Georadarul
metodă arheogeofizică de investigare

Ovidiu Părăuşanu
oparausanu@yahoo.com

Alături de rezistivitatea electrică a solului şi de magnetometrie, georadarul reprezintă una din metodele, respectiv unul din aparatele, cu cele mai spectaculoase aplicații geofizice în arheologie, datorită abilității de a reda profile verticale prin situri şi depuneri culturale.

Georadarul – reprezintă o metodă care foloseşte instrumente specializate de detecție. Acest lucru se realizează cu un aparat bazat pe principiul emiterii unor unde în sol care sunt reflectate şi apoi recepționate de către un receptor.

Instrumentele folosite sunt specializate în detecția undelor radio[1].

Existența unor anomalii în sol determinate de densitatea diferită a solului, de prezența unor aglomerări de materiale de construcții (aglomerări de pietre, dărâmături), construcții, ziduri, grupări de chirpici (pământ ars de la colibe sau locuințe), sau alte aglomerări de materiale este detectată şi înregistrată numeric, sau pe un ecran digitalizat. Datele astfel obținute sunt prelucrate matematic prin diagrame sau modelări pe calculator, obținându-se hărți ale subsolului[2].

I. Fenomenele fizice şi teoria ce stau la baza elaborării metodei radar (GPR)

I.1 Principiile fizice

Metoda de investigare cu georadarul cunoscută în literatura de specialitate ca metoda GPR (Ground Penetrating Radar) prin urmare, reprezintă o metodă activă, ce constă în transmiterea de impulsuri electromagnetice în pământ de către o antenă, precum şi măsurarea timpului scurs dintre momentul în care a fost emis semnalul electromagnetic de pe suprafața antenei şi momentul în care o parte a acestui semnal se întoarce prin reflexie pe suprafața antenei, sau mai bine zis calculul *timpului dus-întors* al semnalului electromagnetic.

Principiul de bază de la care se porneşte este acela că materialele prezente în sol prezintă proprietăți (densitate, duritate, caracteristici dielectrice) diferite față de mediul nederanjat în care se află. Georadarul induce anumite tipuri de unde în sol, după maniera în care radarul tradițional trimite unde electromagnetice pentru detectarea obiectelor aflate în zbor.

Dacă impulsurile radar traversează diferite materiale în drumul lor spre „ținta” caracteristică îngropată, viteza acestor impulsuri se va schimba în funcție de proprietățile fizico-chimice ale materialelor pe care le traversează. Astfel, materialele cu proprietăți dielectrice diferite vor duce la viteze diferite de reflexie şi refracție a undelor respectiv *razei radar*. Când timpul de călătorie al impulsurilor energetice este

[1] S. A. Luca, *Introducere în arheologie generală*, în *Note de curs*, Sibiu, 2004, p. 123.
[2] Gh. Lazarovici, *Metode şi tehnici moderne de cercetare în arheologie*, Bucureşti, 1998, p.19.

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

măsurat, iar viteza lor de penetrare a solului este cunoscută, distanța sau adâncimea din sol poate fi măsurată cu exactitate[3].

Distribuția lor ulterioară poate fi cartată din măsurarea timpului scurs de la trimiterea undei radar până la recepționarea ei – timpul de „întârziere" = principiul *radarului clasic*. Pot fi detectate roci, pavimente, fundații, soluri cu compoziție acvatică diferită precum şi metale[4].

Aspectul particular al undelor reflectate, denumit şi *forma undei*, unde care sunt receptate din interiorul solului, poate fi vizualizat printr-o reprezentare grafică (Fig.1)[5].

Se poate observa din reprezentarea grafică faptul că forma undei pierde din amplitudine în timp iar pe măsură ce penetrează solul, energia ei este atenuată datorită adsorbției.

Într-un sol omogen, forma undelor este aproximativ aceeaşi. În cazul în care în sol apar însă aspecte particulare caracterizate de alte proprietăți fizico-chimice, pe grafic vor apărea discontinuități sau deviații de la forma clasică a undelor.

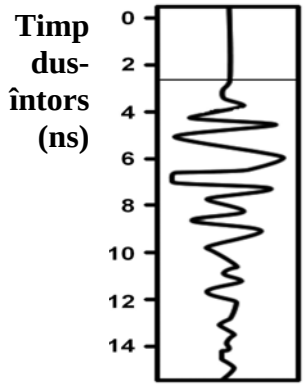

Fig.1

Vom denumi în continuare aceste domenii particulare din sol *anomalii*.

Anomaliile vor induce refracții şi reflexii particulare ale undelor, caracterizate de schimbarea indicilor de refracție sau a unghiurilor de reflexie.

Aceste anomalii constau de obicei în: diverse tipuri de rocă, sedimente, variații ale conținutului de apă, schimbări ale densității pe interfețele stratigrafice sau pur şi simplu aspecte ale activităților umane din trecut sau obiecte confecționate de către oameni.

Acest ultim aspect al activităților umane din trecut este cel care prezintă interes din punct de vedere arheologic şi prin urmare a determinat aplicarea acestei metode în arheologie.

O altă caracteristică foarte importantă a acestei metode este faptul că are un ***caracter nedistructiv***, neafectând sub nici o formă zonele investigate.

Pe lângă anomaliile ce constau în intruziunea în sol a unor domenii cu caracteristici diferite, un alt tip foarte important de anomalie o reprezintă *golurile*. Spațiile goale din sol prezintă interes din punct de vedere arheologic deoarece ele pot fi: gropi, morminte, conducte, tuneluri, etc. Golurile, de asemenea vor genera reflexii semnificative ale undelor radar, datorită schimbării evidente a vitezei de propagare a semnalului electromagnetic atunci când acesta le traversează[6].

La modul foarte general, toate anomaliile vor reflecta un *front energetic de undă*, care are atât o componentă pozitivă cât şi una negativă în ce priveşte

---

[3] M. Ciută, *Metode şi tehnici moderne de cercetare în arheologie*, în *Note de curs*,Alba Iulia, 2003, p. 70.
[4] *Ibidem*
[5] http://mysite.du.edu/~lconyers/SERDP/RDP.htm
[6] T. Saarenketo, *Electrical properties of water in clay and silty soils*, în *Journal of Applied Geophysics*, vol. 40, 1998, pp. 73-88.

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

amplitudinea, respectiv maxime şi minime. Prin reflexie, semnalele radar se vor întoarce la suprafață, unde vor fi înregistrate.

