

UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI
FACULTATEA DE ELECTRONICĂ , TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA
INFORMAȚIEI
SPECIALIZAREA TEHNOLOGII ȘI SISTEME DE TELECOMUNICAȚII

**APLICAȚII ALE MAGNETOMETRELOR
GRADIOMETE PENTRU PROSPECȚIUNI ARHEOLOGICE**

COORDONATOR

s.l. dr. ing. Daniela DEREVLEAN

STUDENT

CUCU Petr

IAȘI 2025

CUPRINS

1. INTRODUCERE
2. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL MAGNETOMETRELOR ȘI GRADIOMETRELOR
3. METODOLOGIA PROSPECȚIUNELOR ARHEOLOGICE
4. APLICAȚII PRACTICE
5. LIMITARI ȘI PROVOCĂRI
6. TENDINȚE ȘI PERSPECTIVE
7. CONCLUZII
8. BIBLIOGRAFIE

INTRODUCERE

Prospecțiunile arheologice au un rol esențial în descoperirea și protejarea patrimoniului cultural. De-a lungul timpului, metodele tradiționale de săpături s-au dovedit a fi costisitoare și invazive, având adesea un impact negativ asupra integrității siturilor arheologice. În acest context, tehnologiile moderne, inclusiv măsurătorile magnetice, au revoluționat procesul de explorare și documentare a siturilor fără a afecta structurile subterane.

Magnetometrele și gradiometrele sunt instrumente esențiale în acest proces, permițând detectarea variațiilor locale ale câmpului magnetic terestru. Aceste variații sunt cauzate de prezența structurilor sau obiectelor îngropate, cum ar fi:

- Fundații ale construcțiilor antice, drumuri, ziduri sau fortificații;
- Depozite de ceramică arsă sau artefacte metalice;
- Gropi, morminte și alte anomalii subterane.

Beneficiile acestor tehnici sunt numeroase:

- Identificarea rapidă și precisă a zonelor de interes arheologic;
- Reducerea costurilor și efortului logistic al săpăturilor;
- Protejarea siturilor prin minimizarea intervențiilor directe.

Scopul acestui referat este de a analiza principiile de funcționare ale magnetometrelor și gradiometrelor, aplicarea lor în prospecțiunile arheologice, exemple practice, provocările întâmpinate și perspectivele tehnologice viitoare. Această abordare subliniază importanța adoptării metodelor non-invazive în explorarea arheologică modernă și contribuția lor la descoperirea și conservarea patrimoniului istoric.

2.PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL MAGNETOMETRELOR ȘI GRADIOMETRELOR

Magnetometrele și gradiometrele sunt instrumente utilizate pentru măsurarea variațiilor câmpului magnetic al Pământului, detectând anomaliile cauzate de prezența obiectelor sau structurilor subterane. Diferența principală dintre cele două dispozitive constă în modul în care măsoară câmpul magnetic și sensibilitatea lor față de variațiile acestuia.

2.1. Magnetometre

Magnetometrul este un dispozitiv care măsoară intensitatea absolută a câmpului magnetic la un punct specific. Aceste instrumente pot detecta variații cauzate de materiale feromagnetice, precum:

- Fundații de piatră arsă sau pereți din cărămidă arsă;
- Artefacte metalice îngropate;
- Modificări în compoziția solului rezultate din activități umane.

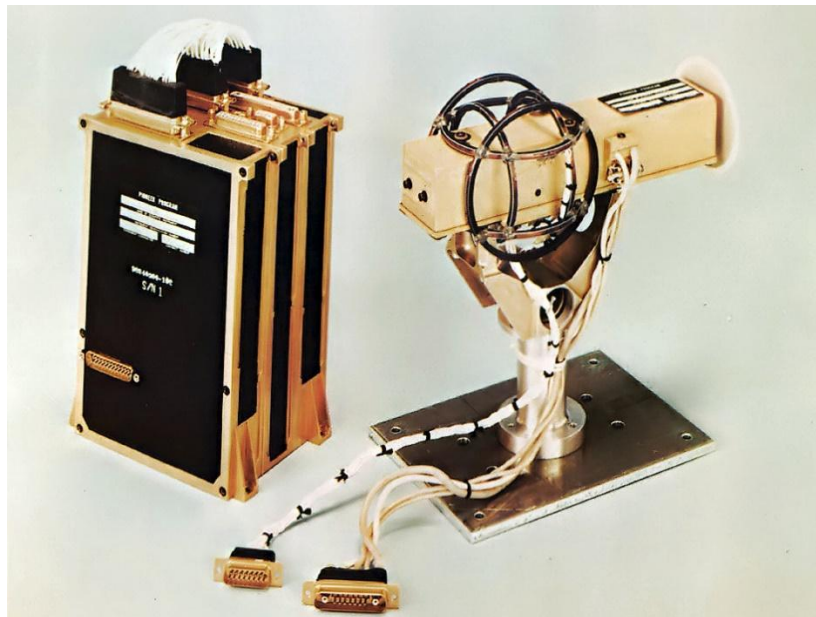


Figura nr. 1 Magnetometre

Tipuri de magnetometre:

