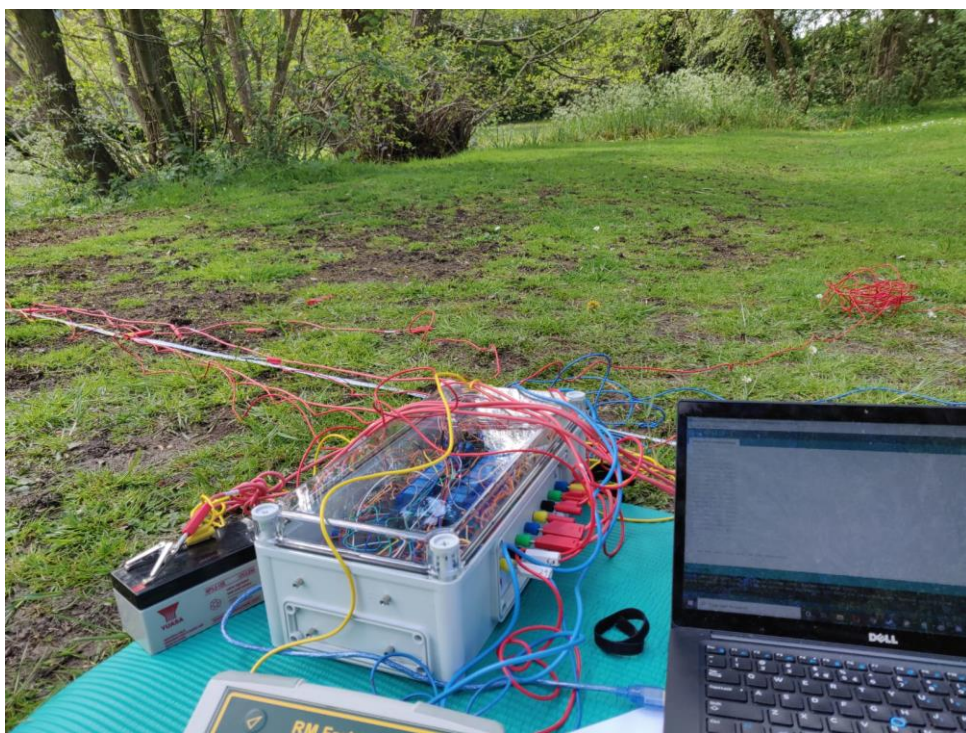
Metodologia de achiziție a datelor și design al măsurătorilor este de asemenea descrisă. Această abordare a fost construită pe ceea ce există deja în literatură, combinat cu ceea ce poate fi adaptat și îmbunătățit pentru mediul din România. În general, a fost utilizat un caroiaj cu profiluri perpendiculare pe direcția preferențială a obiectivelor, atunci când aceasta a fost cunoscută. Poziționarea zonei măsurate s-a realizat cu ajutorul RTK sau DGPS, atunci când acestea au fost disponibile, sau cu date aeriene sau poziționare relativă. În anumite zone, au fost realizate măsurători de stație totală după realizarea măsurătorilor geofizice.

O componentă semnificativă a acestui proiect este și dezvoltarea de aparatură nouă. Abordarea a fost de a produce aparatură relativ ieftină și performantă ce ar putea deschide noi orizonturi de colaborare în domeniul geo-arheologiei, unde problemele de finanțare sunt

constante și greu de depășit. Este descrisă realizarea unui dispozitiv switchbox (multiplexer) ce poate facilita trecerea de la un electrometru cu 4 electrozi la un dispozitiv multielectrod. Acest dispozitiv a fost testat și utilizat pentru unele măsurători.



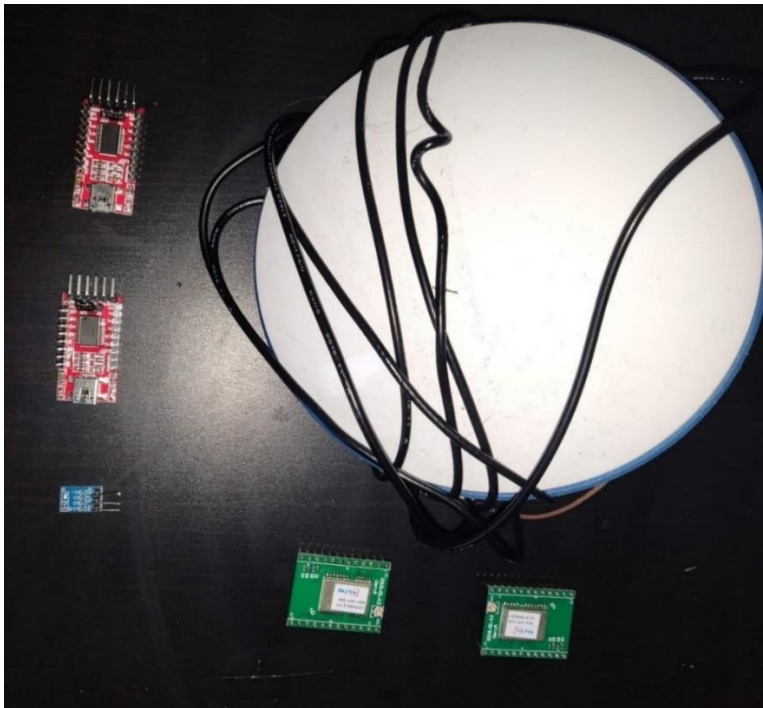
Figură 14. Un prototip pentru multiplexer.



Figură 15. Un alt prototip în timpul măsurătorilor.

Pe lângă dispozitivul în sine, au fost elaborate și câțiva algoritmi de achiziție pentru mai multe dispozitive, un exemplu fiind prezentat la anexe. Aparatura a fost realizată cu componente disponibile în comerț și este realizată după principiile open-source.

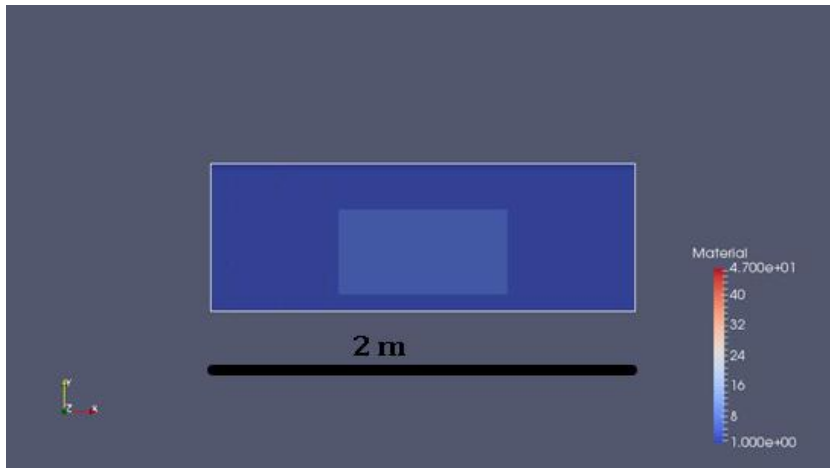
Un sistem de poziționare asamblat din componente comerciale este de asemenea prezentat. Sistemul este relativ simplu, utilizând componente cu capabilitate RTK care sunt mult mai accesibile financiar decât sistemele deja asamblate comerciale.



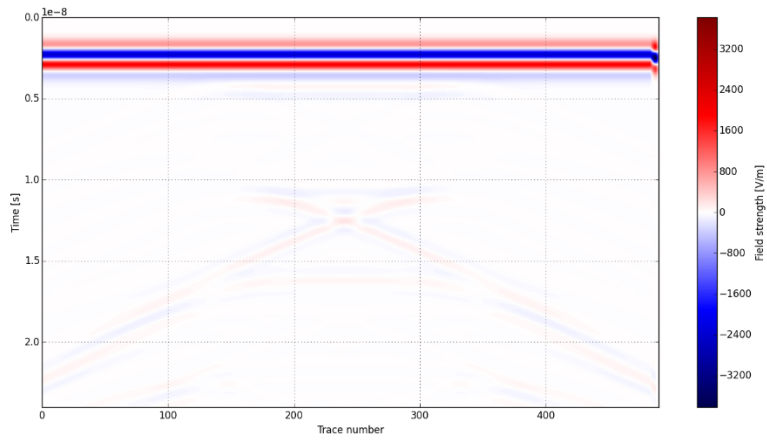
Figură 16. Sistemul de poziționare asamblat aici consta din două cipuri cu capabilitate RTK/DGPS (jos), două antene specializate (una prezentată aici), și cipuri adaptoare (stânga).

Au fost realizate de asemenea modele forward de georadar. Aceste modele au fost realizate folosind algoritmul open-source gpr-Max (Warren et al., 2016), care utilizează metoda Finite Difference Time Domain (FDTD).

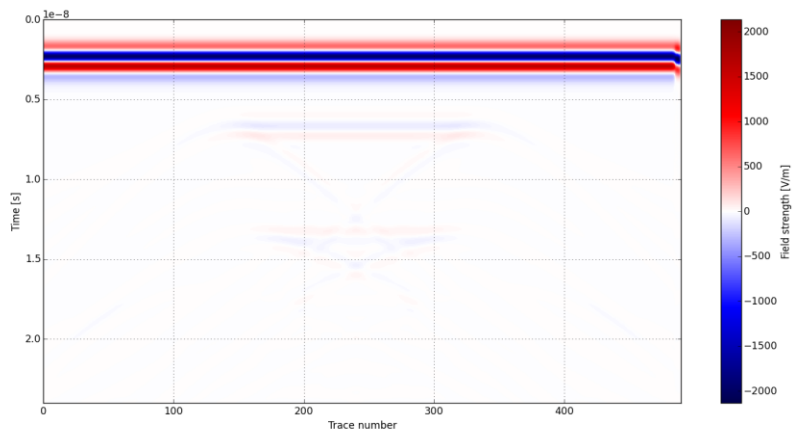
Modelele prezentate sunt 2D și sunt bazate pe situații întâlnite în măsurătorile de teren, pentru a ajuta la interpretarea datelor și la înțelegerea mai aprofundată a zonelor studiate. Spre exemplu, un mormânt realizat fără piatră poate produce un contrast atât pozitiv cât și negativ, iar înțelegerea tipului de răspuns pentru ambele situații este utilă.



Figură 17. Un model al unui mormânt cu un contrast slab de permitivitate față de mediul înconjurător.

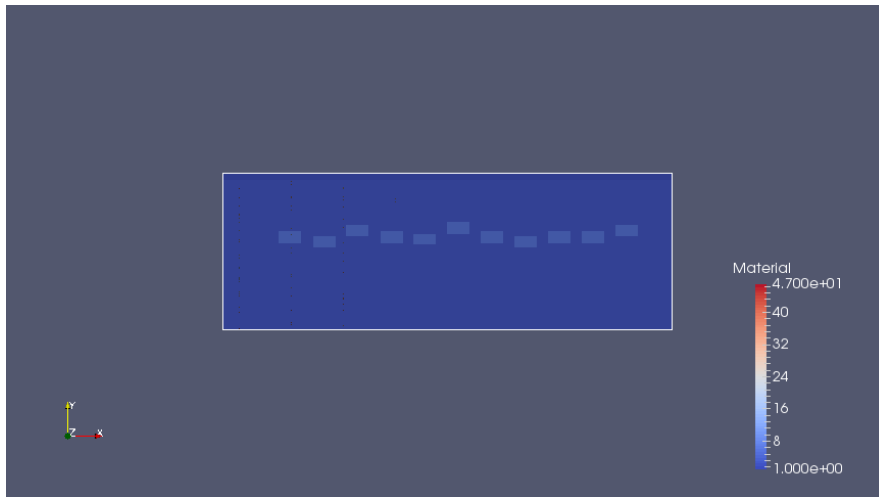


Figură 18. Semnalul GPR produs de scenariul de mai sus, contrast pozitiv de permitivitate.