O serie de reflexii generate de o singură locație poate produce o *compunere a mai multor fronturi de undă* reflectate de la diferite adâncimi în sol (Fig. 2)[7].

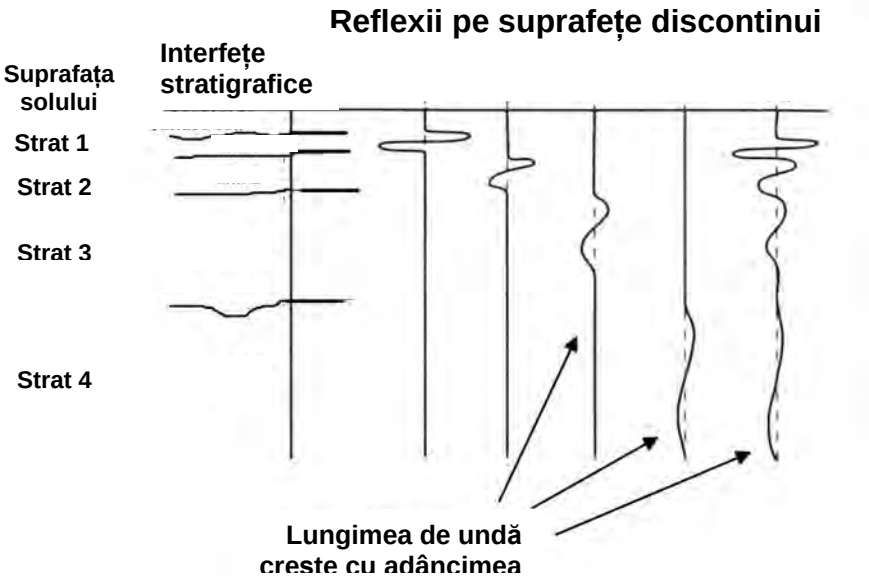

Fig.2

Pentru a se crea o vizualizare a reflexiilor subterane, indiferent de modul în care acestea sunt generate, reflexiile vor fi dispuse în ordinea corespunzătoare *timpului dus întors de parcurs* al undelor reflectate pe o direcție verticală şi perpendiculară pe suprafața locației. Timpul este reprezentat pe o axa verticală a sistemului de coordonate *Oy* iar pe axa orizontală *Ox* va fi reprezentată distanța ce reprezintă adâncimea în sol la care au loc reflexiile.

Aceste profile bidimensionale sunt înregistrate de un computer şi convertite în imagini ce constau în benzi orizontale de culoare alb, negru sau gri. Reflexiile puternice generează benzi distincte de culoare neagră sau gri închis, pe când reflexiile medii produc benzi de culoare gri. Reflexiile foarte slabe reprezentate de zonele gri deschis sau albe, prezintă acea adâncime din sol la care se găsesc straturi cu caracter puternic absorbant de câmp electromagnetic, cum ar fi argilele, pânza freatică sau pungile de apă (Fig. 3)[8].

[7] http://mysite.du.edu/~lconyers/SERDP/RDP.htm
[8] http://mysite.du.edu/~lconyers/SERDP/conyers..pdf

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

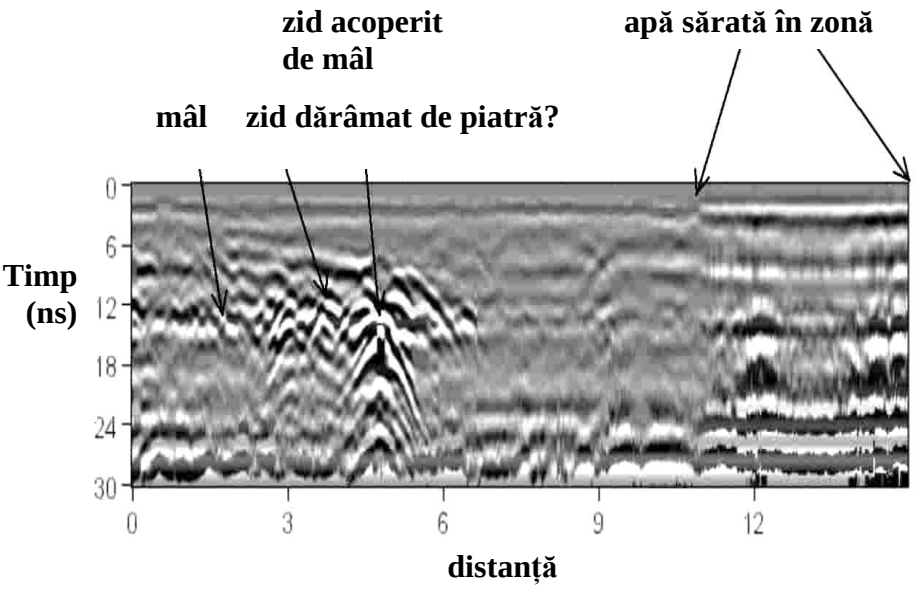

Fig.3

Prin urmare cu ajutorul distanței de-a lungul profilului, măsurată în metri (m), *timpul dus întors de parcurs* al undelor reflectate, măsurat în nanosecunde (ns) va fi convertit în adâncime calculată de la punctul de pe suprafața pe care se face scanarea la un moment dat.

I.2 Energia de radiație

Antenele de joasă frecvență (10 – 120 MHz) generează un câmp electromagnetic cu lungime de undă mare, câmp ce poate penetra solul până la adâncimi de 50m sau chiar mai mult în anumite condiții, dar care însă sunt capabile să rezolve numai caracteristici de dimensiuni mari.

În contrast cu acestea, antenele de înaltă frecvență (900 MHz), pot penetra solul aproximativ un metru (1m), uneori chiar mai puțin, dar pot însă genera reflexii de o acuratețe mult mai mare a imaginilor, putând astfel vizualiza caracteristici ale solului cu dimensiuni chiar mai mici de un centimetru (1 cm) în diametru. Există prin urmare o relaționare foarte clară între tipul de antenă folosită şi scopul în sine al scanării efectuate[9].

Există o concepție greşită, potrivit căreia fasciculul incident de radiație al unei antene GPR are forma unui vârf de creion ce penetrează solul. De fapt fenomenul este invers, fasciculul având într-adevăr formă conică, dar cu vârful orientat spre în sus, respectiv spre sursa de energie radiantă reprezentată de antena radar care împrăştie

[9]L. B. Conyers, C. Cameron, *Finding Buried Archaeological Features in the American Southwest: New Ground-penetrating radar techniques and three-dimensional computer mapping*, în *Journal of Field Archaeology*, vol. 25, 1998, pp. 417-430.