- **Magnetometre fluxgate:** Dispozitive sensibile și compacte, ideale pentru măsurători detaliate la scară mică.

- **Magnetometre cu protoni:** Oferă măsurători precise ale intensității câmpului magnetic, fiind folosite frecvent în cercetările geofizice.
- **Magnetometre cu pompaj optic:** Extrem de sensibile, potrivite pentru detectarea anomaliilor subtile.

2.2. Gradiometre

Gradiometrul măsoară diferența de intensitate a câmpului magnetic între două puncte apropiate. Aceasta permite o detectare mai sensibilă și rapidă a anomaliilor magnetice locale, eliminând efectul câmpului magnetic de fundal global.

Avantaje ale gradiometrelor:

- Detectare mai precisă a anomaliilor de mică adâncime;
- Eliminarea variațiilor câmpului magnetic cauzate de factori naturali;
- Măsurători rapide și eficiente pe suprafețe mari.



Figura nr.2 Gradiometre

2.3. Factori care influențează măsurătorile

- **Compoziția solului:** Solurile cu conținut ridicat de materiale magnetice naturale pot genera anomalii false.
- **Activități umane recente:** Resturile metalice moderne pot interfera cu măsurătorile.
- **Condițiile climatice:** Variațiile de temperatură și umiditate pot afecta precizia echipamentelor.

În prospecțiunile arheologice, alegerea instrumentului adecvat și corecta interpretare a datelor sunt esențiale pentru obținerea unor rezultate relevante și eficiente.

3. METODOLOGIA PROSPECȚIUNELOR ARHEOLOGICE

Prospecțiunile magnetice implică o serie de etape esențiale care asigură colectarea și interpretarea corectă a datelor pentru identificarea structurilor subterane. Planificarea riguroasă și utilizarea tehnicilor adecvate sunt esențiale pentru succesul unei astfel de investigații.

3.1. Planificarea investigațiilor

Înainte de efectuarea măsurătorilor, se analizează contextul sitului și se stabilesc obiective clare:

- Definirea zonei de prospecțiune pe baza informațiilor istorice sau topografice;
- Evaluarea factorilor care pot influența măsurătorile, precum prezența liniilor electrice sau activități antropice recente;
- Alegerea echipamentului potrivit (magnetometru sau gradiometru) în funcție de natura investigației.

3.2. Realizarea măsurătorilor și colectarea datelor

- Se delimitează grila de prospecțiune, de obicei sub formă de pătrate sau dreptunghiuri, pentru acoperirea uniformă a terenului;
- Operatorii se deplasează pe trasee paralele, realizând măsurători la intervale regulate pentru a asigura acuratețea datelor;
- Se utilizează tehnologii GPS pentru o poziționare precisă a fiecărui punct de măsurare.

3.3. Procesarea și analiza datelor

- **Filtrarea datelor:** Eliminarea zgomotului cauzat de variațiile naturale ale câmpului magnetic sau de obiecte moderne;
- **Cartografierea anomaliilor:** Crearea hărților magnetice care evidențiază zonele cu potențial arheologic;
- **Interpretarea rezultatelor:** Asocierea anomaliilor magnetice cu posibile structuri, artefacte sau modificări ale solului.

3.4. Validarea și corelarea datelor

- Prospejeciunile magnetice sunt adesea completate de alte metode geofizice, precum rezistivitatea electrică sau radarul de penetrare a solului (GPR), pentru confirmarea și detalierea descoperirilor;
- Validarea datelor prin sondaje arheologice selective poate contribui la confirmarea interpretării hărților magnetice.

Prin respectarea metodologiei, prospecțiunile arheologice magnetice devin un instrument valoros în descoperirea și protejarea patrimoniului cultural, minimizând nevoia de intervenții invazive.