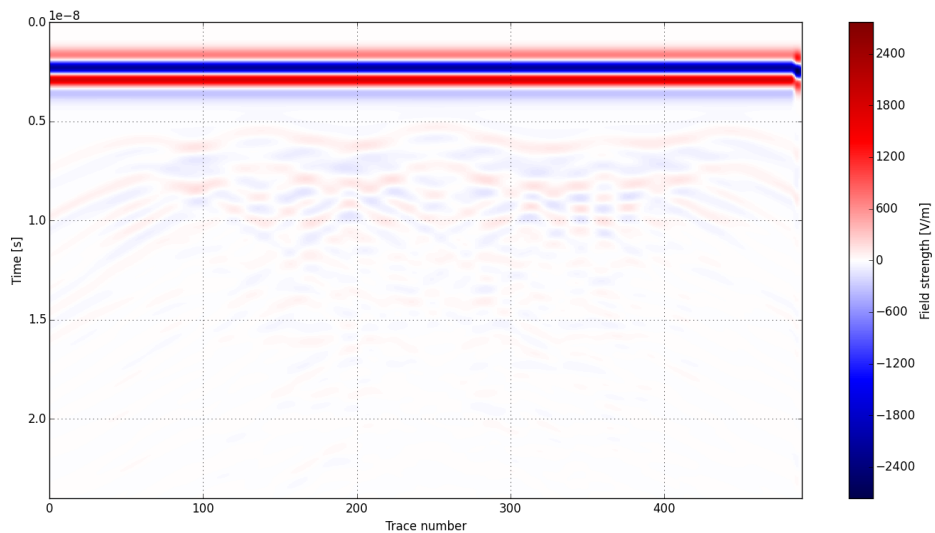


Figură 19. Semnalul GPR produs de scenariul de mai sus, contrast pozitiv de permitivitate.

Un alt exemplu din cele prezentate este un orizont de roci (calcare) folosite pentru construcție, poziționate aproximativ orizontal.



Figură 20. Un model al unor calcare așezate aproximativ (dar nu perfect) orizontal.



Figură 21. Semnalul GPR produs de scenariul de mai sus.

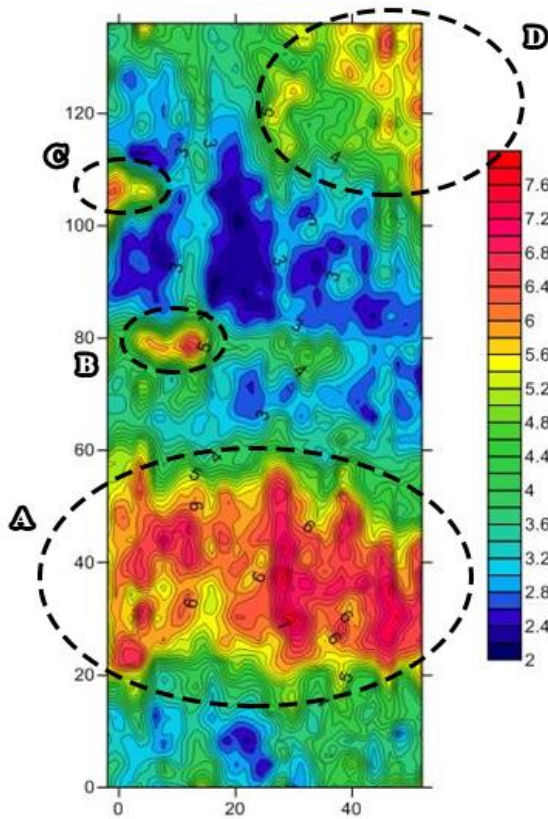
Din păcate, aceste modele necesită valori de permitivitate pentru materialele arheologice, iar aceste valori nu sunt cunoscute în majoritatea cazurilor. Măsurători directe de permitivitate (Mihai et al., 2019) pe materiale arheologice ar putea, pe viitor, duce la realizare de modele mai robuste și mai realiste.

Tot în acest capitol sunt discutate și limitări ale studiului. Dintre aceste limitări fac parte și indisponibilitatea unor aparaturi, precum și limitări inerente ale metodelor geofizice.

5. Măsurători și studii de caz

Mai multe studii de caz sunt discutate în lucrare. Principiul a fost nu realizarea de cât mai multe măsurători, ci realizarea de măsurători în condiții și zone din care se pot extrage lecții relevante în acest context. Măsurătorile prezentate în teza completă sunt doar o parte din măsurătorile realizate, iar pentru concizie, măsurătorile prezentate în acest rezumat sunt doar o parte din cele discutate în teză. Particularitățile siturilor și semnificația datelor sunt de asemenea discutate în întregime în teză, aici fiind prezentată doar o trecere sumară asupra rezultatelor. Interpretarea este de asemenea prezentată parțial.

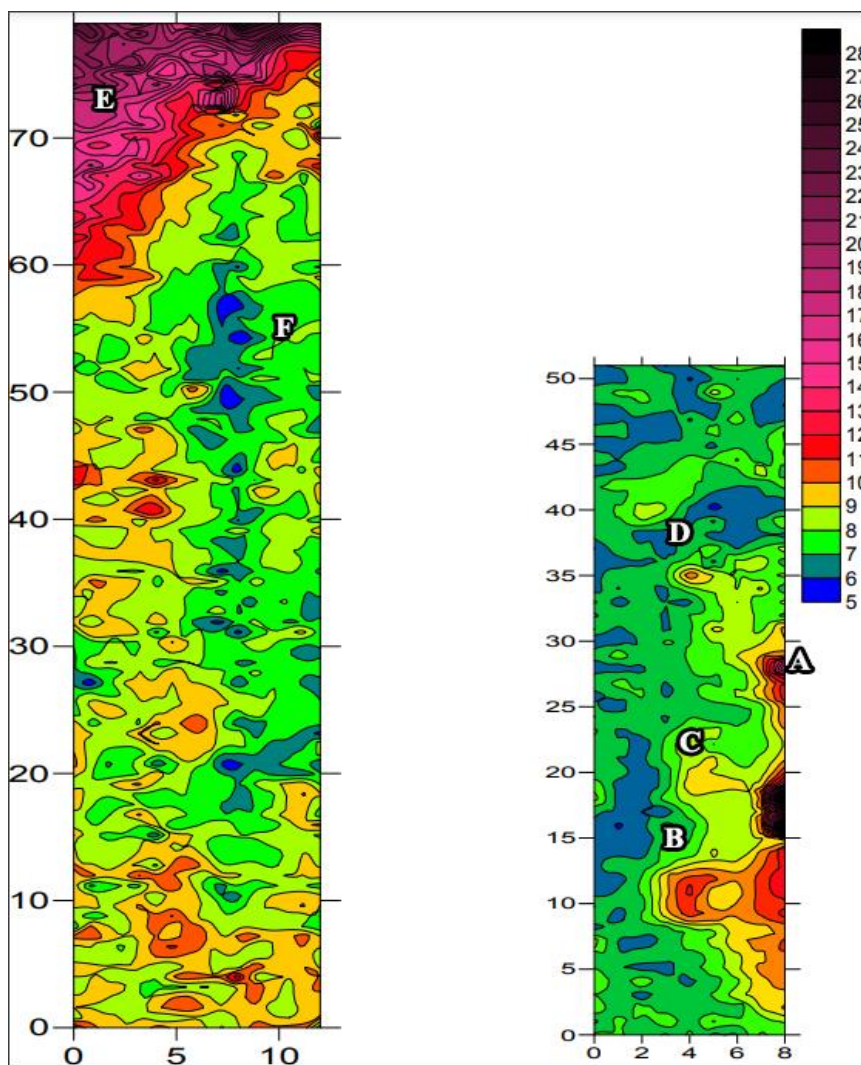
Primele măsurători sunt de profilare geoelectrică. Inițial, s-a profilat cu un dispozitiv Wenner, ceea ce dura mult timp și necesita cel puțin 2-3 oameni.



Figură 22. Rezultatul prospectării Wenner la situl Valea Nandrului.

Situl de la Valea Nandrului, județul Hunedoara, este un sit Neolitic (Lazarovici et al., 1991) cu material datând de la culturile Turdaș-Vinča (Luca și Roman, 1999). Zona prospectată, prezentată mai sus a fost relativ plată, iar distanța dintre electrozi a fost de 1 metru.

Un set similar de măsurători a fost realizat în zona satului Cladova din județul Arad. Obiectivul de interes este o mănăstire franciscană, din care se mai vedea o parte din zid. Scopul a fost urmărirea conturului zidului și identificarea de alte potențiale zone de interes.



Figură 23. Rezultatul prospectării Wenner la situl Cladova.

Zidul se observă în partea dreaptă a măsurătorii. Partea din josul imaginii era vizibilă la suprafață, dar se observă și o continuare a zidului care nu era vizibilă cu ochiul liber (A, B).

De asemenea, se observă mai multe zone localizate ce ar putea reprezenta interes arheologic (C, D). Zona E reprezintă o schimbare de sol, fiind trecerea de la un sol de livadă la o zonă de pădure.

În continuare, este prezentată o zonă dificilă unde au fost achiziționate date georadar, la cetatea dacică Ardeu. Localizată pe vârful unui deal, într-o zonă cu puține suprafețe plate și multe denivelări, zona ridică multe dificultăți, dar mai multe zone de potențial interes arheologic au fost scoase în evidență.

Este prezentată și descoperirea unui posibil fost iaz de decantare pentru o moară din jurul dealului.



Figură 24. Săpătură arheologică în zona Ardeu.

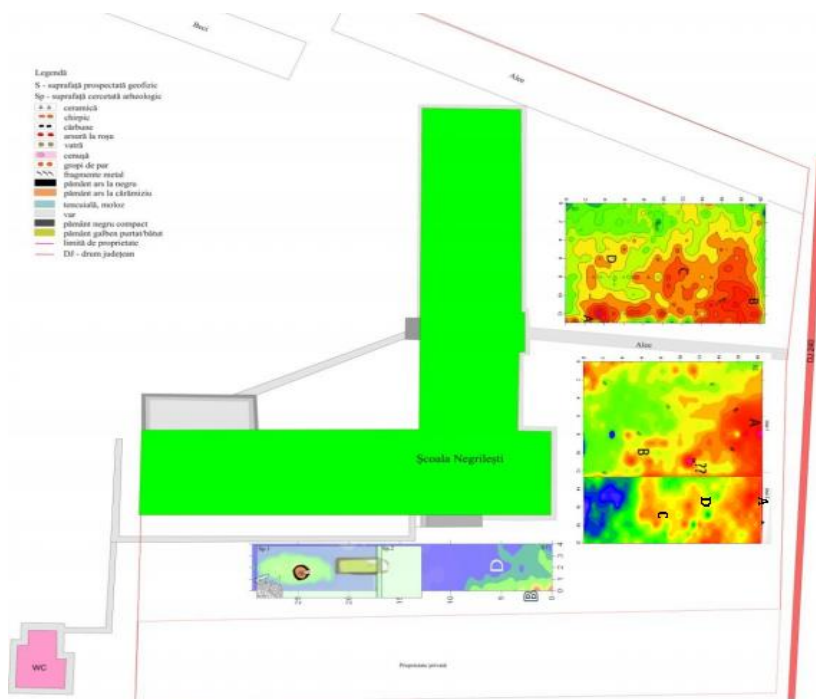
O serie de rezultate sunt apoi prezentate din zona Negrilești, Galați. În această zonă au fost realizate mai multe campanii de achiziție, fiind o zonă de importanță pentru acest studiu.