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

câmpul de radiație în interiorul solului. Cel mai adesea acest câmp are forma unui con eliptic în secțiune (Fig.4)[10].

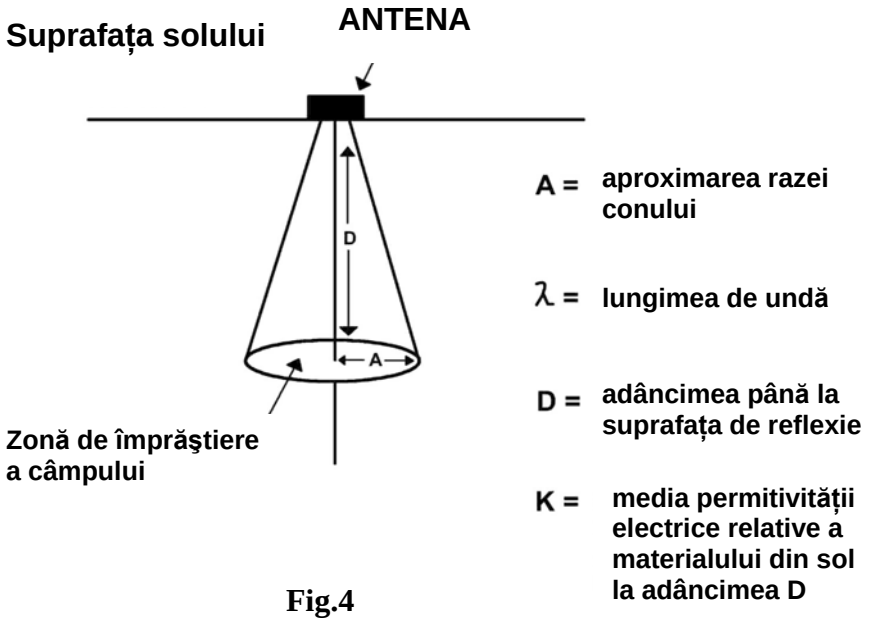

Fig.4

Relația matematică ce ne dă o aproximare relativă a razei conului A, pentru o „țintă" situată la o adâncime D este:

$$A = \frac{\lambda}{4} + \frac{D}{\sqrt{k+1}} \qquad (2.1)^{11}$$

Mărimea aproximativă a secțiunii conului de radiație la o anumită adâncime în sol, poate fi aproximată în funcție frecvența de radiație (ν) a antenei radar şi de permitivitatea relativă a solului (RDP) pe care energia câmpului electromagnetic emis o traversează. Astfel, lărgimea conului energiei de radiație va avea valori diferite, pe măsură ce energia străbate straturi de sol cu caracteristici dielectrice diferite. Va deveni mai concentrat în zonele în care *permitivitatea relativă a solului* este mai mare şi va fi mai larg în porțiunile unde permitivitatea relativă este mai mică (Fig.5)[12].

[10] http://mysite.du.edu/~lconyers/SERDP/energycone.htm
[11] T. Saarenketo, *op. cit.*, pp. 73-88.
[12] http://mysite.du.edu/~lconyers/SERDP/energycone.htm

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

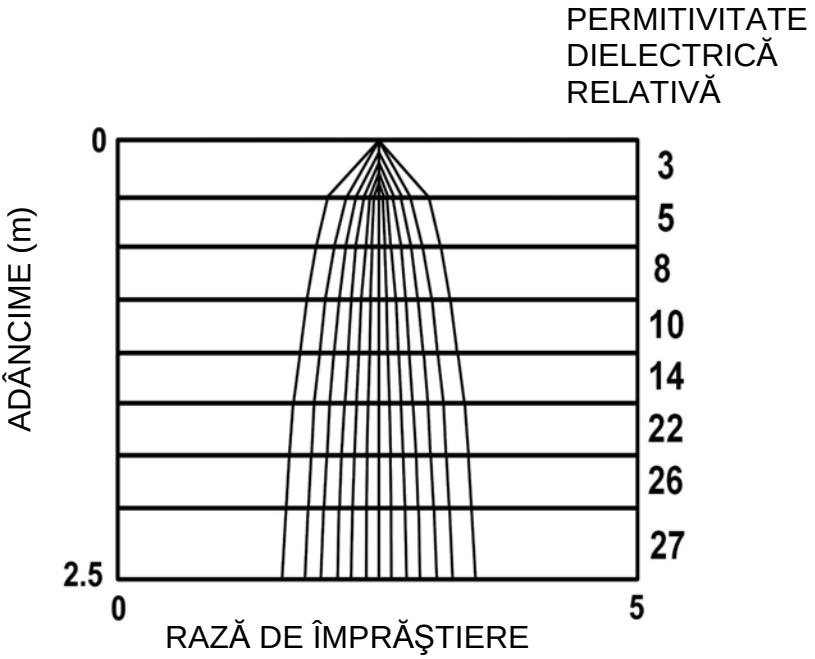

Fig.5

Acest model de estimare a lărgimii conului energiei de radiație este foarte util atunci când se dorește trasarea grafică la scară a stratigrafiei solului şi prin urmare toate structurile subterane vor trebui "iradiate" pentru ca la rândul lor sa poată reflecta câmp electromagnetic pentru a putea fi vizualizate.

I.3 Focalizarea şi dispersia câmpului

Reflexiile pe interfețele dintre straturile subterane care prezintă încrețituri, concavități sau oricare alte forme neregulate pot de asemenea focaliza sau dispersa energia radar în funcție de orientarea suprafeței cât şi de localizarea sursei de câmp electromagnetic, respective a antenei radar pe suprafața solului.

În cazul în care o suprafață plană are forma unui unghi cu vârful orientat în sus şi se află la oarecare distanță de locația antenei sau are formă convexă orientată în sus, majoritatea energiei va fi reflectată departe de antenă astfel nici o reflexie sau doar o mică parte a reflexiei va fi înregistrată. Acest fenomen este denumit *dispersie radar* (Fig. 6)[13].