Figura nr. 3 Deținuții politici morți în lagărul de muncă de la Periprava

4.APLICAȚII PRACTICE

Magnetometrele și gradiometrele au fost utilizate cu succes în numeroase proiecte de prospecțiuni arheologice, contribuind la identificarea și documentarea unor situri importante. Aceste instrumente permit detectarea rapidă și precisă a structurilor și artefactelor subterane, chiar și în condiții dificile.

4.1. Detectarea structurilor subterane

Magnetometrele și gradiometrele sunt esențiale pentru identificarea unor structuri complexe, precum:

- **Fundații antice:** Ziduri, temple sau alte construcții realizate din materiale magnetizate, precum piatra arsă sau cărămida.
- **Drumuri și alei:** Urme ale drumurilor antice sunt vizibile datorită diferențelor în compoziția solului.
- **Fose și șanțuri:** Gropile utilizate pentru depozitare sau apărare pot fi identificate prin contrastul magnetic dintre umplutură și solul înconjurător.

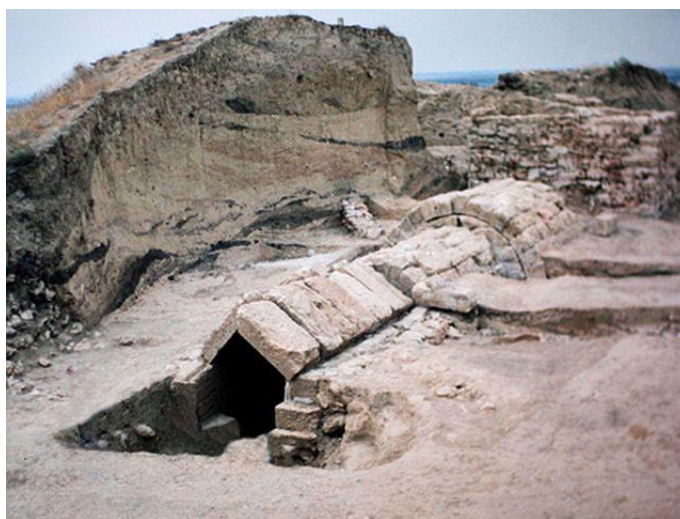


Figura nr.4 Stiturile arheologice din Mangalia

4.2. Studiul unor situri arheologice importante

Tehnicile magnetice au fost aplicate cu succes în diverse situri arheologice de renume, cum ar fi:

- **Situl de la Stonehenge (Marea Britanie):** Prospecțiunile magnetice au dezvăluit structuri îngropate, inclusiv cercuri suplimentare de piatră și drumuri asociate.

- **Orașele antice romane:** Cartografierea complexă a planurilor urbane, incluzând băi publice, amfiteatre și rețele de canalizare.
- **Situl Troia (Turcia):** Investigarea straturilor arheologice fără a excava zone extinse.

4.3. Delimitarea și protejarea siturilor

- Prospechțiunile magnetice ajută la delimitarea exactă a siturilor arheologice, contribuind la protejarea acestora de activitățile moderne, cum ar fi construcțiile sau exploatările agricole.
- Identificarea zonelor cu densitate arheologică ridicată permite prioritizarea săpăturilor și economisirea resurselor.

4.4. Artefacte metalice și ceramică arsă

Prospechțiunile magnetice sunt utile pentru localizarea artefactelor metalice sau a ceramicii arse, care generează anomalii magnetice distincte. Acest lucru oferă o perspectivă detaliată asupra activităților umane din trecut.

Aplicațiile practice ale magnetometrelor și gradiometrelor demonstrează utilitatea acestora în cercetarea arheologică, reducând semnificativ impactul asupra siturilor și contribuind la o înțelegere mai profundă a trecutului uman.