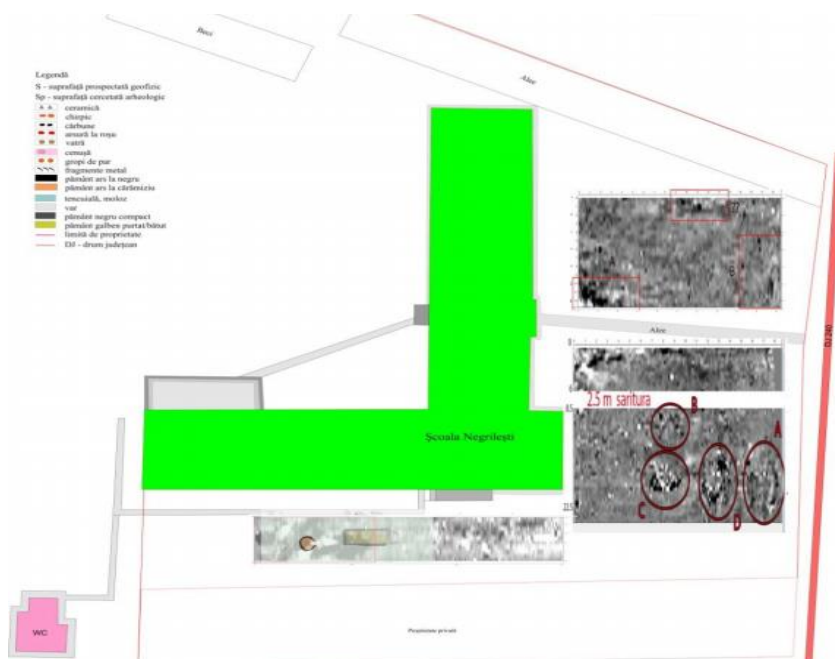
Figură 25. Fotografie aeriană a sitului. Sursă: Muzeului de Istorie „Paul Păltănea”.

Situl arheologic a fost explorat de peste 30 de ani. Este înregistrat în lista monumentelor istorice (cod GI-I-s-B-02988) și acoperă peste 12 hectare. Unele câmpuri sunt în lunca râului Bârlad, altele în zone agricole, iar altele se suprapun cu locuințe sau alte clădiri din localitate (spre exemplu, zona școlii). Sunt prezentate date de prospectare geoelectrică, magnetică, și georadar. Pentru cartea geoelectrică s-a folosit metoda twin probe, care s-a dovedit a fi eficientă și mult mai rapidă decât prospectarea Wenner. Rezultatele (Mihai et al., 2017) sunt prezentate și discutate în detaliu și sunt scoase în evidență zone de interes arheologic. Una dintre zonele prospectate a fost de asemenea excavată. Sunt discutate de asemenea probleme de poziționare ce au fost întâlnite în poziționarea exactă a zonei de prospectare geofizică.

Primele zone prezentate sunt cele din fața și lateralul școlii din Negrilești, unde au putut fi folosite doar metodele geoelectrice și georadar.

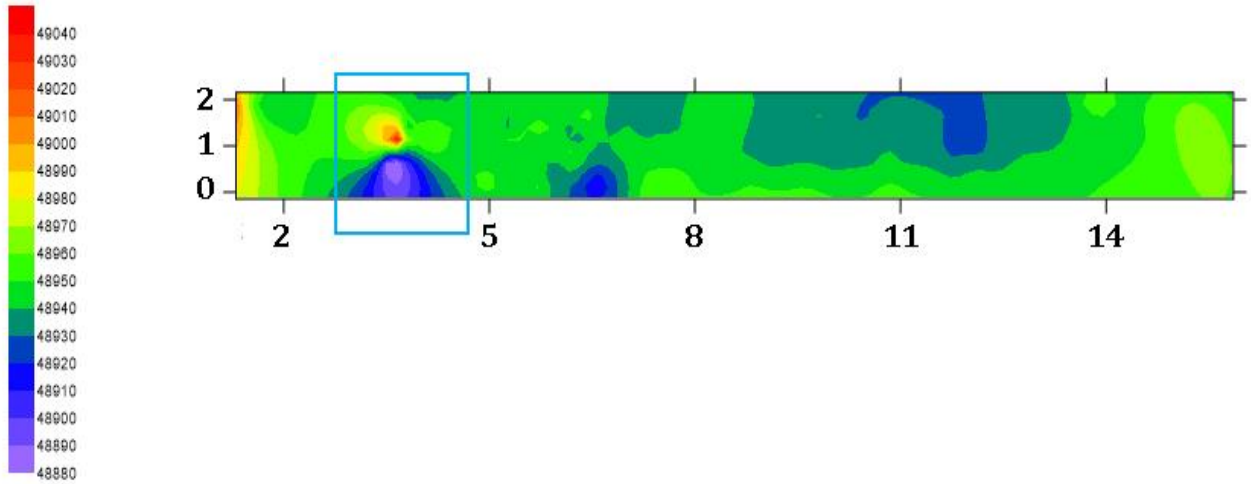


Figură 26. Datele de prospectare electrică din jurul școlii. Este posibil ca poziționarea uneia dintre zone să fi suferit un offset.

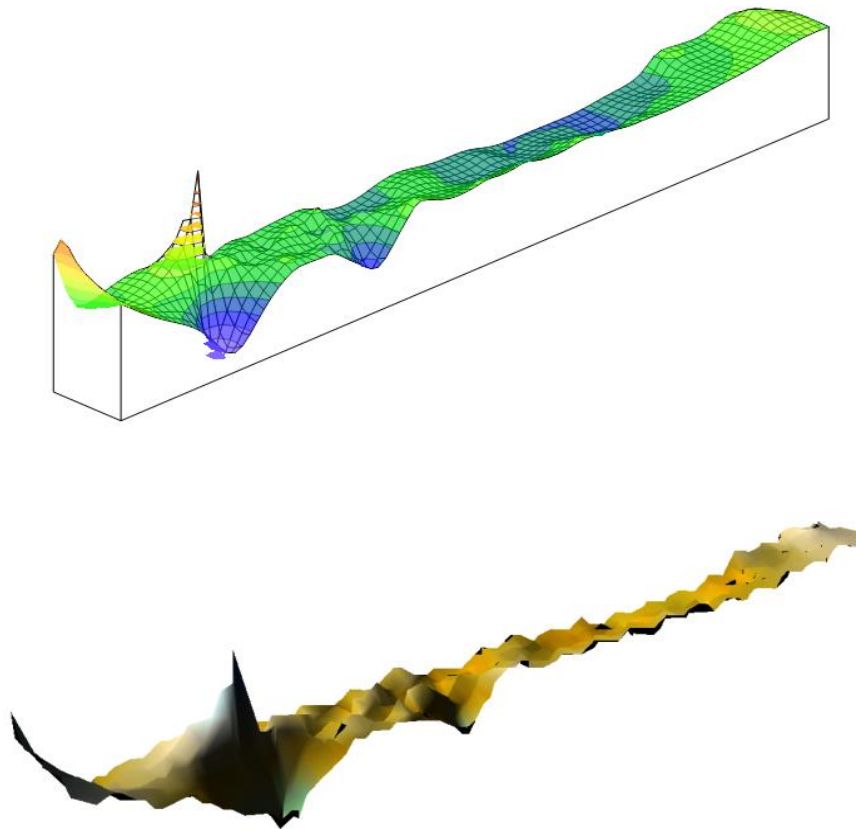


Figură 27. Datele de prospectare GPR din jurul școlii. Este posibil ca poziționarea uneia dintre zone să fi suferit un offset.

În zone mai depărtate de școală, a putut fi folosită și metoda magnetică, pentru care sunt prezentate, doar comparativ, mai multe moduri de vizualizare a datelor.



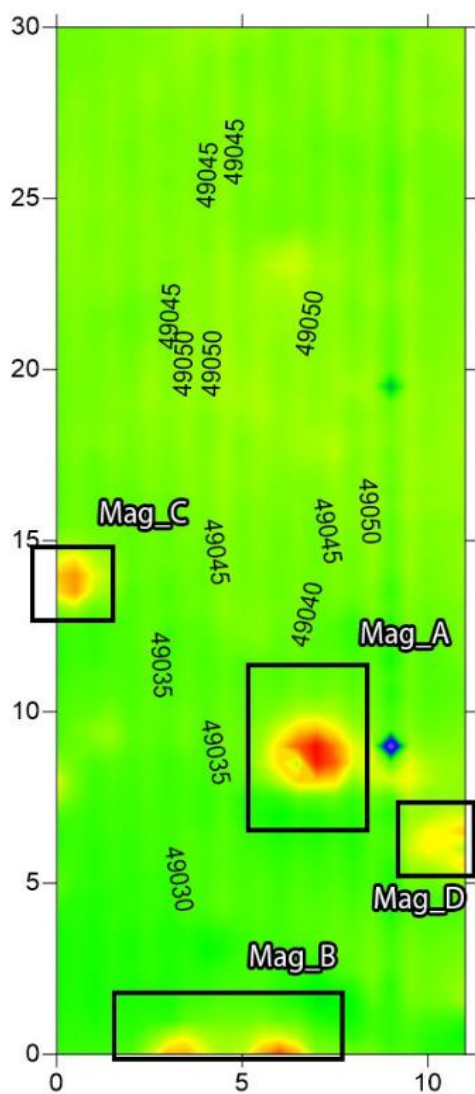
Figură 28. O suprafață mică prospectată magnetic în zona "La Pin".



Figură 29. Același rezultat ca mai sus, cu forme diferite de vizualizare.

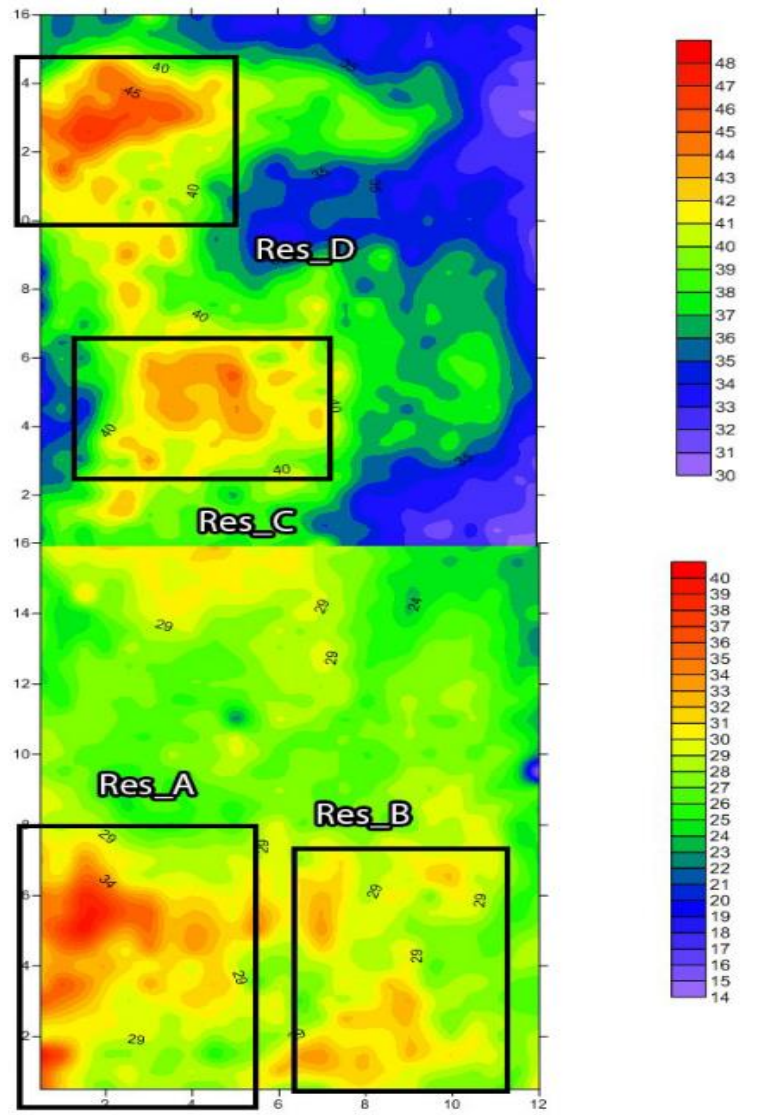
Apoi, sunt prezentate o serie de măsurători din zona grădiniței. Practic, conducerea școlii dorea să clădească o grădiniță, dar trebuia realizată mai întâi descărcarea arheologică. Pentru a accelera procesul și a detecta posibile zone de interes, au fost folosite metode geofizice.