[13] http://mysite.du.edu/~lconyers/SERDP/focus_scatter.htm

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

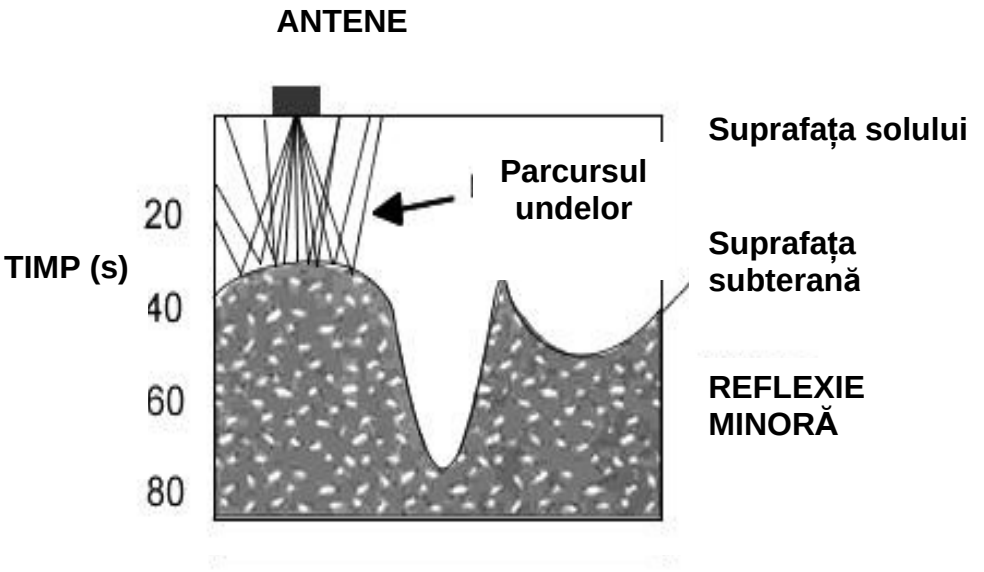

Fig.6

Fenomenul invers se întâmplă atunci când suprafața în formă de unghi are vârful orientat spre în jos au dacă suprafața are formă concavă. În acest caz, energia reflectată va fi concentrată, obținându-se astfel o undă de reflexie a câmpului radar cu o amplitudine foarte mare, care va putea fi inregistrată şi vizualizată foarte bine. Fenomenul poartă numele de *focalizare radar* (Fig.7)[14].

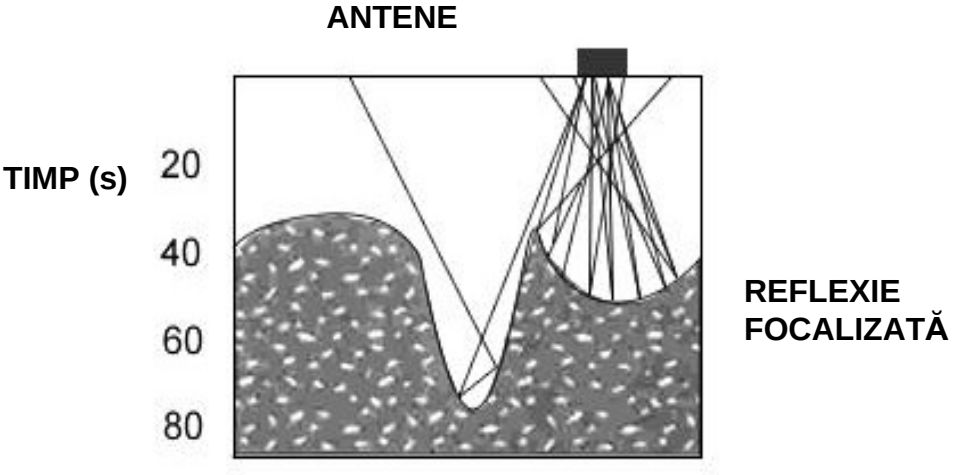

Fig.7

[14] *Ibidem*

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

I.4 Puncte sursă de reflexie şi hiperbole

Pot exista mai multe *puncte sursă de reflexie* care sunt generate de o singură anomalie a solului. Materialele îngropate care generează acest tip de puncte sursă de reflexie pot fi: pietre, obiecte metalice, țevi care se intersectează în unghi drept sau o altă mare varietate de obiecte mici din categoria celor enumerate anterior. Acestea, pe un profil de reflexie bidimensional produc imagini foarte asemănătoare hiperbolelor (Fig. 8)[15].

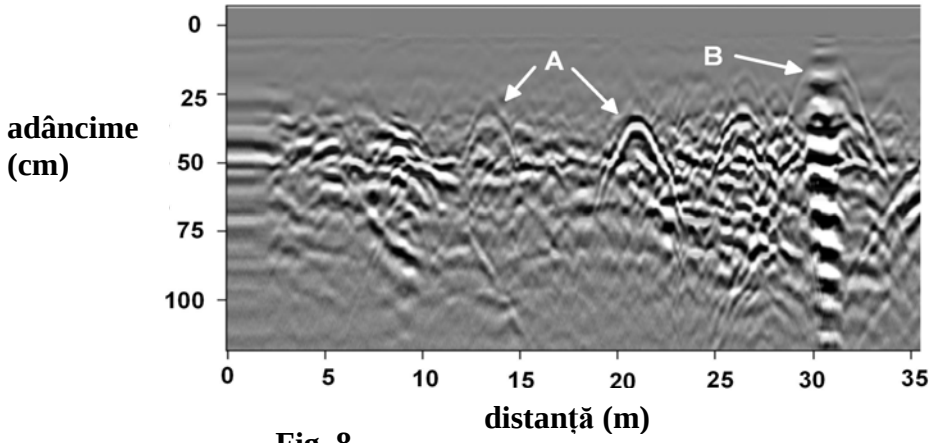

Fig. 8

Punctele sursă de reflexie ale hiperbolelor, reprezintă de fapt *interferențe*. Interferența este un fenomen fizic mai complex decât o simplă reflexie. Ea constă în compunerea sau suprapunerea în acelaşi loc a două sau mai multe oscilații electromagnetice.

Aceste interferențe sunt generate datorită faptului că multe antene radar care emit de sus în jos un front de undă de formă conică, aşa cum am mai explicat anterior, primesc energie de radiație şi de jos în sus, datorită reflexiilor ce apar pe măsură ce radiația de penetrare parcurge straturile de sol. Frontul de energie radar dispersată, va fi prin urmare, împrăştiat înspre exterior şi iarăşi va fi reflectat de către obiectele care nu sunt imediat sub poziția radarului la un moment dat. Astfel proiecția conică a energiei radar va permite acesteia să străbată solul după o direcție oblică în raport cu un punct sursă (1), aşa cum apare în partiția (A).