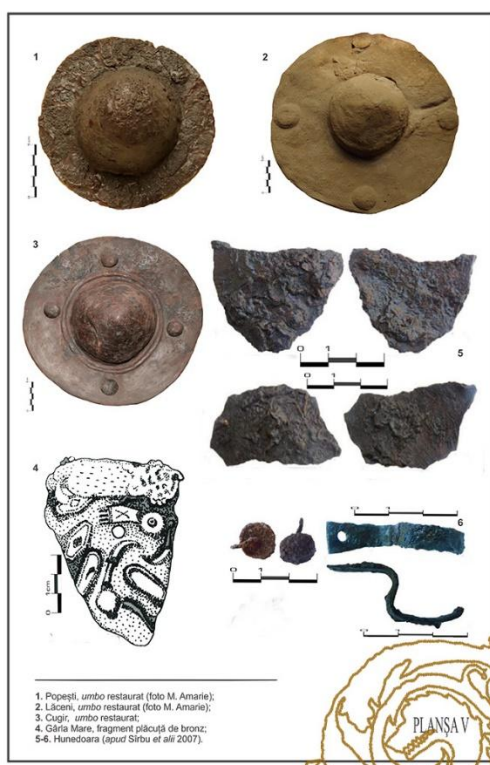


Figura nr.5 Scuturi Dacice

5. LIMITARI ȘI PROVOCĂRI

Deși magnetometrele și gradiometrele reprezintă instrumente valoroase pentru prospecțiunile arheologice, utilizarea lor este influențată de o serie de factori care pot limita acuratețea și interpretarea rezultatelor. Aceste limitări și provocări trebuie luate în considerare pentru a maximiza eficiența acestor metode.

5.1. Factori naturali

- **Compoziția solului:** Solurile cu un conținut ridicat de minerale magnetice naturale, cum ar fi bazaltele, pot produce anomalii care maschează structurile arheologice.
- **Topografia terenului:** Suprafața neregulată poate afecta stabilitatea măsurătorilor și poate introduce zgomot suplimentar în date.
- **Prezența apei subterane:** Umiditatea excesivă sau acumulările de apă pot altera semnalele magnetice.

5.2. Factori antropici

- **Interferențe moderne:** Obiectele metalice recente, precum firele electrice, cuiele sau resturile industriale, pot genera semnale puternice care complică interpretarea datelor.
- **Activități agricole:** Lucrările de arat și alte intervenții moderne în sol pot distorsiona distribuția materialelor magnetice.
- **Construcții și infrastructură:** Aproximarea de clădiri, drumuri sau rețele subterane poate afecta măsurătorile.

5.3. Provocări tehnice

- **Sensibilitatea echipamentelor:** Deși gradiometrele sunt mai precise, ele pot fi influențate de zgomotul ambiental, necesitând o calibrare atentă.
- **Adâncimea limitată de detecție:** Structurile situate la adâncimi mari sau sub soluri dense pot fi dificil de detectat.
- **Rezoluția spațială:** Distanțele mari între punctele de măsurare pot reduce detaliul hărților magnetice, necesitând o densitate mai mare de date pentru rezultate clare.

5.4. Interpretarea datelor

- **Ambiguitate:** Anomaliile magnetice pot fi atribuite unor structuri naturale sau unor activități umane recente, ceea ce complică interpretarea.

- **Complexitatea siturilor:** Siturile cu o istorie îndelungată pot prezenta straturi multiple de ocupație, fiecare contribuind cu semnale magnetice diferite.

5.5. Condiții meteorologice și logistice

- Variațiile de temperatură și umiditate pot afecta performanța echipamentelor.
- Accesul dificil la unele situri poate îngreuna instalarea echipamentelor și colectarea datelor.

Pentru a depăși aceste limitări, prospecțiunile magnetice sunt adesea combinate cu alte metode geofizice, precum radarul de penetrare a solului (GPR) sau analiza rezistivității electrice. De asemenea, interpretarea datelor trebuie realizată de specialiști cu experiență, care să poată diferenția între semnalele relevante și zgomotul de fond.

6.TENDINȚE ȘI PERSPECTIVE

Tehnologia magnetometrică și gradiometrică evoluează constant, deschizând noi posibilități pentru prospecțiunile arheologice. Dezvoltările recente și tendințele viitoare indică o îmbunătățire continuă a acurateței, eficienței și aplicabilității acestor metode.

6.1. Tehnologii avansate

- **Senzori de înaltă rezoluție:** Noile generații de magnetometre și gradiometre sunt capabile să detecteze variații mai subtile ale câmpului magnetic, permițând identificarea unor structuri mai mici sau mai adânc îngropate.
- **Tehnologii multi-senzor:** Echipamentele care integrează mai mulți senzori amplasați în paralel permit acoperirea rapidă a suprafețelor mari și obținerea unor hărți detaliate.
- **Automatizarea proceselor:** Introducerea dronelor echipate cu magnetometre pentru măsurători aeriene reprezintă o tendință importantă, oferind accesibilitate și acuratețe sporită în zone dificile.

6.2. Integrarea cu alte metode geofizice

- **Combinarea datelor:** Integrarea rezultatelor magnetice cu informații provenite din radarul de penetrare a solului (GPR), analiza rezistivității sau tehnici de tomografie oferă o imagine mai completă a siturilor.