Pe una din zonele de interes au fost folosite toate cele trei metode geofizice discutate aici, dar din păcate, datele de georadar nu au scos în evidență obiective notabile de interes, parțial din cauza vegetației, dar datele magnetice și electrice au scos în evidență zone de interes.



Figură 30. Date magnetice din zona grădiniței.

Pe datele magnetice, se observă mai multe zone de interes, în principal circulare. Aceste zone bine pronunțate au fost interpretate ca probabil asociate unor vetre, deoarece nu produc anomalii clar pronunțate pe datele geoelectrice. Distanța dintre electrozii în pereche a fost de 0.5 metri.

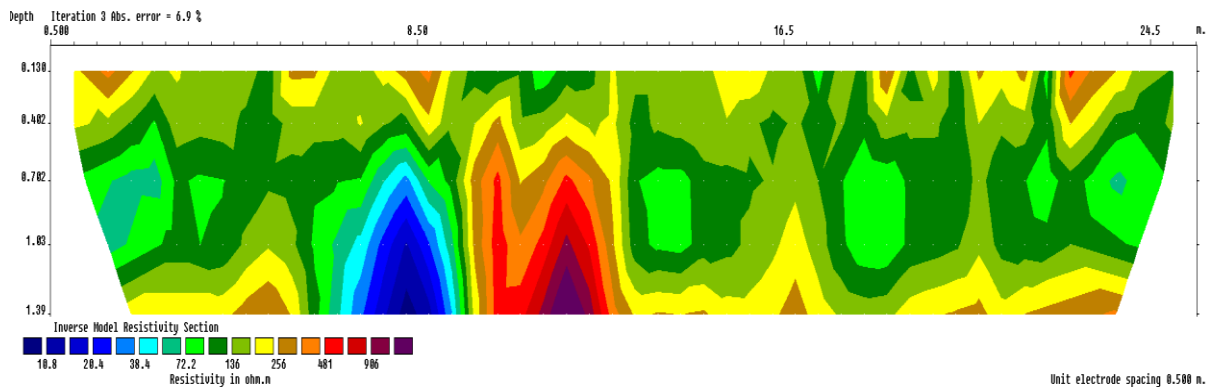


Figură 31. Date geoelectrice din zona grădiniței.

Faptul că nu există o corelare puternică între datele magnetice și cele geoelectrice poate fi utilă în interpretarea rezultatelor. Anomaliile magnetice sugerează existența unor vetre sau material ars, care nu produce anomalii majore electrice. De asemenea, contrastele geoelectrice

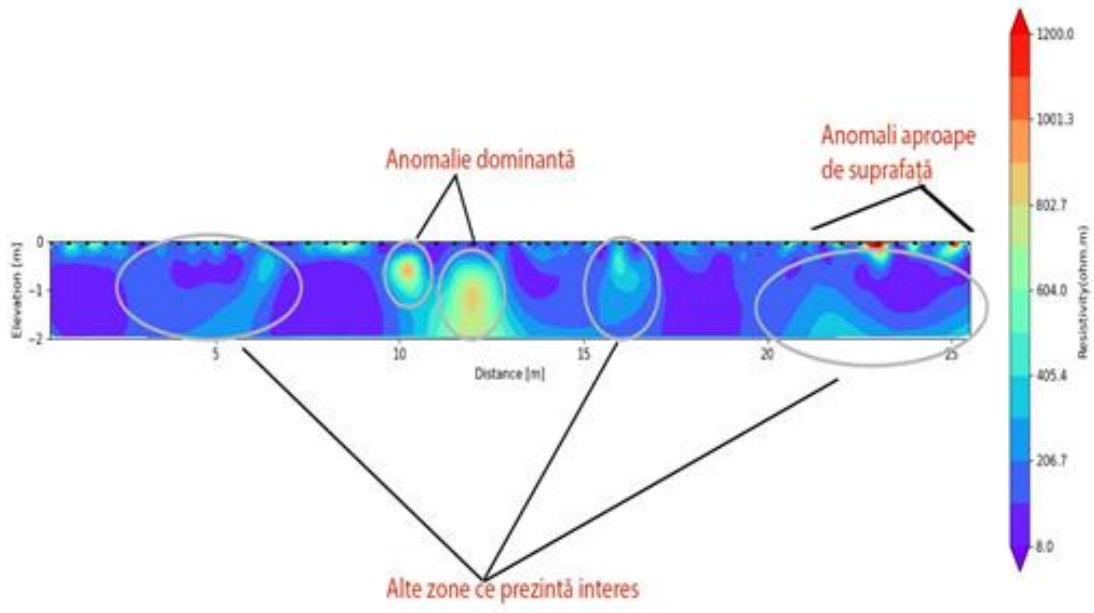
fără contraste magnetice sugerează mai degrabă material umplut (șanțuri, gropi), decât structuri îngropate.

Au fost realizate de asemenea măsurători geoelectrice de adâncime (pseudosecțiuni), în zona de după construcție a grădiniței. Au fost realizate mai multe profile, din care sunt prezentate rezultate reprezentative. Distanța între electrozi a fost de 0.5 metri, iar pseudosecțiunea a fost realizată cu dispozitivul Wenner.



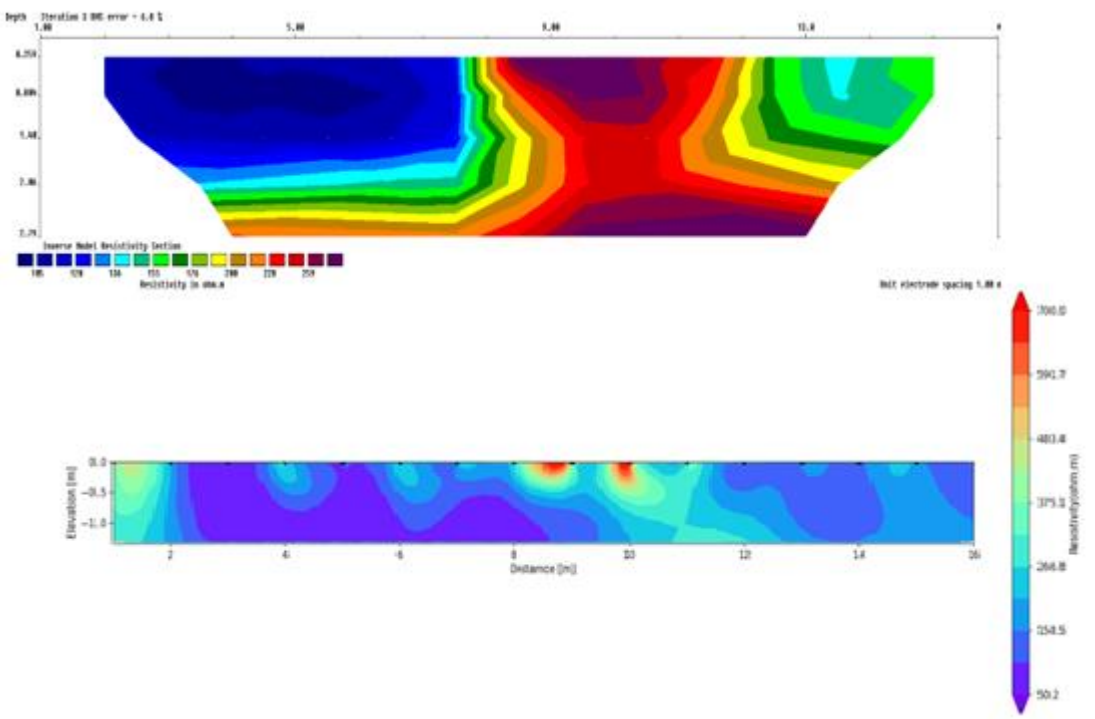
Figură 32. Pseudosecțiune a unui profil, obținută cu Res2DINV.

Unul dintre profile evidențiază o zonă de interes, cu o anomalie puternic pozitivă și o anomalie negativă lângă ea. Dar pe lângă algoritmul de inversie Res2DINV, a fost folosit și un alt algoritm de inversie, Resipy (Blanchy et al., 2020). Deoarece modelele de inversie prezintă doar un scenariu posibil distribuție compatibilă cu rezultatele măsurate, folosirea mai multor modele de inversie care pot prezenta mai multe scenarii posibile poate fi o modalitate de a obține mai multe informații din datele de electrometrie. Aici spre exemplu, algoritmul Resipy sugerează două anomalii pozitive distincte. Deși nu este clar care interpretare este mai aproape de adevăr, este utilă considerarea mai multor posibilități de interpretare.



Figură 33. Pseudosecțiune a aceuiași profil, obținută cu Resipy.

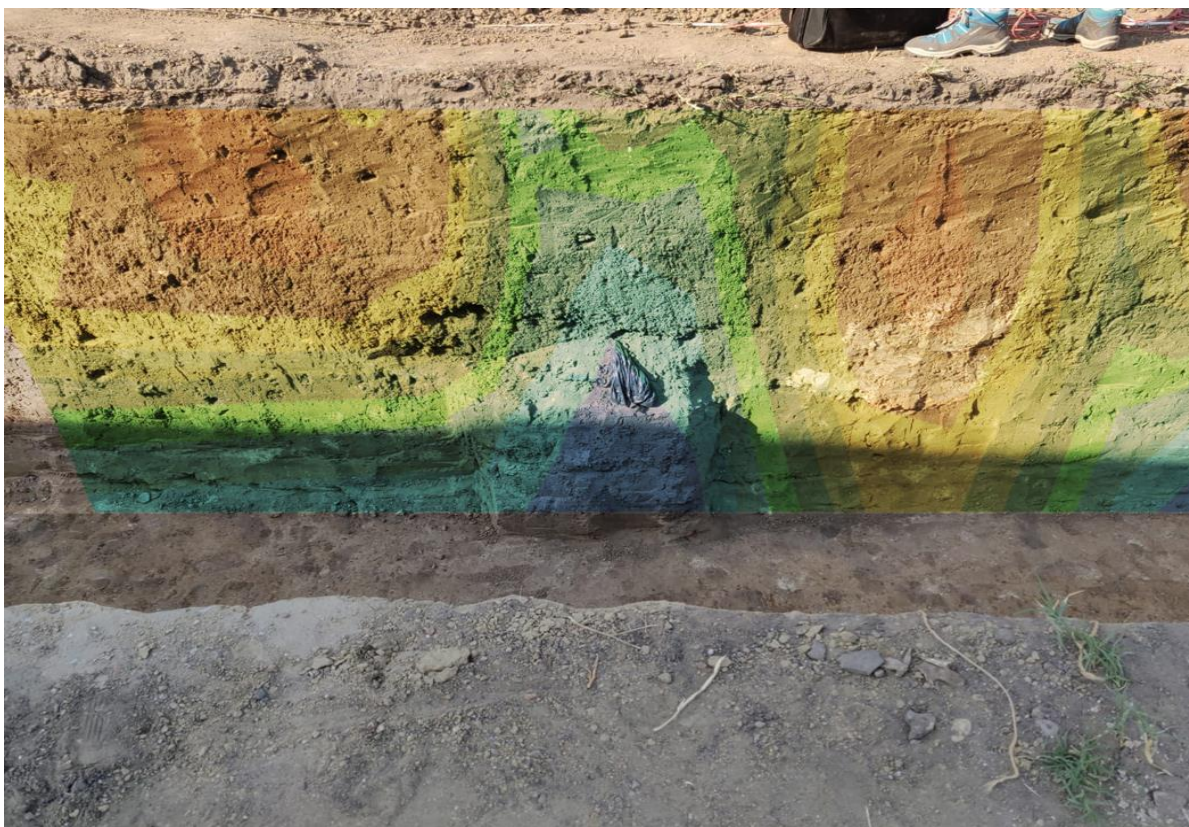
Abordarea este repetată pentru câteva profile. Având în vedere rezultatele obținute, se poate spune că și această zonă prezintă potențial arheologic.



Figură 34. Pseudosecțiune a unui profil, obținută cu Res2DINV (sus) și Resipy (jos).

Un experiment notabil a fost realizat pe marginea unei săpături arheologice. Săpătura arheologică interceptase două obiective (un mormânt și un cuptor, datate aproximativ la secolul X), ambele elemente comune în studii geo-arheologice (Nero et al., 2016; Papadopoulos et al., 2010; Whiting et al., 2001). Pentru a studia aceste două elemente, a fost realizat un profil de electrometrie și georadar. Deși nu este un experiment perfect (deoarece săpătura poate influența propagarea curentului și expunerea la soare și aer poate schimba parametrii de rezistivitate și permitivitate), este un experiment ce poate oferi rezultate utile pentru interpretarea datelor.

Ambele obiective par a fi vizibile pe măsurătorile geoelectrice, mormântul printr-o anomalie negativă în centrul imaginii care urmează, iar cuptorul în dreapta imaginii, corespunzând unei anomalii pozitive.

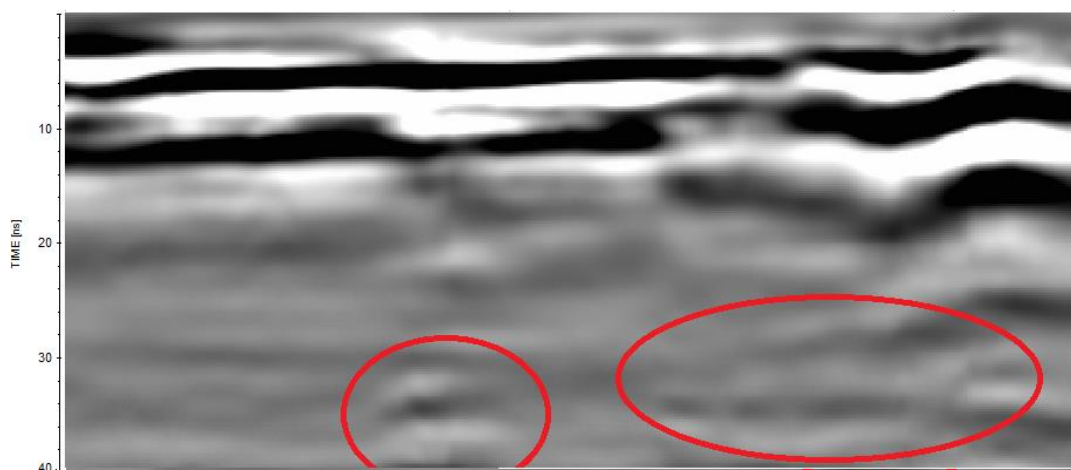


Figură 35. Pseudosecțiunea geoelectrică suprapusă peste secțiunea de săpătură.

Este notabil că deși ar fi tentant să spunem că ambele obiective sunt vizibile pe date geofizice, o anomalie similară cu cea a cuptorului este vizibilă și în partea stângă a

mormântului (nu este clar dacă această anomalie corespunde unei alte structuri arheologice neexplorată încă). Este însă un semn clar că datele de geo-arheologie apar deseori însoțite de incertitudini, iar detectarea acestor structuri fără informații prealabile ar fi fost destul de dificilă.

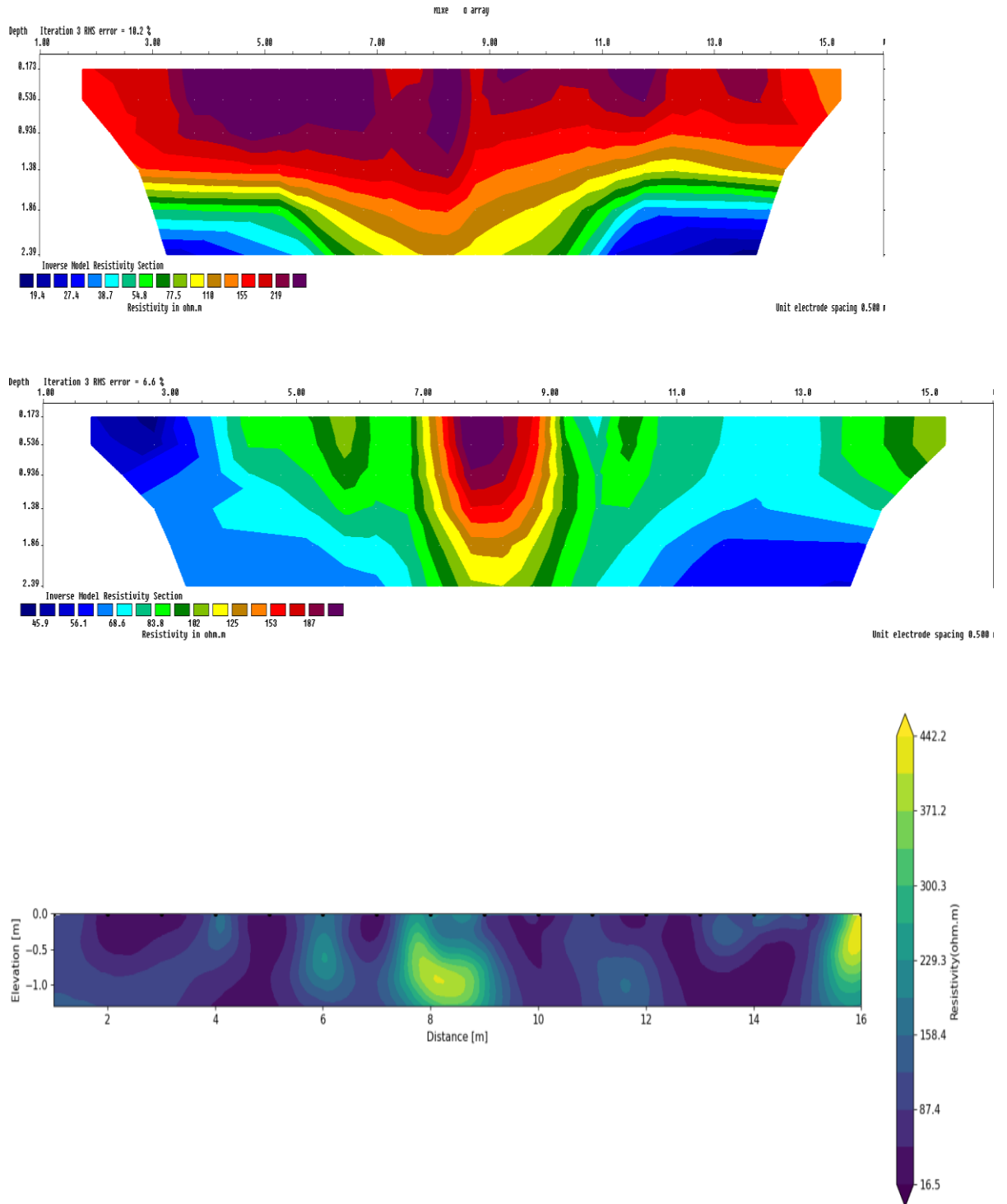
Pentru profilul GPR, nu a putut fi folosită roata (din cauza căii de acces), astfel că datele au fost achiziționate în modul timp. Se observă de asemenea reflexii ce par să corespundă celor două obiective, deși rezultatele sunt mai puțin clare decât pe datele geoelectrice. Este notabilă dificultatea detectării, chiar și în astfel de cazuri.



Figură 36. Profilul GPR realizat deasupra secțiunii de săpătură.

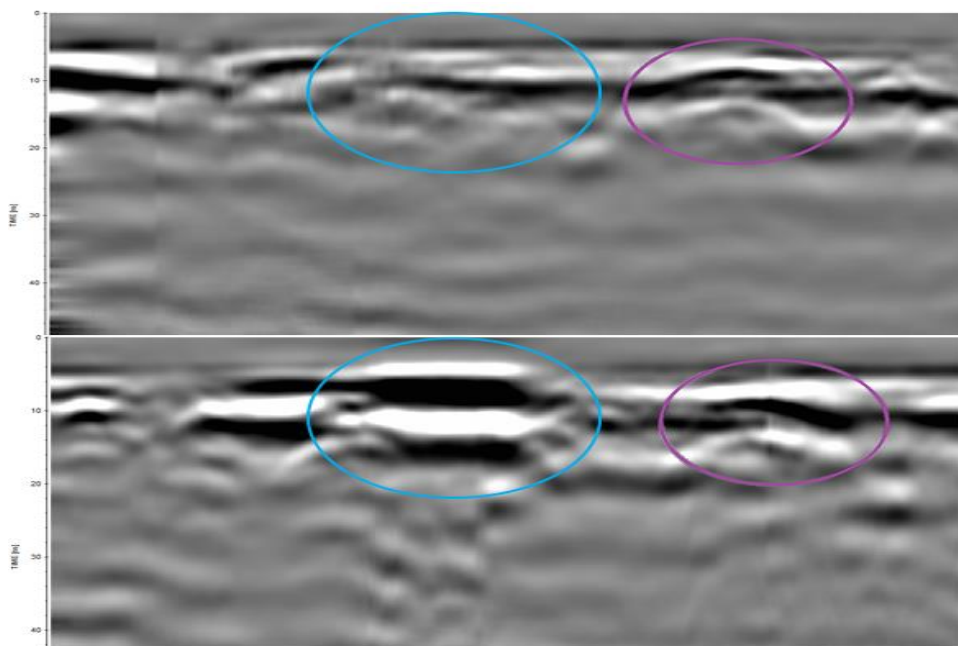
În continuare, o serie de măsurători au fost efectuate în jurul Casei Cuza din Galați. Obiectivul principal era detectarea unui posibil tunel care să plece din casă.

Din păcate, a fost o limitare semnificativă aici: distanța curții în care au putut fi efectuate măsurătorile a limitat lungimea profilelor electrice, ceea ce la rândul său a limitat adâncimea de pătrundere, și nu s-au putut explora adâncimile sperate. În ciuda faptului că mai multe profile au fost realizate pe mai multe direcții, nu s-a observat vreo anomalie care să corespundă așteptărilor pentru un astfel de obiectiv, atât pe datele de georadar cât și pe cele geoelectrice (datele de georadar au fost de asemenea limitate de natura solului ud și în mod regulat).



Figură 37. Exemple de profile din jurul Casei Cuza.

Mai multe profile de georadar au fost efectuate și în interiorul casei, în cursul lucrărilor de întreținere. Obiectivul a fost evaluarea structurii clădirii și detectarea unor potențiale găuri sau probleme structurale majore. Astfel de probleme nu au fost detectate, deși au fost semnalate semne de degradare, în special zone de umflare sau degradare a podelei..

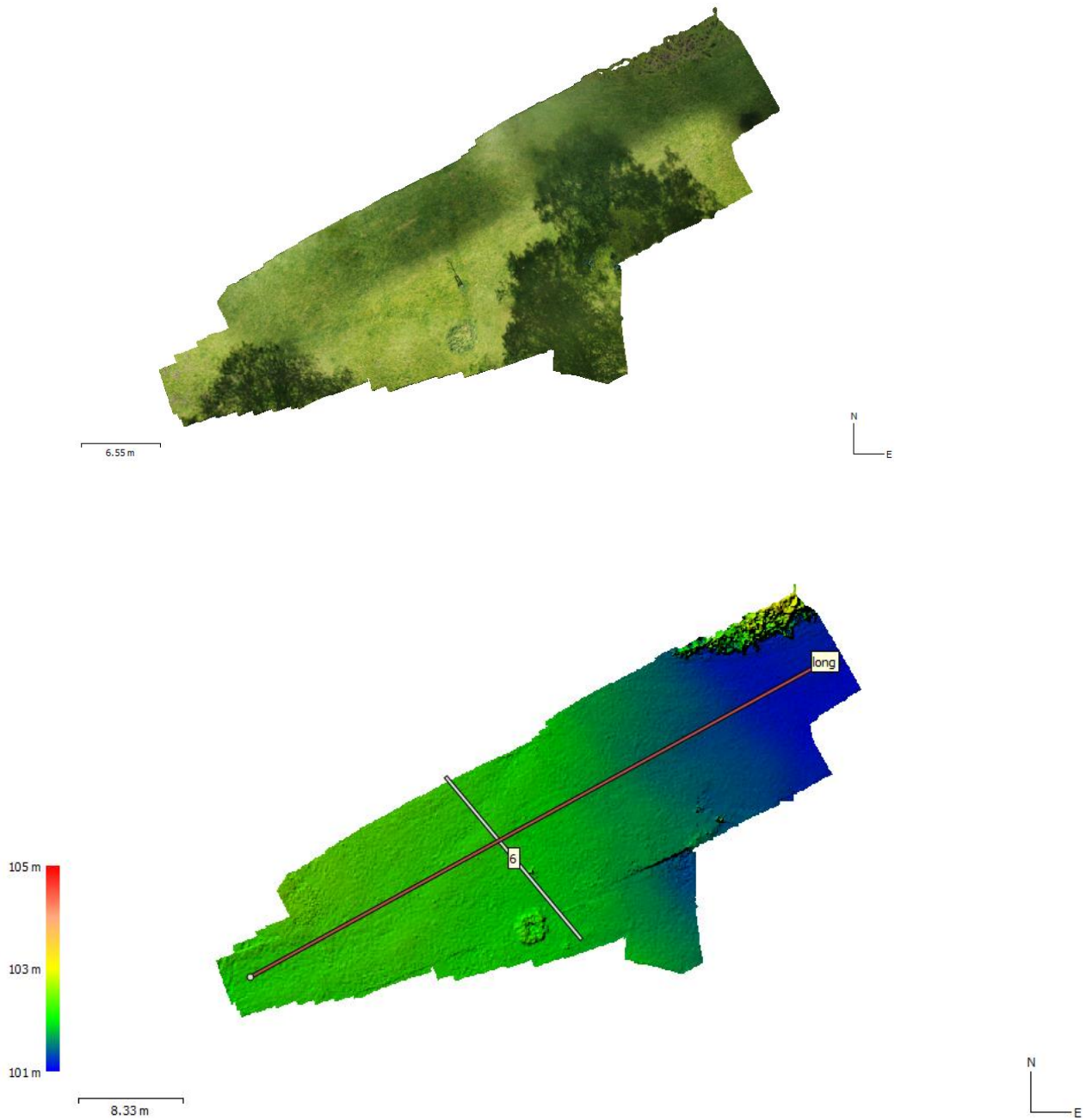


Figură 38. Achiziționarea (sus) și rezultate reprezentative (jos) de date georadar din Casa Cuza.

Deși nu au fost detectate elemente importante, s-a încercat aici includerea a date reprezentative, chiar și dacă rezultatele nu au fost pozitive. Motivația este de a prezenta rezultatele prospectării așa cum sunt ele, într-un mod realist, și nu doar datele spectaculoase.

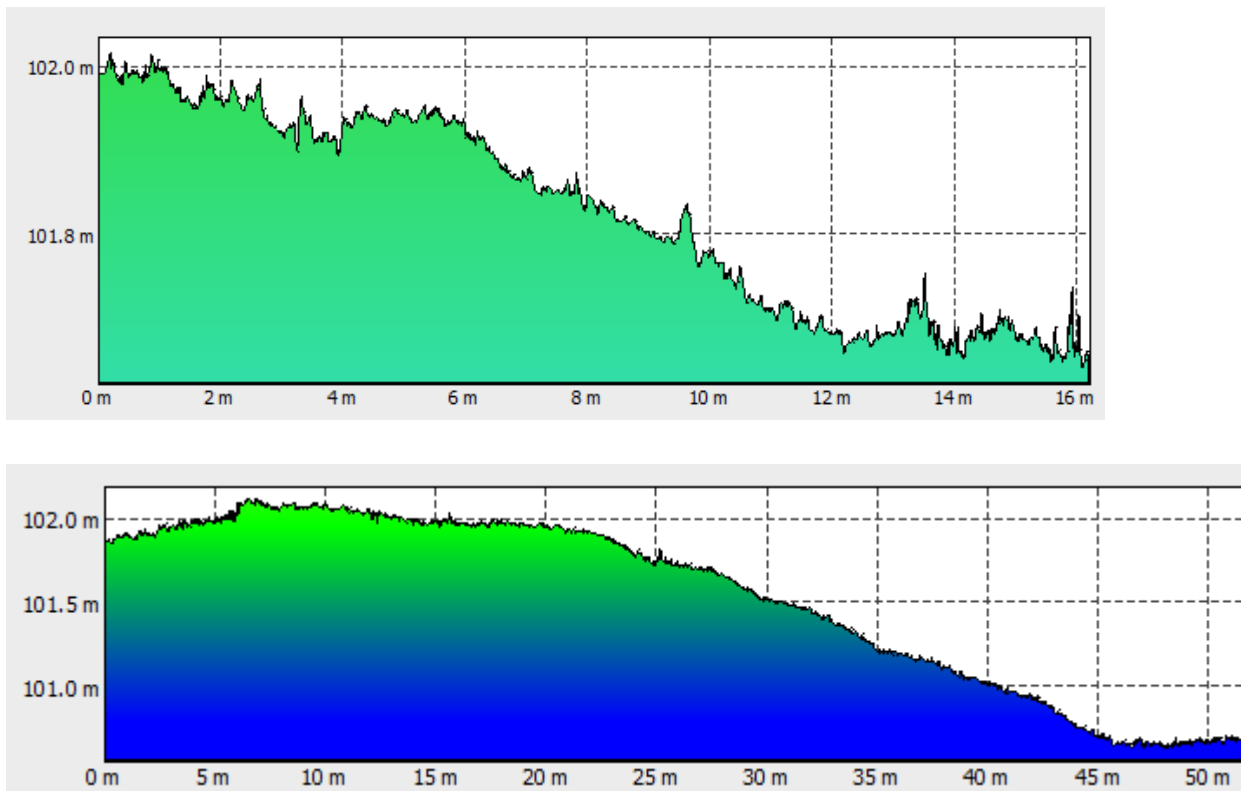
Ultima parte a studiilor de caz prezintă abordări potențiale pentru utilizarea dronelor în studii geo-arheologice. Un studiu de caz a fost realizat pe două movile din Woodlands Park, Birmingham, UK. Aceste movile au fost studiate anterior, iar scopul studiului de caz este doar exemplificarea unor moduri prin care datele aeriene pot fi folosite în geofizică.

Prima dintre cele două movile (cea mai mare) a fost analizată doar aerian. Imaginile aeriene au fost combinate prin metoda descrisă anterior, realizându-se o imagine de tip ortomozaic și un DEM.



Figură 39. Ortomozaic (sus) și DEM (jos) al movilei mai mari.

Diferența topografică permite detectarea movilei, sugerând că metoda ar putea fi folosită în detectarea de obiective arheologice ce produc mici diferențe topografice.



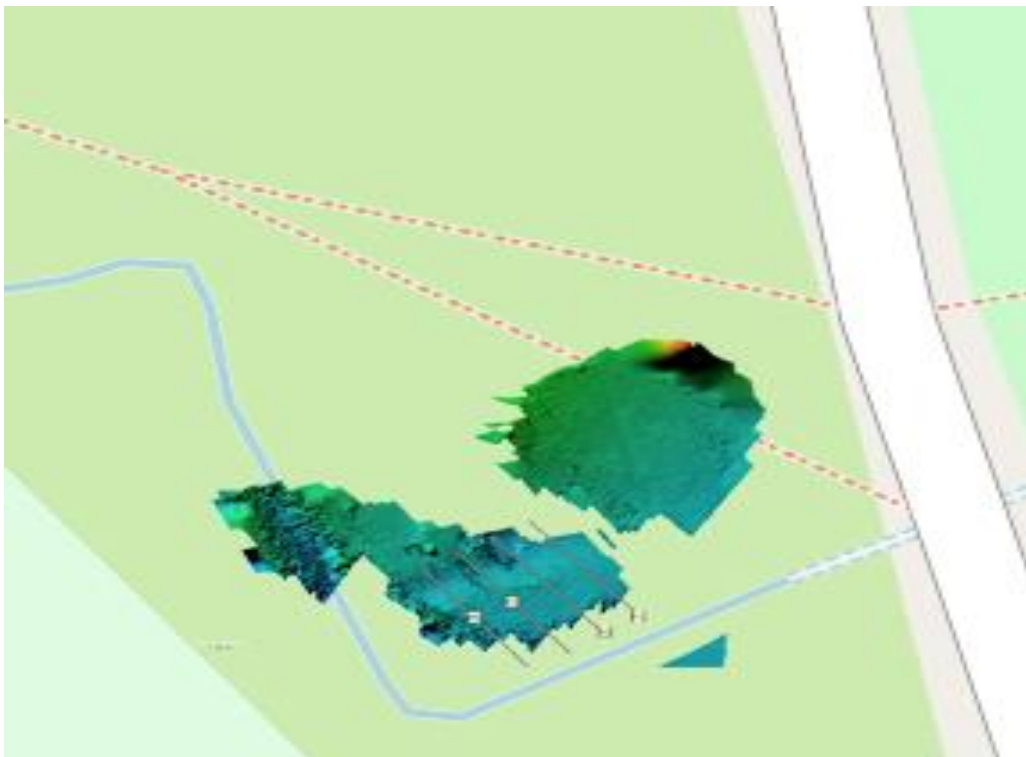
Figură 40. Două profile topografice pe movila mai mare.

În cazul celei de-a doua movile, achiziția de date a fost îngreunată de prezența vegetației în zonă. Astfel, doar o parte a zonei a putut fi integrată în modele de fotogrammetrie. Această zonă a scos în evidență anumite erori de poziționare, care au fost corectate cu ajutorul datelor aeriene.

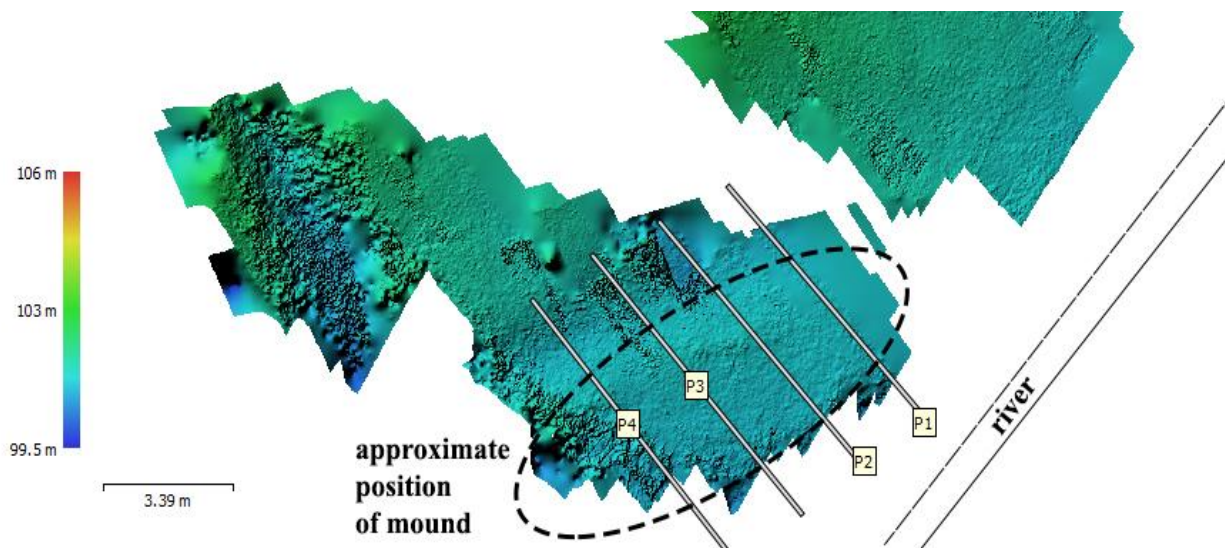
După aceste corecții, modelul DEM a fost folosit pentru corecții microtopografice pentru măsurătorile ERT.



Figură 41. Ortomozaic în jurul movilei mai mici. Erori de poziționare sunt evidențiate.

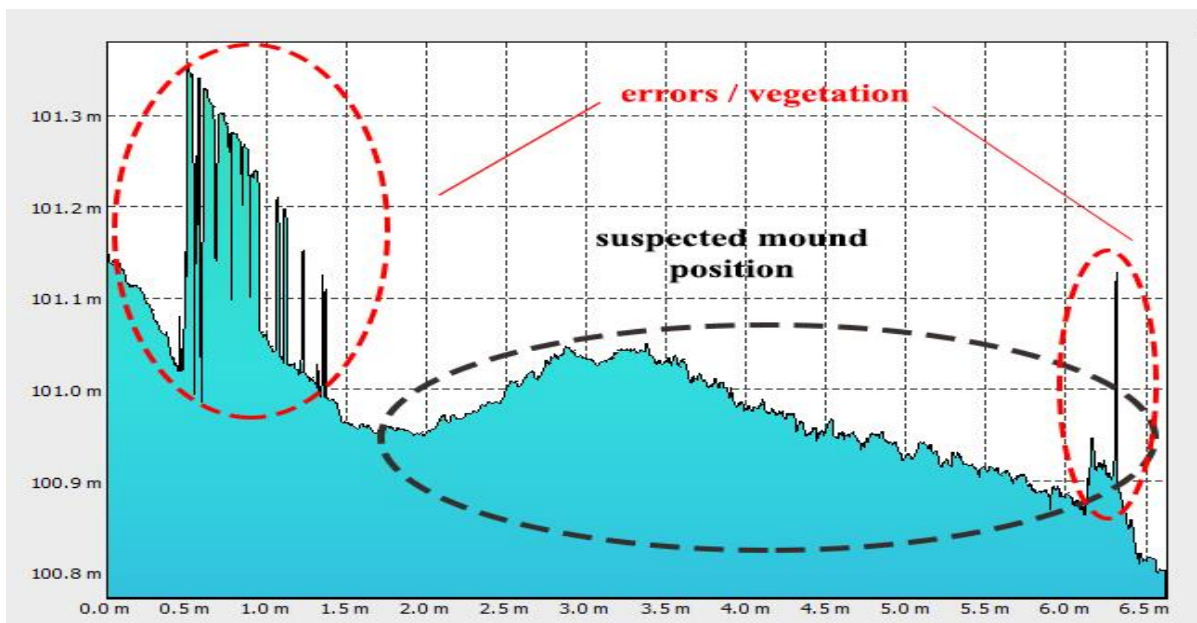


Figură 42. Model DEM după corecții de poziționare.



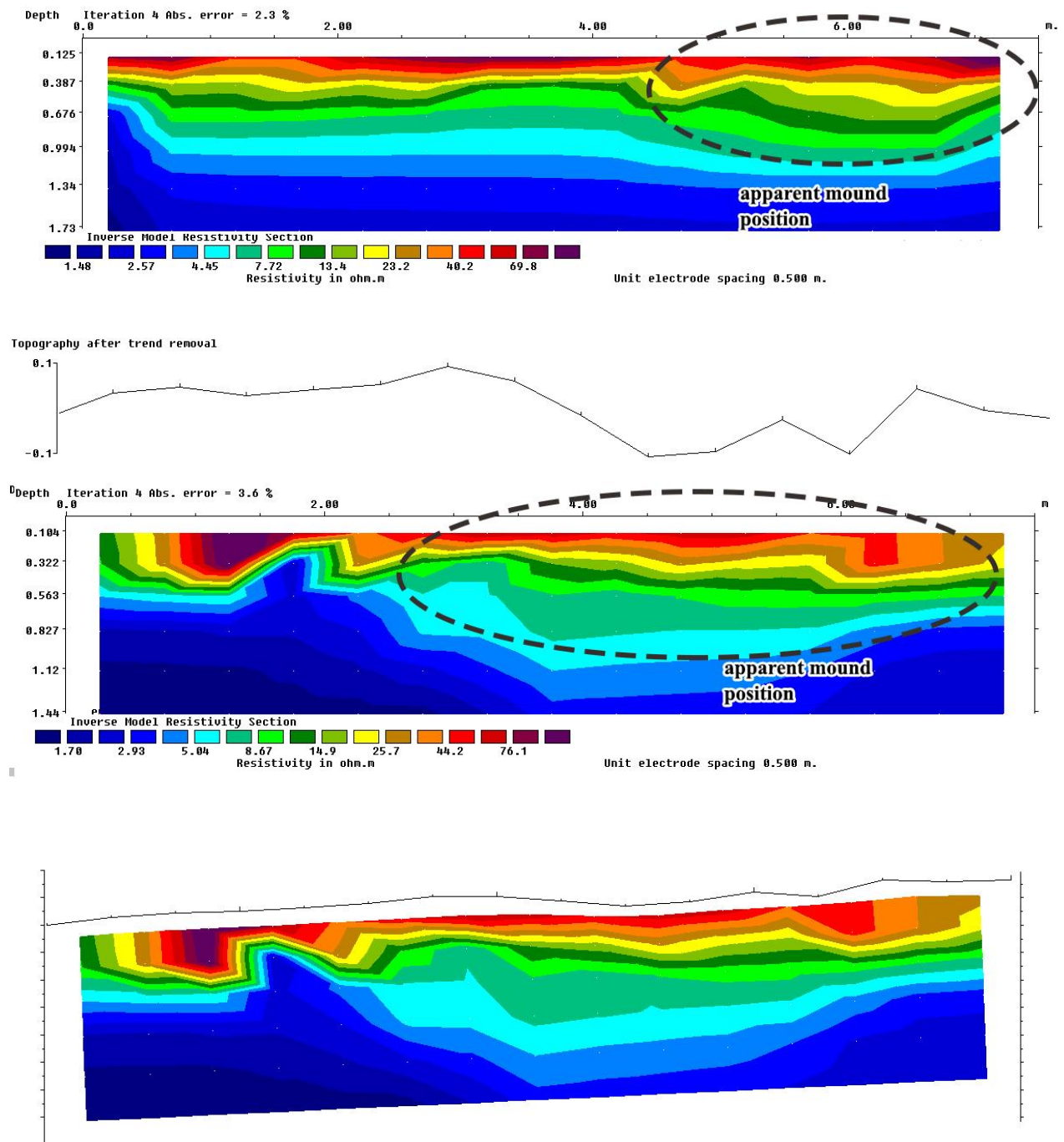
Figură 43. Poziționarea movilei pe baza datelor topografice și profilele ERT realizate pe această movilă.

Și în acest caz, diferențele topografice scot în evidență poziția movilei.



Figură 44. Profil topografic al unui profil ERT.

Mai mult, însă, atunci când datele de microtopografie sunt introduse în ERT, chiar și diferențe mici (de 10-15 cm) produc diferențe notabile în rezultatul inversiei.



Figură 45. Exemplu de date ERT fără introducerea topografiei (primul profil), urmate de profilul topografic și modificările pe care le aduce introducerea corecțiilor microtopografice.

Astfel, integrarea de date DEM achiziționate din dronă, chiar și o dronă low-cost, nespecializată, pare a fi de un real folos și reprezintă o metodă care poate fi aplicată cu succes în prospectarea geo-arheologică.

6. Discuții și concluzii

Geofizica a devenit relativ comună în studiile arheologice, deși încă nu este folosită la întregul potențial în practica din România. Totuși cu ajutorul anumitor inovații cheie (atât la nivel computațional, cât și la nivel al practicii de achiziție și al aparaturii), geofizica în arheologice poate deveni din ce în ce mai accesibilă și din ce în ce mai răspândită. În ciuda acestui progres, însă, există încă lacune de cunoștințe ce apar atât din cauza naturii contrastelor fizice și aparaturii folosite, cât și din particularitățile specifice siturilor din România.

Acest proiect a însumat mai multe tipuri de măsurători geofizice, precum și alte abordări ce pot îmbunătăți rezultatele obținute în geo-arheologie. Fără a se dori o prezentare exhaustivă a ceea ce poate fi realizat în domeniul geo-arheologiei, s-a încercat aplicarea unor metode de ultimă oră, și unde a fost posibil, îmbunătățirea sau adaptarea acestor metode la mediul și tipul de situri din România. Accentul s-a pus nu pe situații ideale, ci pe situații reale, cu constrângerile aferente. Scopul a fost evidențierea nu doar a informațiilor ce pot fi obținute, ci și a dificultăților și incertitudinilor ce vin deseori cu datele de geo-arheologie.

Capitolul de concluzii tratează întâi întrebările de cercetare discutate anterior, iar apoi sunt discutate concluzii generale. Dintre aceste concluzii, sunt amintite următoarele.

Există îmbunătățiri ce pot fi realizate la nivelul achiziției de date și reducerii costurilor. Spre exemplu, magnetometrele fluxgate devin o alternativă din ce în ce mai demnă de încredere. De asemenea, achiziționarea de date magnetice din dronă sau cu ajutorul ATV-urilor poate aduce avantaje notabile.

În acest proiect, prospectarea electrică de tip twin probe a fost considerate rapidă și de încredere, și este recomandată această abordare (în special atunci când adâncimea de investigare de interes este cunoscută). Prospectarea de tip Wenner, deși utilă și ea, este mult mai laborioasă și nu pare a aduce avantaje majore.

Pentru pseudosecțiuni electrice, s-a construit un multiplexer ieftin care să aducă un electrometru simplu de 4 electrozi la nivelul unui multielectrod mult mai scump. Sunt deja

prezentate în literatură și modalități de a construi electrometru de 4 electrozi ce pot fi integrate cu acest multiplexer, pentru soluții chiar și mai ieftine.

Sunt descrise de asemenea mai multe studii de caz concrete, fie cu metode individuale fie cu metode integrate. Este recomandată, acolo unde este posibil, utilizarea mai multor metode geofizice, mai ales având în vedere caracterul complementar pe care acestea îl pot avea. Precipitațiile și anotimpurile sunt de asemenea considerente semnificative. În textul întreg sunt detaliate concluzii legate de planificarea și design-ul zonelor de prospectare, a procesării și interpretării datelor.

Sunt menționate în mod special datele aeriene, o sursă utilă de informații deseori neglijată. Este de notat în special faptul că și o dronă comercială, nespecializată, poate fi de un real folos în prospectările geofizice.

Geofizica poate fi folosită în aproape toate contextele arheologice, dar nu este un panaceu cu rezultate garantate. De multe ori, datele geofizice vin cu incertitudini și ambiguități, deși practicile bune (descrise în amănunt în teză) pot îmbunătăți calitatea datelor.

Este de notat și o componentă pragmatică întâlnită în cadrul acestui proiect. Cea mai mare problemă practică întâmpinată în arheologia din România pare să fie lipsa de finanțare. Metodele geofizice sunt văzute deseori ca o cheltuială în plus – dar în fapt, aceste metode pot reduce costurile prin reducerea volumului de muncă. Mai mult, oferă posibilitatea de a studia anumite zone de interes într-un mod rapid și neinvaziv. Dacă aceste metode geofizice pot fi aplicate mai ieftin, într-un mod mai accesibil, atunci folosirea lor la scară largă în România va crește. De asemenea, este important ca o colaborare între geofizicieni și arheologi să fie deschisă și sinceră, discutându-se realist ce se poate realiza și care sunt așteptările rezonabile. Interpretarea de asemenea beneficiază și de perspectiva geofizică, și de cea arheologică.

În încheiere, sunt sugerate direcții potențiale de studiu. Dezvoltarea de echipament nou este una dintre aceste direcții. Aici, plecând de la cunoștințe minime, s-a construit ceva ce poate fi folosit în practică. Există fără îndoială și soluții mai elegante sau robuste ce ar putea face un obiect separat de cercetare, dar cu dezvoltarea atât a părții computaționale cât și a pieței de senzori, chip-uri și microcontrollers, este de așteptat ca aparatura geofizică low-cost

să devină din ce în ce mai performantă și să fie utilizată din ce în ce mai mult. Și în domeniul poziționării există spațiu pentru inovare.

Integrarea metodelor tradiționale de geofizică cu alte abordări (drona, date satelitare, Lidar), este de asemenea o zonă actualmente propice studiului. Din păcate, România nu are o bază națională de hărți Lidar sau de fotogrammetrie de rezoluție mare, iar realizarea unor astfel de hărți ar putea duce la descoperiri importante în domeniul arheologic.

Modelele forward reprezintă o altă frontieră ce merită explorată. O bază de date cu valori de permitivitate pentru materialele arheologice ar permite realizarea de modele mai performante și mai robuste, iar la rândul lor, aceste modele ar putea fi folosite pentru interpretarea rezultatelor sau pentru o înțelegere mai bună a contextului arheologic.

Există un mare potențial pentru colaborări interdisciplinare în sfera geo-arheologiei. De la realizarea de mai multe măsurători până la dezvoltarea unor metode noi sau aplicarea într-un fel nou al metodelor existente, până la modele teoretice, digitalizare, și alte proiecte, diversitatea științifică în acest domeniu poate direcții de cercetare interesante și valoroase.

7. Bibliografie selectivă

- Armstrong, K. (2010). *Archaeological geophysical prospection in peatland environments*. Doctorate Thesis (Doctorate). Bournemouth University.
- Blanchy, G., Saneiyani, S., Boyd, J., McLachlan, P., & Binley, A. (2020). ResIPy, an intuitive open source software for complex geoelectrical inversion/modeling. *Computers and Geosciences*, 137(January), 104423. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2020.104423>
- Conyers, L. B. (2015). Analysis and interpretation of GPR datasets for integrated archaeological mapping. *Near Surface Geophysics*, 13(6), 645–651. <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2015018>
- Dabas, M., Camerlynck, C., Bossuet, G., Pétrequin, P., & Bailly, M. (1999). Detection of final-Neolithic cultural layers using GPR (Ground Penetrating Radar) under the actual level of Lake Chalain (France). *Comptes Rendus de l'Academie de Sciences - Serie Ila: Sciences de La Terre et Des Planetes*, 328(8), 509–514. [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(99\)80131-1](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(99)80131-1)
- Fedi, M., Cella, F., Florio, G., Manna, M. La, & Paoletti, V. (2017). *Geomagnetometry for Archaeology*. May. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50518-3>
- Fernández-Álvarez, J. P., Rubio-Melendi, D., Martínez-Velasco, A., Pringle, J. K., & Aguilera, H. D. (2016). Discovery of a mass grave from the Spanish Civil War using Ground Penetrating Radar and forensic archaeology. *Forensic Science International*, 267, e10–e17.

<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.05.040>

- Gaffney, C. (2008). *Detecting trends in the prediction of the buried past: A review of geophysical techniques in archaeology*. 313–336. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2008.00388.x>
- Gavazzi, B., Le Maire, P., Mercier de Lépinay, J., Calou, P., & Munsch, M. (2019). Fluxgate three-component magnetometers for cost-effective ground, UAV and airborne magnetic surveys for industrial and academic geoscience applications and comparison with current industrial standards through case studies. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 20, 100117. <https://doi.org/10.1016/j.gete.2019.03.002>
- Griffiths, D. H., & Barker, R. D. (1993). Geophysical Exploration in Areas of Complex Geology, I. *Journal of Applied Geophysics*, 29(3–4), 179–358.
- Griffiths, D. H., & Barker, R. D. (1994). Electrical imaging in archaeology. In *Journal of Archaeological Science* (Vol. 21, Issue 2, pp. 153–158). <https://doi.org/10.1006/jasc.1994.1017>
- Keay, S., Earl, G., Hay, S., Kay, S., Ogden, J., & Strutt, K. D. (2009). The role of integrated geophysical survey methods in the assessment of archaeological landscapes: The case of portus. *Archaeological Prospection*, 16(3), 154–166. <https://doi.org/10.1002/arp.358>
- Kvamme, K. L. (2006). Integrating multidimensional geophysical data. *Archaeological Prospection*, 13(1), 57–72. <https://doi.org/10.1002/arp.268>
- Kvamme, K. L. (2018). *Geophysical Surveys as Landscape Archaeology Author (s): Kenneth L. Kvamme Published by : Cambridge University Press Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/3557103> REFERENCES Linked references are available on JSTOR for this article : You may need to. 68(3), 435–457.*
- Lazarovici, G., Kalmar-Maxim, Z., Draşovean, F., Nica, M., Luca, S. A, *Cultura Vinča în România (Timișoara, 1991)*. Volum editat cu ocazia Simpozionului Internațional "Cultura Vinca - Rolul și Legăturile Sale".
- Loke, M. H., 1997, 1999. *A Practical Guide to 2-D and 3-D surveys* (self-published).
- Loke, M. H., & Barker, R. D. (1996). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44(1), 131–152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1996.tb00142.x>
- Luca, S., A., Roman, C., C. (1999). Cercetări de suprafață în așezarea neolitică de la Valea Nandrului-La Dos (jud. Hunedoara), Corviniana, 5, 12-38.
- Mihai, A., Gereș, A., & Micu, A. (2021). Geophysical prospections in Galați County, the Negriștești site and the Cuza House Museum.
- Mihai, A. E., Gereș, A. G., Curioni, G., Atkins, P., & Hayati, F. (2019). Direct measurements of tree root relative permittivity for the aid of GPR forward models and site surveys: *Near Surface Geophysics*, 17(3). <https://doi.org/10.1002/nsg.12043>
- Mihai, A., Gereș, A., & Micu, A. (2017). Applications of the geophysical methods in archaeological researches. Case studies: Negriștești area, Galați county. *Danubius*, 2017(35).

- Mihai, A. E. (2014). Utilizarea Georadarului in studierea patrimoniului natural si istoric - studiu de caz in regiunea Braga, Portugalia. MSc thesis, University of Bucharest, Faculty of Geology and Geophysics.
- Nero, C., Aning, A. A., Danuor, S. K., & Noye, R. M. (2016). Delineation of graves using electrical resistivity tomography. *Journal of Applied Geophysics*, 126(January), 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.01.012>
- Novo, A., Lorenzo, H., Rial, F. I. I., Pereira, M., & Solla, M. (2008). Ultra-dense grid strategies for 3D GPR in Archaeology. *12th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 16-19, Birmingham, UK, June 2014*, 3–8.
- Papadopoulos, N. G., Yi, M. J., Kim, J. H., Tsourlos, P., & Tsokas, G. N. (2010). Geophysical investigation of tumuli by means of surface 3D Electrical Resistivity Tomography. *Journal of Applied Geophysics*, 70(3), 192–205. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2009.12.001>
- Ranson, D., & Egloff, B. (1988). The Application of Earth-Resistivity Surveys to Australian Archaeological Sites. *Australian Hisotircal Archaeology*, 6, 57–73.
- Rücker, C., Günther, T., & Wagner, F. M. (2017). pyGIMLi: An open-source library for modelling and inversion in geophysics. *Computers and Geosciences*, 109(August), 106–123. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.07.011>
- Schmidt, A. (2008). Electrical and magnetic methods in archaeological prospection. *Seeing the Unseen: Geophysics and Landscape Archaeology, January 2009*, 67–81. <https://doi.org/10.1201/9780203889558.pt2>
- Urbini, S., Cafarella, L., Marchetti, M., Chiarucci, P., & Bonini, D. (2007). Fast geophysical prospecting applied to archaeology: Results at « Villa ai Cavallacci » (Albano laziale, Rome) site. *Annals of Geophysics*, 50(3), 291–299. <https://doi.org/10.4401/ag-4430>
- Warren, C., Giannopoulos, A., & Giannakis, I. (2016). gprMax : Open source software to simulate electromagnetic wave propagation for Ground Penetrating Radar ☆. *Computer Physics Communications*, 209, 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2016.08.020>
- Whiting, B. M., McFarland, D. P., & Hackenberger, S. (2001). Three-dimensional GPR study of a prehistoric site in Barbados, West Indies. *Journal of Applied Geophysics*, 47(3–4), 217–226. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(01\)00066-0](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(01)00066-0)
- Wilkinson, P. B., Meldrum, P. I., Chambers, J. E., Kuras, O., & Ogilvy, R. D. (2006). *Improved strategies for the automatic selection of optimized sets of electrical resistivity tomography measurement configurations*. 1119–1126. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03196.x>