Pe măsură ce dispozitivul radar se deplasează pe suprafața solului, apropiindu-se de un punct sursă îngropat, antena de recepție va înregistra undele reflectate, înregistrarea făcându-se în mod continuu până la momentul în care radarul se află deasupra punctului sursă cât şi după ce trece de această poziție. În acest fel va fi generată o reflexie de formă hiperbolică, având vârful, sau altfel spus, *punctul de maximă intensitate* chiar deasupra punctului sursă, aceasta scăzând apoi, pe măsură ce dispozitivul se îndepărtează de obiect. Acest lucru se întâmplă deoarece, cu cât antena receptoare se află mai aproape de obiect, timpul necesar undei reflectate de a ajunge la ea este mai mic, unda pierzând în acest fel mai puțină energie de radiație. Fenomenul

[15] http://mysite.du.edu/~lconyers/SERDP/pointsource.htm

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

invers, cu cât antena se depărtează de punctul sursă, timpul de parcurs al undei reflectate de la obiect la antenă va fi mai mare, unda pierde mai multă energie pe parcurs, prin urmare intensitatea undei reflectate înregistrate de antena receptoare va fi din ce în ce mai mică[16] (Fig.9)[17].

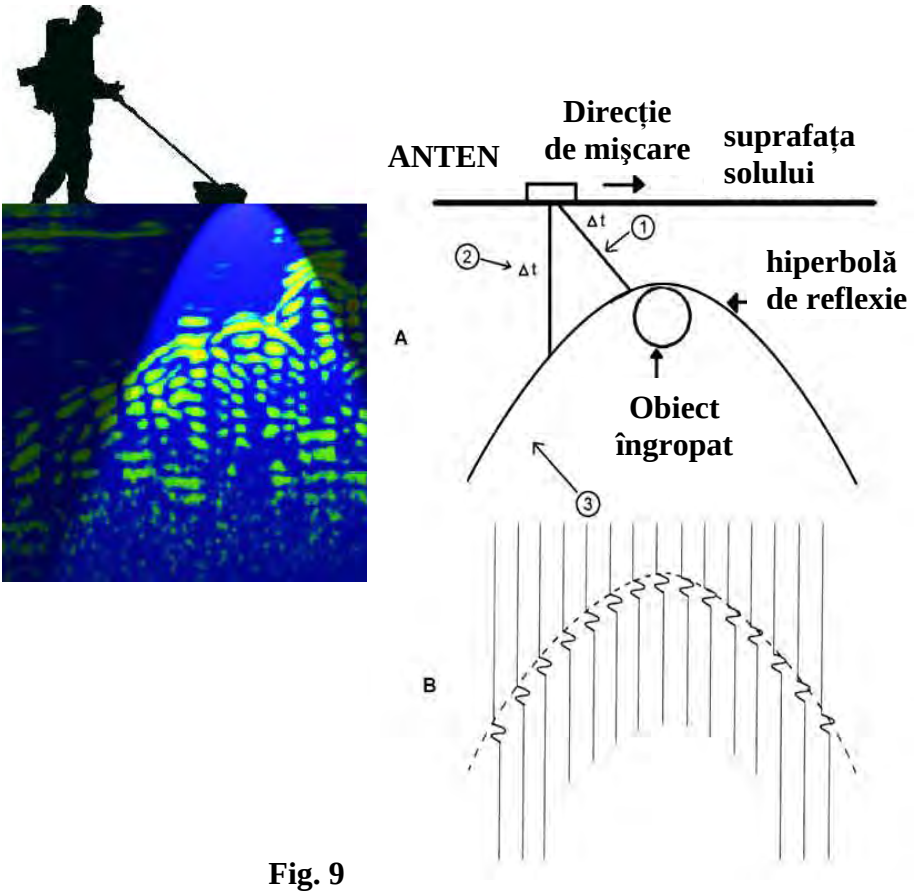

Fig. 9

II. Dispozitive radar (GPR) de colectare, procesare şi interpretare a datelor

II.1 Scanarea propriu-zisă

Important de reținut este faptul că aceasta nu este o metodă geofizică care poate fi aplicată imediat la toate domeniile geografice sau arheologice, deşi cu modificări atente şi minuțioase în metodologia de achiziție şi de prelucrare a datelor, GPR-ul poate fi adaptat pentru o mare varietate de condiții de amplasament.

[16] L. B. Conyers, C. Cameron,*op. cit.*, p. 120.
[17] http://mysite.du.edu/~lconyers/SERDP/pointsource.htm

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

Succesul sondajelor GPR în arheologie în mare măsură depinde de mineralogia solului şi a sedimentelor, conţinutul de argilă, umiditatea solului, adâncimea de îngropare, topografia de suprafaţă şi a vegetaţiei.

Adâncimea maximă efectivă de penetrare a undelor radar, este în funcţie de doi factori principali:

1. *frecvenţa câmpului de radiaţie* propagate în interiorul solului
2. *caracteristicile fizice* ale zonelor prin care trece energia de radiaţie

Proprietăţile fizice care influenţează undele radar, pe măsură ce acestea străbat un mediu sunt *conductivitatea electrică* şi *permeabilitatea magnetică*. Solurile, rocile şi sedimentele care sunt materiale dielectrice, vor permite trecerea unei mari cantităţi de energie electromagnetică radiativă, *fără ca aceasta să fie disipată*.

Cu cât *conductivitatea electrică* a materialului este mai mare, cu atât materialul va fi mai puţin dielectric, prin urmare o mare cantitate de energie va fi atenuată.

Într-un mediu cu conductivitate electrică mare, componenta electrică de propagare a câmpului electromagnetic se propagă adânc în sol, ea disipându-se aproape în totalitate[18]. Acest lucru se întâmplă deoarece ambele componente ale câmpului, atât cea electrică cât şi cea magnetică se întreţin şi se generează reciproc (Fig.10)[19].

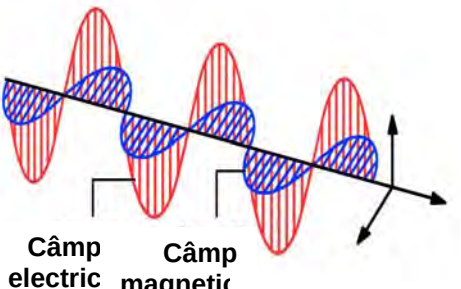

Fig.10

Mediile cu conductivitate electrică mare sunt acelea care conţin apă sărată sau argilă, în special dacă această argilă este umedă. Prin urmare, orice sol sau sedimente care conţin sare în stare solubilă sau alte tipuri de electroliţi vor constitui un mediu cu o conductivitate electrică mare. Adesea, chiar şi solurile deşertice, chiar dacă par a fi extrem de uscate şi prin urmare, ar trebui să permită transmisia radar, când conţin săruri hidrice în interstiţiile stratigrafice, vor conduce electricitate, energia radar fiind astfel atenuată la o mică adâncime faţă de suprafaţă.