- **Modelarea 3D:** Software-urile avansate permit reconstrucția tridimensională a siturilor arheologice, facilitând interpretarea datelor și planificarea intervențiilor.

6.3. Reducerea impactului asupra mediului

Metodele non-invazive devin tot mai importante în contextul conservării patrimoniului cultural și protecției mediului. Tendința este de a utiliza magnetometria ca metodă primară pentru reducerea săpăturilor invazive.

6.4. Accesibilitate crescută

- **Costuri reduse:** Producerea de echipamente mai accesibile și democratizarea accesului la tehnologii avansate fac ca aceste metode să fie utilizate și în proiecte mai mici.
- **Programe de formare:** Creșterea numărului de specialiști instruiți în interpretarea datelor geofizice îmbunătățește utilizarea tehnologiilor magnetice.

6.5. Colaborări interdisciplinare

- Colaborarea dintre arheologi, geofizicieni, ingineri și specialiști IT contribuie la îmbunătățirea metodelor și interpretărilor.
- Crearea de baze de date globale pentru anomaliile magnetice standardizate ajută la accelerarea cercetărilor și la uniformizarea metodelor de analiză.

6.6. Explorarea siturilor inaccesibile

- **Subacvatic:** Dezvoltarea de magnetometre submersibile permite explorarea siturilor arheologice aflate sub apă, precum epavele sau orașele scufundate.
- **Zone izolate:** Dronele și echipamentele autonome facilitează investigațiile în regiuni greu accesibile, cum ar fi pădurile tropicale sau deșerturile.

În viitor, combinația dintre avansurile tehnologice, colaborările interdisciplinare și abordările inovatoare va transforma prospecțiunile magnetice într-un instrument și mai puternic pentru descoperirea, înțelegerea și conservarea patrimoniului cultural mondial.

7. CONCLUZII

Magnetometrele și gradiometrele reprezintă instrumente esențiale în domeniul prospecțiunilor arheologice, oferind o metodă rapidă, precisă și non-invazivă pentru identificarea structurilor și artefactelor îngropate. Ele au revoluționat modul în care explorăm și protejăm patrimoniul cultural, contribuind la descoperiri semnificative și la reducerea impactului asupra siturilor.

Principalele avantaje evidențiate:

- Capacitatea de a detecta o gamă largă de anomalii magnetice asociate cu activitățile umane din trecut, cum ar fi fundațiile, drumurile, gropile și artefactele.
- Utilizarea eficientă a resurselor, prin identificarea zonelor cu potențial arheologic înainte de efectuarea săpăturilor invazive.
- Posibilitatea de a cartografia rapid și precis situri mari sau inaccesibile prin utilizarea tehnologiilor moderne, inclusiv dronele.

Provocări și limitări:

- Influențele naturale și antropice asupra măsurătorilor magnetice necesită o interpretare atentă a datelor.
- Adâncimea limitată de detecție și sensibilitatea la zgomotul de fundal pot reprezenta obstacole în anumite situații.

Perspective de viitor:

Progresele tehnologice, cum ar fi senzorii de înaltă rezoluție, integrarea metodelor geofizice și utilizarea dronelor, vor continua să îmbunătățească performanța acestor metode. În plus, colaborările interdisciplinare și accesibilitatea crescută vor permite aplicarea lor pe scară mai largă, inclusiv în situri mai puțin explorate sau în zone dificile.

Concluzionând, magnetometrele și gradiometrele nu doar că ajută la descoperirea și conservarea patrimoniului cultural, ci și definesc un standard modern pentru arheologia neinvazivă. Ele reflectă progresul continuu al tehnologiilor în slujba științei și culturii, deschizând calea spre noi descoperiri și perspective istorice.

BIBLIOGRAFIE

1. Dan Ștefan ArheMAG aplicații ale metodei magnetice.
2. <https://en.wikipedia.org/wiki/Gradiometer>
3. <https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetometer>
4. <https://www.news.ro/social/noi-sapaturi-arheologice-pentru-recuperarea-ramasitelor-detinutilor-politici-morti-in-lagarul-de-munca-de-la-periprava-1922403213292017071217084169>
5. <https://ecomareaneagra.wordpress.com/litoralul-romanesc/mangalia/situri-arheologice/>
6. https://www.encyclopedia-dacica.ro/?operatie=subiect&locatie=armele&fisier=reconstructia_unui_scut_din_epoca_dacica