Alte minerale din sol, în special cele care sunt solubile în apă, pot creea ioni liberi care vor genera o conductivitate electrică mare. Sulfaţii, carbonaţii, fierul, sărurile de toate felurile, mineralele în special cele mai primitive, creează în contact cu apa zone cu o conductivitate electrică mare ce pot cu uşurinţă atenua energia radar.

În condiţii nefavorabile de umiditate, respectiv atunci când aceasta are valori foarte ridicate şi dacă apa mai este şi uşor salină, sedimentele calcaroase din sol care cu siguranţă conţin şi argilă bogată în minerale, adâncimea de penetrare a undelor radar va fi sub un metru (1m), indiferent de frecvenţa (ν) a antenei de emisie radar folosită.

Permeabilitatea magnetică, la rândul ei afectează adâncimea de penetrare a undelor radar într-un mediu. Permeabilitatea magnetică constă în gradul de sensibilitate al mediului de a răspunde unui câmp magnetic extern, prin polarizare magnetică, după o

[18]J. Isaacson, R. E. Hollinger, D. Gundrukm, J. Baird, *A Controlled Archaeological Test Site Facility in Illinois: Training and Research in Archaeophysics*, în *Journal of Field Archaeology*, vol. 26, 1999, pp. 227-236.

[19] http://mysite.du.edu/~lconyers/SERDP/Figure5.htm

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

direcție cât mai apropiată de direcția câmpului magnetic exterior. Mai concret, sub acțiunea unui *câmp magnetic extern*, în mediu, la nivel molecular, se formează *dipoli magnetici* care se vor alinia mai mult sau mai puțin pe direcția câmpului magnetic extern. Suma vectorială a vectorilor magnetici generați de aceşti dipoli reprezintă valoarea vectorială a *câmpului magnetic indus*.

Majoritatea solurilor şi sedimentelor sunt slab magnetice şi prin urmare au o permeabilitate magnetică redusă.

Cu cât permeabilitatea magnetică este mai mare, cu atât mai multă energie radar de radiație va fi atenuată în timpul transmisiei, iar în momentul în care componenta magnetică a undelor radar este nulă, de asemenea componenta electrică va fi anulată. În consecință, solurile care conțin magnetite, minereu de fier, oxid de fier, toate acestea având o permeabilitate magnetică mare vor determina o slabă transmisie a undelor radar în sol.

Undele radar nu penetrează metalul, aşadar un obiect de metal va reflecta toată energia radar cu care este iradiat şi va „umbri" tot ce se află sub el. Obiectele de metal îngropate vor fi uşor de vizualizat pe profilurile de reflexie deoarece formează reflexii multiple de mare intensitate.

Una dintre cele mai importante etape în aplicarea metodei radar o constituie *selectarea antenei radar de emisie*, respectiv frecvența (ν) cea mai adecvată de emisie a câmpului electromagnetic, frecvență ce trebuie să corespundă *adâncimii de interes arheologic* precum şi unei vizualizări corecte care să confere o bună rezoluție a imaginilor obținute.

În general sistemele radar folosesc *antene tip dipol*, care de obicei au două benzi de emisie, ceea ce înseamnă că valoarea frecvenței (ν) poate varia de la jumătate (x 1/2) până la de două ori (x 2) de la o *valoare principală dominantă* tipică fiecărei antenei care mai este denumită şi ***frecvență de centrare***. De exemplu, pentru o *frecvență de centrare* de 300 MHz, valorile frecvențelor undelor radar de emisie pot fi cuprinse între 150 MHz şi 600 Mhz.

Pentru o alegere corectă a antenei de emisie trebuiesc avute în considerație următoarele condiții:

- proprietățile electrice şi magnetice ale solului;
- adâncimea de interes arheologic până la care se doreşte ca undele radar să poată penetra;
- dimensiunile obiectelor de interes arheologic care se presupune că vor fi descoperite;
- accesul în zona de sit;
- prezența unor posibile surse externe emitente de câmp electromagnetic ce poate interfera cu câmpul radar.[20]

[20] L. Conyers, D. Goodman, *Ground-penetrating Radar: An Introduction for Archaeologists*, în *AltaMira Press*, Walnut Creek, California, 1997, p. 118

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

II.2 Condiții de scanare

Acuratețea rezultatelor obținute, depinde în cea mai mare măsură de tipul antenei de emisie folosite, care defineşte lungimea de undă a radiației radar de penetrare (λ), cât şi de adâncimea la care obiectele sunt îngropate.

O „regulă de aur" este aceea că pe măsură ce undele electromagnetice penetrează solul, acestea scad în frecvență (ν) sau altfel spus, creşte lungimea de undă (λ) a energiei radar de penetrare, pierzând aproximativ 25% din frecvența undelor de radiație inițiale. De exemplu, o antenă radar de emisie, cu o frecvență de radiație (ν) de aproximativ 400MHz, va genera în sol, o descărcare energetică de aproximativ 300MHz.

Prin urmare trebuie stabilit foarte bine, încă dinainte de a se începe scanarea, ce tip de obiecte sunt căutate, deoarece dimensiunile acestora vor fi armonizate cu valoarea lungimii de undă a radiației folosite.

Caracteristicile generale ale obiectelor căutate, în general sunt:

1. Suprafețe de sol plane ce pot fi încadrate stratigrafic sau structuri arheologice ample cum ar fi podinile de case. Acest tip de obiecte, necesită o orientate perpendiculară pe direcția antenei radar pentru a deveni puncte sursă şi a genera profiluri de reflexie hiperbolice.

2. Obiecte țintă cum ar fi: tuneluri, goluri, artefacte sau oricare alte obiecte fără planeitate. Şi în acest caz, rezultatele obținute pot fi interpretate, cu condiția ca dimensiunile obiectelor să fie mai mari sau egale cu 75% din valoarea lungimii de undă a radiației radar.

O problemă des întâlnită ce afectează calitatea imaginilor profilurilor de reflexie o reprezintă „*zgomotul de fond*", care este aproape întotdeauna înregistrat de către radar. Antenele radar emit unde ale căror frecvențe sunt similare celor folosite în televiziune, radio FM precum şi alte benzi de frecvență radio folosite în comunicații, prin urmare vor exista întotdeauna în apropiere surse generatoare de „zgomot de fond". Aceste surse emit la rândul lor câmp electromagnetic ce interferă cu undele radar, produc perturbații care pot induce în eroare o interpretare a profilurilor de reflexie.

Cu riscul de a repeta ideile prezentate anterior, reamintim totuşi pe scurt care sunt factorii de care trebuie să se țină cont pentru a stabili tipul optim de antenă radar ce urmează a fi folosită:

1. Obținerea a cât mai multe informații despre proprietățile fizico-chimice şi electro-magnetice ale solului ce urmează a fi investigat precum şi a sedimentelor existente. Dacă acestea nu pot fi determinate prin măsurători directe la fața locului, se vor face analize de laborator ce vor determina tipul de sol, materialele geologice precum şi gradul de umiditate al solului.

2. Stabilirea în prealabil a adâncimii la care se află obiectele de interes arheologic precum şi aproximarea dimensiunilor şi compoziției acestora. Cunoscând aproximările proprietăților dielectrice ale solului, se pot determina forma şi dimensiunile relative ale conului de radiație şi se poate anticipa potențialul de rezoluție pe profilurile de reflexie al diferitelor forme de relief, găsindu-se astfel frecvența optimă (ν) pentru antena de emisie a dispozitivului radar. De exemplu, dacă adâncimea de interes este de aproximativ un metru (1m) de la suprafața solului, se va alege o antenă cu frecvența de emisie cuprinsă între 400MHz şi 900MHz care la rândul ei va fi reglată pe frecvența cea mai adecvată studiului respectiv în funcție de stratigrafia asociată.

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

3. Dacă este cunoscut faptul că în zona de interes arheologic există o cantitate însemnată de emisie de câmp electromagnetic provenit de la posturi radio, televiziune sau stații de comunicare, şi dacă aceste surse sunt cunoscute sau pot fi identificate, este indicat ca să se folosească antene radar de frecvențe diferite, pentru a evita interferențele şi a minimaliza perturbațiile profilurilor obținute. În general, aceasta nu este o sarcină uşoară deoarece este destul de dificil de identificat sursele iar riscul compromiterii obiectivelor urmărite este ridicat în cazul în care se va alege o antenă radar neadecvată.

4. Înainte de începerea cercetărilor trebuie studiat în amănunțime locul, daca este posibil făcut un studiu topografic al zonei, pentru a vedea dacă relieful permite o posibilă o scanare radar. Dacă da, se va alege cel mai adecvat dispozitiv radar în funcție de particularitățile topografice ale zonei de interes[21].

II.3 Dispozitive de colectare a datelor

Vom reda în continuare principalele metode de colectare a datelor radar, respectiv efortul computațional aferent colectării datelor.

Pentru a colecta undele radar reflectate, este nevoie de două antene localizate intr-o „cutie" care va fi deplasată de-a lungul unei grile pe suprafața solului, grilă ce constă de fapt în caroierea anterioară a suprafeței ce urmează a fi scanată.

Prima antenă, este generatoare de câmp magnetic, respectiv unde radar şi se numeşte *emițător*, iar cea de a doua, captează undele radar reflectate în sol şi se numeşte *receptor*. Receptorul, de asemenea înregistrează undele reflectate, fiind cuplat la un computer care transformă, aşa cum am mai specificat anterior aceste date în imagini gri cu o intensitate mai mică sau mai mare a nuanței, în funcție de caracteristicile dielectrice ale zonelor din sol iradiate. Atunci când mai multe sute sau chiar mii de unde reflectate sunt procesate împreună, pe măsură ce sunt colectate de antena receptoare, se va obține un *profil de reflexie* (Fig. 11)[22].

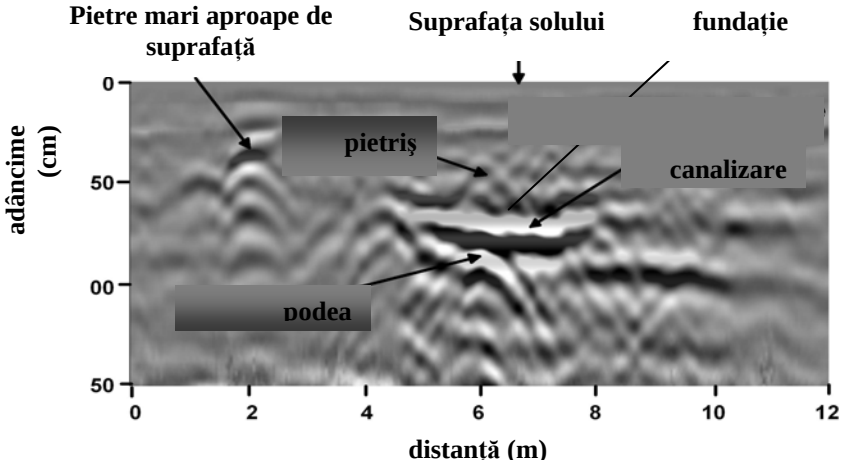

Fig.11

[21] *Ibidem*
[22] http://mysite.du.edu/~lconyers/SERDP/conyers..pdf

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

Profilurile de reflexie sunt colectate prin deplasarea echipamentului de-a lungul grilei de caroiaj configurată anterior. Energia va fi astfel transferată spre şi dinspre sistemul de control prin intermediul unui cablu de date. Sistemul de control, nu este altceva decât un computer performant, de mare putere care să fie capabil de a stoca şi procesa în timp util datele astfel înregistrate.

Majoritatea antenelor sunt plasate direct pe suprafața solului sau foarte aproape de aceasta, deoarece dacă acestea ar fi situate prea departe de suprafață, undele radar nu vor fi capabile să penetreze solul în aceeaşi măsură în care ele sunt reflectate de pe suprafața solului. Prin urmare, în numeroase cazuri, radarul va fi montat într-un dispozitiv din fibră de sticlă care, în timpul deplasării alunecă efectiv pe suprafața solului (Foto.1)[23].

Foto. 1

În fotografia anterioară se poate observa foarte clar cum aparatura de scanare este dotată cu un sistem de deplasare cu roată, cablul de date care este conectat la un computer precum şi dispozitivul din fibră de sticlă care adăposteşte sistemul radar. Cablul limitează distanța de deplasare, aceasta fiind delimitată de lungimea cablului.

Sistemele radar cele mai performante, folosesc computere autonome, acestea dispunând de acumulatori puternici ca surse de alimentare, aceste computere putând fi astfel montate direct pe sistemul de deplasare, nemaifiind astfel nevoie de un cablu de date lung care să facă legătura cu computerul şi care limita distanțele de deplasare.

Singura problemă în acest caz este timpul de funcționare al acumulatorilor ce alimentează computerul (Foto. 2)[24].

Foto. 2

O etapă care poate părea plictisitoare dar in aceeaşi măsură la fel de importantă ca şi celelalte este deplasarea dispozitivului radar pe suprafața solului, această etapă fiind efectuată de persoana care „trage” radarul. Deşi pare simplu la prima vedere, această operațiune este destul de dificilă deoarece implică mai trei condiții esențiale:

1- deplasarea trebuie făcută *paralel cu liniile de marcaj* ale grilei obținute prin caroierea anterioară a suprafeței de interes arheologic;

[23] http://mysite.du.edu/~lconyers/SERDP/CATSsiteanalysis2.htm
[24] *Ibidem*

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

2 - deplasarea radarului trebuie făcută cu o *viteză constantă*, viteză ce trebuie reglată în funcție de caracteristicile antenei de recepție, astfel este necesar ca pe liniile de caroiere să fie amplasați markeri, la distanțe egale, bine calculate încât la trecerea prin dreptul fiecărui marker, persoana ce deplasează dispozitivul să apese *butonul de înregistrare* al datelor. În cazul dispozitivelor mai evoluate, dotate cu programe informatice performante, declicul de înregistrare se produce automat, în acest caz nemaifiind nevoie de acționarea manuală a unui buton;

3 - alt aspect esențial al deplasării dispozitivului este asigurarea faptului ca antena *să aibă permanent aceeaşi orientare* şi *să se afle la aceeaşi distanță de suprafața solului* sau *în contact direct cu solul*. Schimbările de direcție ale antenei de recepție datorate neregularității suprafeței solului pot cauza perturbații în cadrul imaginilor obținute după procesarea datelor, perturbații ce pot fi uşor confundate cu anomalii ale solului, conducând astfel spre interpretări greşite ale imaginilor[25].

II.4 Procesarea şi vizualizarea datelor

Folosind programe informatice performante, se pot pune cap la cap toate datele obținute prin vizualizarea *profilurilor de reflexie bidimensionale*, obținându-se astfel *imagini tridimensionale* (3D). Prin urmare, procesarea datelor radar colectate permite construirea unor imagini 3D, imagini care redau evoluția în timp a fronturilor electromagnetice de undă, create prin emisia şi reflexia undelor radar în sol. Acest lucru presupune însă un efort computațional foarte mare. Ideea de bază a acestui tip de vizualizare 3D, este aceea că poate face posibil „reversul" evoluției şi desfăşurării frontului de undă în timp, pornind din momentul emiterii până în momentul receptării lui. Prin urmărirea acestei evoluții, se pot depista o serie întreagă de „puncte sursă", puncte ce reprezintă zone de reflexie a câmpului electromagnetic. Procesul este similar cu derularea unui film ce prezintă formarea şi deplasarea în apă a unor bule de aer, numai că derulat în sens invers, astfel se pot identifica sursele care produc bulele[26].

Odată ce datele au fost analizate, pot fi vizualizate în secțiuni bidimensionale 2D. Aceste secțiuni bidimensionale, care sunt de fapt reprezentări ale evoluției frontului de undă radar la diferite momente de timp, pot fi denumite generic „falii temporale" (Fig. 12)[27].

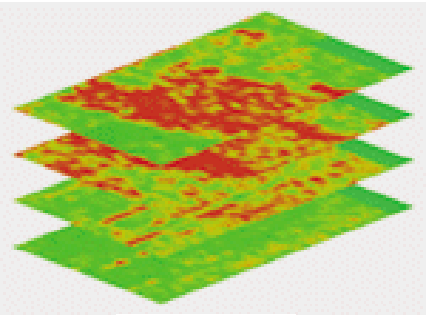

Fig. 12

Fiecare „falie temporală" poate reda reflexia frontului de undă pe anumite zone din sol, zone cu caracteristici electrice şi magnetice particulare denumite anterior *anomalii*, putându-se astfel stabili care sunt sau nu de interes arheologic. Odată stabilite aceste anomalii, „faliile temporale" ne dau informații importante privind adâncimea la care anomaliile se găsesc cât şi coordonatele plane ale

[25] L. B. Conyers, C. Cameron, *op. cit.*, p. 120.
[26] *Ibidem*
[27] http://physicsworld.com/cws/article/print/654/1/pw-13-05-10fig4

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

poziționării lor, coordonate care pot genera chiar modele tridimensionale 3D ale formei anomaliilor prin combinarea unei multitudini de asemenea „faliile temporale”. Astfel se pot obține secvențe de mişcare, animate, ale evoluției frontului de undă. Într-adevăr, această metodă de procesare a datelor, poate scoate la iveală o bogăție incredibilă de detalii privind structurile îngropate în sol.

Metoda GPR (Ground Penetrating Radar) rămâne una dintre cele mai complete şi corecte metode de investigare folosite în arheologie, perfecționându-se în timp şi oferind informații din ce în ce mai detaliate asupra particularităților de structură îngropate în sol, scutind de asemenea arheologii de un volum imens de muncă ce ar fi trebuit depus prin metodele clasice de investigare arheologică.

Summary

Ground penetrating radar (GPR, sometimes called ground probing radar, georadar, subsurface radar, earth sounding radar or "radar terrestre penetrant") is a noninvasive electromagnetic geophysical technique for subsurface exploration, characterization and monitoring.

Most geophysical prospecting methods employed in archaeology detect changes of a physical property in the subsurface. Information about the depth, shape, and thickness of archaeological features is generally possible only with time-consuming measurements and complex signal processing or modeling. In contrast, reflected radar waves can provide this information relatively directly.

GPR uses transmitting and receiving antennas or only one containing both functions. The transmitting antenna radiates short pulses of the high-frequency (usually polarized) radio waves into the ground.

GPR has many applications in a number of fields. It is widely used in locating lost utilities, environmental site characterization and monitoring, agriculture, archaeological and forensic investigation, groundwater, pavement and infrastructure characterization, mining, ice sounding, permafrost, void, cave and tunnel detection, sinkholes, subsidence, karst, and a host of other applications.

It provides a survey of archaeological method and theory, as well as the any other application of physical sciences in archaeology.

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro