

NOI METODE TEHNICE DE PROSPECȚIUNI ARHEOLOGICE

(Partea a II-a)

DE

AURELIAN PETRE

STUDIUL GEOLOGIC AL TERENULUI, NECESAR PROSPECȚIUNILOR GEOFIZICE ÎN CERCETAREA ARHEOLOGICĂ

Printre științele care contribuie la completarea cercetării arheologice se numără atât geologia, cât și celelalte discipline înrudite cu ea. Se știe că există o serie de fenomene și procese geologice (cutremure, glaciații, erupții vulcanice, invazii și regresii marine, schimbări de climă, deviații ale cursurilor unor fluvii etc.) care influențează dezvoltarea așezărilor umane, iar altele, având un caracter mai îndelungat sau brusc, modifică peisajul complet.

Atunci când dorim să reconstituim ambianța naturală în care se află un obiectiv arheologic dintr-o anumită epocă istorică, referindu-ne la evoluția morfologică a peisajului și la modificările lui datorate unor fenomene naturale, apelăm la geologie. Ea este singura capabilă de a fixa și de a reconstitui faciesul original antic al locurilor cercetate de noi și poate distinge stadii care au precedat sau succedat anumite fenomene naturale.

A. *Metodele de studiu* ale peisajului natural și ale variațiilor sale ne sînt oferite de *geomorfologie*, știință ale cărei metode sînt aplicate fie de geologi, fie de geografi. Geomorfologia — care pînă la primul război mondial era aproape exclusiv descriptivă — folosește astăzi metode multiple și perfecționate, cum sînt cele mai moderne cuceriri ale matematicii, diverse mijloace tehnice, dintre care unele aparțin ingineriei (cercelările pentru instalații hidroelectrice, galerii, străzi), precum și, mai ales, metoda de cercetare a apei subterane.

De la geomorfologie (care studiază forma solului) se trece ușor la *pedologie* (studiul terenurilor agricole) sau la *geotehnică* (care studiază comportamentul tehnic al terenurilor).

Mijloacele de care se servesc științele amintite sînt: examenul geologic al peisajului și terenului, metodele de cercetare geografică, analizele geochimice, forări sau săpături (acestea cu referire numai la metode geologice).

Studiul peisajului necesită o reprezentare cartografică la scară oarecum mare (1 : 25 000), cu completări permanente ale terenului vizat pentru cercetarea arheologică; de asemenea, este necesară și o hartă altimetrică. Cîteodată aceste hărți nu sînt suficiente și de aceea se recurge și la stereo- sau aerofotogrametrie.

I. *Aerogeologia* se bazează, ca și aerofotoarheologia, pe fotografia aeriană stereoscopică, cu ajutorul căreia se pot studia formele solului, precum și tipurile de teren.

Pe copiii stereofotogrametrice se studiază în acest scop rețelele hidrografice, formele de relief, conturul coastelor, coloritul și umbrele terenurilor, vegetația, diversele tipuri de roci și terenuri.

Printre peisajele care pot fi util studiate sînt :

- forme și depozite vulcanice scurse ; sedimente de tuf vulcanic ;
 - linia plajelor și acțiunile erozive ale valurilor ; coaste avansate sau retrase ; lagune, plaje scufundate sau ridicate ; forme de relief submarine ;
 - cursuri fluviale ce produc eroziuni sau sedimentări, meandre, cimpii aluvionale, delte ; fenomene de infiltrație ;
 - surpări de roci sau de terenuri etc.
 - forme eolice : eroziuni ale vîntului, arii de deflație ; dune deșertice sau de litoral ; invazii ale nisipului, straturi de loes ;
 - depozite glaciale și fluvio-glaciale.
- Pentru toate aceste fenomene și multe altele, fotografia aeriană este un mijloc prețios, rapid și mai ales necesar.

II. *Geologia de teren.* Ridicările geologice terestre, în cazul lipsei aerofotografiei, pot fi unite cu analiza hărților topografice, pentru a confrunța studiul tuturor fenomenelor amintite mai sus cu studiul a o serie de examene de teren și de laborator privitoare la :

- 1) examenul litologic (al rocilor și terenurilor), în așa fel încît să se poată recunoaște natura, compoziția, succesiunea și proveniența lor ;
- 2) examenul comparativ între terenuri variate, pentru a stabili epoca geologică relativă de formare și eventualele semnificații paleogeografice.
- 3) regimul hidrologic și variațiile lui de-a lungul secolelor.

Toate aceste examene pot fi coroborate fie prin foraje, fie prin săpături, ce permit a se culege date stratigrafice (care de multe ori sînt invizibile la suprafață) sau a se verifica și întări datele obținute cu ajutorul geofizicii. Cînd aceste metode rămîn insuficiente pentru a rezolva unele aspecte deosebit de importante ale cercetării arheologice, atît arheologia, cît și geologia trebuie să recurgă la geofizică.

III. *Metode geofizice.* În cele de față ne vom ocupa numai de condițiile geologice care permit sau nu o anumită metodă, în funcție de natura terenului. Aplicațiile practice ale geofizicii în arheologie vor constitui teme separate.

Pentru a folosi metodele geofizice este necesar să se delimiteze contextul geologic care ajută să se traducă în termeni fizici diferența de proprietăți fizice a diverselor tipuri de terenuri, precum și a obiectelor cercetate.

Metodele fizice ce se folosesc în explorări arheologice au fost inițial printre cele uzuale în geofizică aplicată.

Dintre numeroasele metode practice geofizice de explorare sînt mai ales două, destul de vechi, care conduceau și spre cercetarea arheologică : 1) cercetările cu ajutorul aparatelor electromagnetice de tipul *treasure-finders* și 2) prospecțiunile necesare marilor construcții.

De fapt, aparatele electromagnetice „căutătoare” erau făcute pentru a fi „detectors” cu aplicații foarte apropiate de scopurile arheologice.

Despre aplicările metodelor geofizice în vederea construcțiilor s-a scris foarte mult. În ceea ce ne interesează este de reținut că printre scopurile sale este și acela de a determina adîncimea și forma terenului unde se vor construi poduri, diguri sau alte lucrări mari. Totuși, cînd ne referim în mod special la aplicarea metodelor geofizice în cercetarea arheologică, apar îndeosebi două mari dificultăți, și anume : adîncimea mică la care se află în general monumentele arheologice și proprietățile fizice deosebite ale obiectelor arheologice, rezultate din influența ce o exercită asupra lor o serie de factori care diferă de la un punct la altul al terenului.

Pare straniu, dar totuși real faptul că este mult mai dificil să se exploreze cu aparate electromagnetice la adîncimi de cîtiva metri decît la sute sau mii de kilometri. Pentru geofizică este mai ușor să studieze cu aparatele respective nucleul terestru, care se află la 2 900 km adîncime, decît obiectele care sînt la 1—2 m profunzime.

În cazul arheologiei, este necesară o precizare extrem de mare a măsurătorilor, deoarece proprietățile fizice ale primilor metri ai pământului prezintă o variabilitate extrem de mare de la un punct la altul. Progresul neîntrerupt în perfecționarea aparatelor geofizice a dus astăzi la existența unor aparate de înaltă precizie în măsurători, construite special pentru nevoile arheologiei.

De proprietățile geofizice ale terenului ține cea de-a doua dificultate, și anume natura terenului unde se fac prospecțiunile. Proprietățile fizice utile cercetărilor primilor metri ai terenului sînt foarte puține: *electrice* și *elastice* pentru obiectele de piatră, *magnetice* pentru studiul terenurilor superficiale și *electromagnetice* pentru obiectele metalice. În mod excepțional se recurge la *măsurătorile gravitației* în vederea cercetării marilor caverne.

Metodele de lucru ale geofizicii constau în a genera un sistem de unde, care pătrund în sol și apoi se întorc, purtînd *ecoul* obiectului îngropat pe care l-au întilnit în drumul lor. Dată fiind mica adîncime la care se operează în arheologie, sînt necesare unde de frecvență ultra-acustică sau puțin acustice, de ton foarte înalt. De altfel, terenul absoarbe cvasitotal aceste frecvențe și retransmite numai frecvențele sonore joase. Chiar undele electromagnetice întilnesc o mare rezistență a terenului, cînd acesta este umed la suprafață (în stratul superficial); de aceea, pentru ușurarea pătrunderii în pămînt a undelor, se folosesc cele de foarte înaltă frecvență.

Prin formarea unor cimpuri *electromagnetice* de frecvență convenabilă se împing unde electromagnetice în corpurile bune conducătoare îngropate și care apoi pot fi măsurate în feluri diferite. Aparatele cu unde electromagnetice de frecvențe diferite reușesc să localizeze obiecte metalice ce se găsesc la adîncime mică (pînă la 1 m), cu condiția să fie într-un mediu lipsit de umezeală. De aceea ele se folosesc în mod special acolo unde obiectele sînt acoperite de pietre, ziduri sau lentile de nisip, în general pentru medii uscate, pe cînd în terenurile cu umezeală normală sînt ineficiente; ele mai pot fi folosite cu eficacitate în explorări la adîncimi pînă la pinza de apă subterană.

Proprietățile elastice datorită cărora distingem terenurile și rocile sînt: *rigiditatea*, *compresibilitatea* și *densitatea*. Aceste proprietăți se surprind cu ajutorul diversei viteze de propagare a undelor generate de ciocniri sau de explozii; terenurile uscate au viteza joasă (300—1 000 m/s), iar cele normale sau impregnate de apă au o viteză mare; de asemenea, în straturile de piatră viteza se ridică la 3 000—5 000 m/s.

De-a lungul suprafeței de contact, între rocă și pămîntul care o acoperă, undele elastice se refractă, întorcîndu-se la suprafața solului, iar parcursul și viteza lor — fie în ambele straturi, fie în unul din ele — poate fi determinată, calculată și urmărită.

Aparatele cu unde elastice sînt mai greu de minuit, iar rezultatele se obțin după calcule mai complicate decît cu cele electromagnetice. În schimb, ele sînt mai adaptate la condițiile de teren diferite de cele expuse mai înainte, putînd pune în evidență atît subsolul terenurilor uscate, cît și al celor umede, precizînd adîncimea unui fundament rigid, care poate fi constituit din ziduri sau straturi de piatră, cît de cît coerente și compacte. De asemenea este necesar ca fundamentul să fie extins și gros.

De curînd s-au construit pentru prospecțiuni arheologice aparate cu volum mult redus față de cele folosite în geofizica industrială, mînuirea lor fiind mult mai ușoară.

Metodele de folosință mai generală și profitabilă sînt acele care nu se servesc de unde, ci de cimpuri cu forțe statice. Printre acestea, de un maxim interes sînt metodele electrice și magnetice, care vor forma obiectul articolelor viitoare, ca metode de prospectare arheologică.

B. Proprietățile geofizice ale obiectivelor arheologice. În cele ce urmează, obiectele arheologice vor fi considerate numai din punctul de vedere al contrastului dintre proprietățile lor fizice și cele ale contextului unde ele se găsesc îngropate.

I. *Grole, morminte rupestre, galerii.* Acestor obiective arheologice le este comun faptul de a fi cavități într-un mediu de roci relativ adâncite (subterane), fapt care face favorabilă posibilitatea de a le depista și individualiza de la suprafață. Dacă este vorba de grole foarte mari, interiorul gol poate fi recunoscut cu ajutorul *măsurătorilor gravimetrice*, adică în baza micșorării gravitației, fenomen provocat de existența acestei cavități în masa de roci compacte și dense, cum ar fi în masa calcarului pur sau a dolomitei.

Alte goluri pot fi recunoscute cu *metoda magnetică*, dacă se găsesc într-un mediu cit de cit cu proprietăți magnetice, cum ar fi cel nisipos sau tufos.

Chiar și *metodele electrice* au reușit uneori în încercarea de a depista peșteri, deoarece cavitățile de dimensiuni mari este un spațiu cu o rezistivitate infinită, pe cînd roca are o rezistență finită, deoarece nu este lipsită de umiditate, posedînd umiditatea cavernelor; în climă foarte aridă, rezistența opusă de rocă atinge valori atît de mari, încît nu se distinge de cele infinite. Aceleași lucruri se pot spune și despre galeriile subterane, care în general au o secțiune foarte mică; ele pot fi detectate numai în cazurile cînd aceasta poate fi compensată de o lungime sau lățime mai mare a galeriilor. Teoretic, este posibil, cum este cazul catacumbelor din Roma, să fie cercetate cu ajutorul metodelor magnetice sau cu al celor electrice, ca în cazul hipogeelelor de la Agrigentum.

Un caz particular îl prezintă explorarea interioară a grotelor. Nu rareori acestea sînt pline cu prăbușituri stratificate variat, uneori prin mulți metri; grosimea straturilor poate uneori să umple aproape întreaga cavitate, împiedicînd astfel depistarea lor cu metode geofizice. De asemenea, un strat masiv de stalagmite poate masca toată grota. În aceste cazuri, explorarea cu metode geofizice poate fi pozitivă numai în cazul cînd grosimea verticală a umpluturii deltrite nu cuprinde prea mult din volumul grotiei.

II. *Morminte plane cu cameră.* Cînd mormintele sînt săpate de la suprafața terenului, iar groapa se găsește la o adîncime mică, mormîntul gol poate fi detectat pentru rezistivitate electrică înaltă, cu condiția ca gropile să nu fie atît de mici cum sînt cele pentru urne de incineratie.

Terenul în care sînt făcute gropile trebuie să fie cit de cit magnetic, pentru ca aparatele magnetice să sesizeze aceste gropi. În cazul cînd mormintelor li s-au construit șanțuri, aceste lucrări au modificat condițiile naturale ale terenului original. S-a constatat că pămîntul săpat, transportat și depus în jurul acestor camere diferă de cel neumblat prin coeziunea sa mică, porozitatea mare și permeabilitatea apei, avînd deci altă elasticitate decît pămîntul viu. Acestea schimbă și proprietățile electrice, care sînt deosebit de sensibile la variații de umiditate. Dacă terenul înconjurător nederanjat prezintă o omogenitate suficientă, în contrast cu cel răvășit de lucrări, mormintele săpate pot fi examinate pentru proprietățile lor fizice, chiar dacă groapa sepulcrală nu a rămas goală, ci are părți prăbușite, sau chiar dacă este cvasiplină de dărîmături sau de nămol.

III. *Înhumări, șanțuri, săpături în teren, urme de locuințe și așezări.* Aceste obiective de cercetare sînt uneori umplute și nivelate, umplutură în care există o abundență de fosfați și substanțe organice. De-a lungul secolelor, chiar și șanțurile sau alte săpături au fost nivelate de agricultură cu ajutorul umpluturilor de pămînt umed, reducător. Din cauza unor astfel de procese chimico-mineralogice, terenul argilos de umplutură sau de acoperire se îmbogățește cu substanțe minerale magnetice și prezintă anomalii sensibile și destul de puternice, cores-punzînd densității lor slabe. În stratul așezărilor și în urmele de locuințe se găsesc anomalii magnetice puternice, provocate de arderea argilei din vetre sau din cuptoare pentru ceramică.

Pămîntul așezărilor poate fi cercetat cu rezultate bune și cu ajutorul analizelor geochimice, dar aceasta necesită studii și metode de cercetare mult mai lente și laborioase decît cele magnetometrice.

IV. *Construcții din piatră* (locuințe, edificii publice, ziduri, străzi etc.). Straturile care acoperă astfel de ruine antice pot fi de origine artificială sau naturală. Printre acestea, în primul

rînd, se înscriu tumulii, mai mult sau mai puțin monumentali, și stratificările de urme ale culturii materiale în cetăți care au avut o lungă istorie. În al doilea rînd, monumentele pot fi acoperite de straturi de cenușă sau tuf vulcanic, de nisip deșertic sau marin, de aluviuni fluviale etc. Cînd aceste ruine sînt acoperite de straturi coerente și cu o coeziune apropiată de cea a pietrei (ca lava sau tuful vulcanic), nu există nici o posibilitate de cercetare geofizică, decît în cazul excepțional al unui înveliș de travertin peste construcții din pietre vulcanice care sînt magnetice. Toate aceste construcții acoperite pot fi din piatră, tuf sau din cărămidă și fiecare corespunde unor mari varietăți de condiții geofizice.

Tumulii nu se pretează bine la cercetări geofizice, mai ales din cauza formei lor. Stratificațiile culturale sînt mai apte pentru cercetarea geofizică prin irregularitatea orizontală și verticală a depunerilor. Straturile acoperitoare, naturale și cele de netezire agricolă sînt cele mai potrivite, iar uneori pot fi printre cele mai bune pentru cercetarea geofizică. Zidurile, în genere, se recunosc prin marea lor rezistență electrică, în afară de cazul cînd sînt acoperite de nisip arid sau de prundiș. Metoda magnetică este foarte fructuoasă cînd zidul este format din cărămizi. Dacă zidul este construit din piatră nemagnetică — în general piatră albă —, poate fi detectat prin contrastul ce îl reprezintă față de acoperămintul argilo-humic sau tufaceu, care sînt magnetice. Însă, în terenuri vulcanice este puțin probabil ca zidurile construite din blocuri de lavă sau din tuf să contrasteze sensibil față de mediul înconjurător în care sînt plasate sau care le acoperă, deoarece sînt tot din același material. În fiecare caz, dacă anomaliile electrice sau magnetice sînt slabe, poate fi de un mare ajutor prelungirea unui zid sau colțurile drepte, pe cînd dacă zidurile sînt paralele și vecine, indicațiile tind să se confunde.

Straturile de dărîmături, zidurile sau străzile distruse pot fi detectate cu ajutorul aceluiași metode electrice sau magnetice, iar uneori și cu metoda seismică (elastică).

V. *Obiectele metalice* sînt dificil de cercetat atît din cauza dimensiunilor foarte mici, cît și a adîncimii reduse la care sînt îngropate (circa 1 m) și de aceea există o oarecare probabilitate de a fi detectate cu metoda electromagnetică, iar obiectele feroase cu metoda magnetică. Ambele aceste metode dau semnale care micșorează foarte mult exactitatea, pe măsura creșterii distanței dintre obiecte, deoarece cuiele, monedele sau bucățile de metal în general, care se găsesc împrăștiate în pămînt, dau anomalii tot atît de intense și chiar mai mari decît cele provocate de kilograme de metal aflate împreună la 1 m adîncime.

Aceste metode de cercetare — în special cele electromagnetice — care se folosesc ușor și rapid, costînd foarte puțin se pretează cel mai mult la detectarea zidurilor, mormintelor cu cameră sau sarcofage, a obiectelor îngropate în pămînt, precum și în special la identificarea conductelor metalice.

VI. *Obiectele scufundate în apă sau în mlaștini* pot fi identificate dacă sînt metalice sau de piatră, deoarece corpurile poroase, cînd sînt scufundate în apă, se impregnează și au proprietăți fizice ce se diferențiază foarte puțin de cele ale apei. Explorarea poate fi făcută de la suprafață sau sub apă, cu aparate submarine. Metodele folosite sînt cele electrice, electromagnetice și magnetice. Obiectele de metal de dimensiuni mari pot fi identificate și de la suprafață numai dacă sînt de fier și zac la mică adîncime, fiindcă magnetismul sau electromagnetismul lor străbate pinza apei, dată fiind conductibilitatea lor mai mare decît chiar a apei sărate. La adîncimi mari se pot recunoaște prin metoda electrică sau electromagnetică.

Ruinele sau zidurile de piatră se pot diferenția, prin marea lor rezistivitate specială în apa marină, numai dacă sînt construite pe terenuri impermeabile sau pe stlnci (acestea fiind lipsite de umiditate).

În aplicarea tuturor metodelor de prospecțiuni arheologice, cunoașterea condițiilor geologice ale terenului este absolut necesară, dacă dorim să obținem un maxim de precizie și eficiență. De aceea se cere o cît mai strînsă colaborare între specialiștii geogeografi și arheologi.

NOI METODE TEHNICE DE PROSPECȚIUNI ARHEOLOGICE (Partea a III-a)

DE

AURELIAN PETRE

PROSPECȚIUNI ELECTRICE

Ideea de a aplica metodele geofizice în arheologie a fost salutăată de mulți arheologi, iar unii dintre ei, printre care și cunoscutul specialist englez R. J. Atkinson, le-a aplicat încă din 1946 cu succes. Experiențele făcute la Dorchester (fig. 12) și cele ce au urmat, ale arheologului britanic, care au căpătat după aceea numele de „metoda Atkinson”, au fost prezentate, în parte, în coloanele acestei reviste în 1960¹, cu multă competență. Însă de la prospecțiunile lui Atkinson² și pînă astăzi, atît metodele, cit și aparatele de prospectare electrică s-au îmbunătățit deosebit de mult, deși principiile de funcționare și aplicare au rămas aproape aceleași (fig. 12—15).

Important de semnalat acum este și faptul că în Italia s-a trecut de la faza experimentală la aplicarea pe scară largă a acestor metode geofizice în arheologie, ca program de lucru permanent și cu rezultate deosebit de valoroase. Aici, prospecțiunile geofizice se folosesc în mod consecvent, mai ales de cînd Fundația Lerici de pe lîngă Politehnica din Milano a pus la dispoziția arheologiei italiene, încă din 1955, o echipă de tehnicieni cu calificare înaltă.

Trebuie subliniat din nou faptul că inițiatorul acestei fundații, inginerul Carlo Mauricio Lerici, nu numai că a înzestrat instituția cu cele mai moderne aparate de prospectare, dintre care unele construite de specialiști proprii (fig. 13—15), ci și contribuie personal la dezvoltarea și generalizarea acestor noi metode, prin lucrări deosebit de valoroase³. Nu se exagerează cînd se spune că această instituție, prin munca membrilor săi, a deschis o nouă etapă în arheologia mondială, și anume a *prospecțiunilor moderne*, ca metodă permanentă de cercetare.



Printre metodele geofizice aplicate în arheologie, un loc de frunte îl ocupă *prospecțiunile electrice*. Cu ajutorul lor se pot face cercetări de la suprafață, pentru a ști dacă solul ascunde sau nu urme arheologice. Prospecțiunile electrice pot fi aplicate în arheologie datorită proprietăților geofizice ale solului. S-a constatat, după multe experiențe, că, în general, rocile și stratul superficial al scoarței terestre nu sînt bune conducătoare de electricitate, opunînd în general o rezistență mai mare sau mai mică la trecerea unui curent electric. Conductibilitatea solului este în funcție de gradul de îmbibare a lui cu soluții de săruri minerale; cu cit concentrația sărurilor este mai mare pe cm³, cu atît conductibilitatea electrică este mai mare, iar rezistența mai mică. În cazul cînd un strat omogen al solului a fost deranjat de diverse cauze, se schimbă și structura lui fizică, deci implicit și proprietățile sale electrice, astfel că pe baza măsurării rezistenței electrice a unei suprafețe se pot constata punctele care prezintă „anomalii electrice”, adică acele locuri care au o altă rezistență electrică decît aceea a stratului nederanjat. În general, orice urmă arheologică îngropată prezintă proprietăți fizice diferite

¹ H. Daicoviciu, *O nouă metodă de prospectare arheologică: Măsurarea rezistenței electrice a solului*, în *SCIV*, XI, 1960, 2, p. 442—446.

² *Ibidem*, fig. 1 și C. M. Lerici, *Prospezioni Archeologiche*, în *Rivista di Geofisica Applicata*, fasc. 1/1955, planșa I a și I b.

³ Vezi întreaga bibliografie în *Una grande avventura della Archeologia moderna*, 1955/1965. *Dieci anni di prospezioni archeologiche*, Lerici Editori, 1965 (capitolul „Bibliografie”).

de cele ale solului în care se află, avînd deci și o rezistență electrică diferită, adică o altă proprietate de a lăsa curentul electric să-i străbată structura. Deoarece este posibil și necesar ca într-un viitor apropiat prospecțiunile electrice să le facă arheologul, socotim util să reamintim câteva lucruri despre *rezistența electrică* și principiile aplicării ei. Se știe că prin rezistența electrică se înțelege acea proprietate pe care o prezintă un conductor electric la trecerea curentului, proprietate ce limitează intensitatea aceluia curent.

Conducția electrică este procesul de trecere a curentului printr-o substanță, prin deplasarea ionilor atomici sau moleculari sau prin procese în care atomii rămîn aproximativ staționari, cei care se deplasează fiind electronii.

Trecerea curentului electric printr-un conductor se datorește diferenței de potențial (nivel) electric de la capetele conductorului. Acest proces îl putem compara cu trecerea unui curent de apă printr-o țevă. Pentru ca într-un tub să fie un curent de apă, trebuie ca la capetele lui să existe o diferență de nivel și în acest caz apa va curge de la nivelul mai ridicat către capătul cu nivel mai scăzut. La fel și curentul electric, ca să poată trece printr-un conductor trebuie ca la capetele conductorului să fie o diferență de nivel electric.

În prospecțiunea arheologică, conductorul este porțiunea de teren cuprins între electrozii externi ai aparatului de măsurat rezistența terenului (vezi fig. 4 a).

Reamintim de asemenea că dacă unui conductor electric i se aplică o *tensiune electrică* continuă (pe care o notăm cu V) și vom trece prin acel conductor un curent I , conform legii lui Ohm $I = \frac{V}{R}$, unde R este *rezistența electrică* a conductorului. Deci $R = \frac{V}{I}$; la o măsură-

toare electrică în arheologie ne interesează permanent raportul V/I , pe care îl putem căpăta și automat, cu ajutorul unor aparate pe care le vom descrie în cadrul acestui articol. Rezistența se exprimă în ohmi care se notează cu Ω .

Rezistivitatea terenurilor și a rocilor variază între limite foarte mari și este în funcție directă de gradul de salinitate a apei ce le impregnează; de aceea conductivitatea rocilor și a terenurilor este în principal de tipul ionic sau electronic, deoarece trecerea curentului electric este însoțită de mișcarea ionilor din soluție.

Nu este posibil să se dea o clasificare exactă a rocilor și a pămînturilor în funcție de rezistivitatea lor electrică; se pot da numai valori indicative de orientare. De exemplu, argilele și nisipurile impregnate de apă sărată au o rezistivitate cuprinsă între 0,5 și 10 Ωm ; argilele și marnele de la 3 la 500 Ωm ; sîturile de la 50 la 1 000 Ωm ; calcarii de la 80 peste 5 000 Ωm ; terenurile nisipoase, graniturile, bazalturile au o rezistivitate care poate varia de la câteva zeci de Ωm pînă la mii de Ωm .

Cu toată această varietate de valori ale rezistivității pe care un anumit tip de teren sau rocă poate s-o aibă, totuși monumentele arheologice din pămînt pot fi depistate cu ajutorul măsurătorii electrice, deoarece în zone nu prea extinse solul prezintă valori de rezistivitate suficient de constante.



Pentru a înțelege cum este posibil să se depisteze monumentele arheologice acoperite de pămînt, este bine să se precizeze principiile măsurătorilor făcute într-un teren fără monumente arheologice, adică într-un *teren omogen*.

Măsurarea rezistenței electrice se execută utilizînd patru electrozi, jaloane metalice, care se înfig în pămînt. Cu ajutorul a doi electrozi externi, A și B (fig. 4a) se stabilește în teren un curent electric continuu sau, în unele cazuri, un curent alternativ de frecvență joasă, iar cu ceilalți electrozi, M și N , numiți sonde, se măsoară tensiunea provocată de trecerea curentului. Astfel, în teren se creează un *cîmp electric*, care poate fi reprezentat cu ajutorul liniilor de curent și al suprafețelor echipotențiale. Viteza purtătorilor de sarcină care constituie curentul este tangențială în orice punct la liniile de cîmp ale curentului pe unde trece curentul electric.

Suprafețele echipotențiale sînt suprafețele în care este constantă valoarea potențialului electric și prezintă proprietatea de a fi perpendiculare pe liniile de curent (vezi fig. 1 și 2, unde liniile echipotențiale sînt liniile curbe în traseu neîntrerupt). Un fascicul al liniilor de curent reprezintă un „fir” de curent, un tub de flux de curent. Curentul iese prin electrodul pozitiv $+A$ al instalației și se răspîndește în teren urmînd liniile de curent și se reunesc la electrodul negativ $-B$; drumul străbătut de curent în teren este cu alți mai lung, cu cît crește adîncimea la care ajunge curentul.

Cîmpul electric între doi electrozi, pentru cazul cînd terenul din punct de vedere electric este omogen și izotrop (adică are o rezistivitate electrică constantă în toate punctele și independentă de direcție) este reprezentat în fig. 1 și 2.

În fig. 1 este dată secțiunea verticală a unui teren omogen care cuprinde electrozii $+A$ și $-B$; pe profil sînt trasate liniile de curent care pătrund în sol. Liniile de curent sînt simetrice cu dreapta AB (fig. 2).

În fig. 2 se dă distribuția liniilor de curent și la suprafața terenului; această distribuție este și ea simetrică cu dreapta ce unește punctele A și B prin care curentul intră și iese din sol.



În cele precedente s-a arătat că în măsurătorile făcute într-un teren omogen valoarea rezistivității care se obține este aceea efectivă a terenului, *egală* în toate punctele și direcțiile lui. Aceasta este rezistivitatea sa caracteristică. Dimpotrivă, dacă terenul nu este omogen, ci este format din mai multe straturi și zone de rezistivități diferite, rezistivitatea aceluși teren depinde de rezistivitatea separată a diferitelor zone și straturi, de grosimea acestora, precum și de plasarea electrozilor.

Această rezistență multiplă capătă numele de *rezistență aparentă*. Rezistența care se măsoară de obicei în cercetările arheologice este aparentă, deoarece în teren se întîlnesc permanent discontinuități în valorile rezistivității electrice. Anomaliile cu valori ridicate de rezistivitate electrică sînt date de prezența straturilor arheologice orizontale sau puțin înclinate. În acest caz, cu ajutorul unor serii de măsurători ale rezistenței aparente, executate după criterii pe care urmează să le explicăm, este posibil să se precizeze cîte straturi sînt într-un teren cercetat, grosimea lor, precum și rezistența reală a fiecărui strat în parte, printr-o operație care se numește *sondaj electric vertical*. Această operație este deosebit de importantă, deoarece cu ajutorul ei aflăm *structura terenului în adîncime*, ea precedînd de obicei cercetarea propriu-zisă a monumentelor.

Pentru ca sondajul electric vertical să poată da rezultate, este necesar ca straturile de cultură să fie oarecum paralele și să nu se găsească la adîncimi prea mari.

Sondajele verticale se fac după două metode mai cunoscute, și anume metoda Wenner și metoda Schlumberger. Diferența dintre ele constă în plasarea diferită a electrozilor în timpul măsurătorilor pe teren.

La ambele metode electrozii sînt așezați simetric față de punctul O , care este centrul măsurătorilor, punct care se găsește la intersecția unei perpendiculare pe centrul axei electrozilor AB , care este în același timp și centrul axei sondelor MN . De asemenea, la ambele metode electrozii externi A și B sînt emițători de curent (continuu sau alternativ de frecvență joasă), iar cei externi M și N , numiți sonde, măsoară tensiunea electrică (diferența de potențial) produsă în teren de trecerea unui curent I .

În *măsurătoarea Wenner* (fig. 3 a) toți electrozii au între ei distanțe egale (o distanță este egală cu b) și de aceea lungimea totală care intervine într-o măsurătoare este egală cu 3 distanțe b (3 b). Executarea sondajului electric vertical după metoda Wenner necesită multiple măsurători ale tensiunii provocate de trimiterea curentului în teren. Între o măsurătoare și alta, distanța dintre electrozi poate să se schimbe, dar permanent distanțele dintre electrozii $A-M$, $M-N$ și $N-B$ trebuie să fie egale; oricît de mari ar fi ele, trebuie menținut fix cen-

trul O al măsurătorii. Mutarea electrozilor de la o măsurătoare la alta se face în bloc, adică se deplasează toți patru deodată.

În măsurătoarea Schlumberger (fig. 3 b), distanțele dintre electrozi sînt diferite; să notăm cu $2d$ distanța dintre electrozii A și B , iar cu $2a$ distanța dintre sondele M și N , distanță care trebuie să fie mai mică decît $2d$; în practică este suficient ca a să nu fie mai mare decît $\frac{1}{5}$ din d , adică $a = \frac{1}{5}d$. Distanța $2d$ este egală cu distanța dintre electrozii $A-B$.

În această metodă, în timpul efectuării sondajului electric vertical electrozii externi sînt schimbați la fiecare măsurătoare simetric față de punctul O al măsurătorii, în timp ce sondele M și N rămîn pe loc, fixe. Schimbarea sondelor nu se face decît în cazul cînd valorile tensiunii înregistrate de ele într-un punct al terenului sînt extrem de mici.

Metoda Schlumberger este superioară metodei Wenner, deoarece este mai practic să schimbi doar doi electrozi în loc de patru și pentru că măsurătoarea nu este influențată de variațiile rezistenței terenului la suprafață, în punctele unde sînt înfipte sondele M și N , care la simplul contact cu terenul dezvoltă tensiuni electromotoare.

În cele ce urmează vom exemplifica — indiferent de metoda aleasă — cum se stabilește cu ajutorul sondajelor verticale rezistența aparentă a unui teren cu două sau mai multe straturi de rezistivități diferite.

Alegem pe terenul arheologic unde dorim să facem sondajul electric vertical o linie de măsurători, a cărei lungime o limităm între două jaloane. Așezăm electrozii în linie dreaptă (fig. 12 și 16) pe traseul dintre jaloane, de la primul jalon înainte, și pregătăm prima măsurătoare. Din experiențe îndelungate de teren se știe că grosimea unui strat de cultură este în general de circa 1 m. Deoarece curentul pătrunde în teren cu atât mai mult cu cît este mai mare distanța dintre electrozi, vom stabili distanța dintre electrozi în așa fel, încît distanța dintre cei exteriori să fie cel mult egală sau puțin mai mică de 1 m, astfel încît cea mai mare parte din curentul electric pătrunde într-un strat gros de circa 1 m. După aceste pregătiri preliminare, executăm prima măsurătoare, trecînd în teren un curent de intensitate cunoscută, și observăm că se înregistrează o rezistență foarte înaltă; mărind distanța dintre electrozi, curentul va pătrunde mai adînc (în funcție de cît am mărit distanța electrozilor) și trecem din nou un curent. În cazul cînd rezistența este alta decît cea înregistrată prima dată — să spunem una foarte joasă —, înseamnă că terenul nu este omogen, ci are cel puțin două straturi. Mărind din nou distanța dintre electrozi, curentul va pătrunde și mai adînc; dacă obținem aceleași valori ale rezistenței înseamnă că cel de-al doilea strat este omogen, dacă nu, printr-o rezistență mai ridicată sau mai joasă decît precedentă, avem semnalizat un nou strat. Deoarece arheologia operează pînă la adîncimi limitate la 8—10 m, cu aceste măsurători verticale putem determina destul de rapid cîte straturi sînt într-un teren arheologic, precum și grosimea fiecăruia.

În fig. 4a este reprezentată o măsurătoare verticală după metoda Schlumberger, în care s-au constatat în teren două straturi, dintre care unul cu o grosime h definită și mai mică decît $2d$ (distanța dintre electrozii externi); rezistivitatea primului strat ρ_1 este foarte ridicată (150 Ω m). Cel de-al doilea strat are o grosime nelimitată și o rezistivitate ρ_2 , de numai 40 Ω m (de cinci ori mai mică decît a primului strat). În fig. 4a sînt trasate liniile de curent care pătrund și în stratul al doilea, deoarece distanța dintre electrozii externi este mai mare decît h .

În fig. 4b este reprezentată diagrama de variații în raport cu d a rezistivității celor două straturi; stratul prim — neconductibil — are o rezistivitate foarte mare și deci pe grafic o curbă foarte înaltă; stratul secund apare cu o curbă joasă, deoarece are o conductivitate mare și deci o rezistivitate mică. Astfel, putem socoti primul strat un strat cu construcții antice foarte rezistente electric, iar al doilea strat ca fiind lipsit de construcții.

Dacă stratul al doilea are o rezistivitate mai mare decît primul, diagrama va înregistra la el o curbă foarte înaltă. În cazul cînd terenul este format din mai multe straturi de rezis-

tivități diferite, diagramele de rezistivitate vor avea desfășurări variate, în funcție de rezistivitatea și grosimea fiecărui strat în parte; în această situație, interpretarea diagramelor se face prin confruntarea cu curbele teoretice, care permit a se aprecia adâncimea și rezistivitatea straturilor.

În acest fel, metoda sondajelor verticale apare ca o operație preliminară și necesară într-un teren arheologic, pentru că ea determină structura și numărul diverselor straturi ale terenului pe care vrem să-l cercetăm, precum și valorile rezistivității lor electrice. Cunoscând grosimea straturilor, știm și cu ce distanță a electrozilor este bine să facem măsurătorile.

Cu aceste date putem efectua cea de-a doua operație, aceea de depistare a monumentelor arheologice, folosind o altă metodă, și anume a *sondajelor electrice orizontale*. Această metodă s-a dovedit în practică a fi cea mai eficientă și de aceea dintre toate metodele este deosebit de mult folosită. Principiul pe care se bazează măsurătorile este extrem de simplu, precum și modalitatea cu care ele se execută pe teren.

Sondajele electrice orizontale se fac prin măsurarea rezistenței electrice generale a unui teren de-a lungul unor profile (fig. 16), menținându-se neschimbată distanța dintre electrozi, precum și poziția lor față de punctul O al măsurătorilor. Funcțiile electrozilor A și B, precum și ale sondelor M și N sînt aceleași ca și la sondajele verticale. Cei patru electrozi sînt însă mutați toți deodată la fiecare măsurătoare, fără a schimba distanța dintre ei. Punctele măsurate corespund cu centrul O dintre cei patru electrozi și de aceea se deplasează o dată cu el, cu fiecare măsurătoare pe axul longitudinal al profilului pe care îl măsurăm. Menținându-se neschimbată distanța dintre electrozi, se menține și aceeași grosime a straturilor și de aceea se spune că se face o explorare în direcție orizontală sau, mai exact, în direcții paralele cu suprafața terenului. Dacă subsolul prezintă zone de rezistență anormale, negative sau pozitive, raportul $\frac{V}{I}$ capătă variații în funcție de ele. Prezența unor structuri arheologice este semnalată de valori anormale ale rezistivității.

Cu titlu de exemplu, putem considera o „anomalie”, adică un efect perturbator în cîmpul electric (și de aceea și în măsurătorile efectuate în suprafață), prezența unui mormînt cu cameră într-un teren omogen.

Cîmpul electric neperturbat de vaze anomalie — deci într-un teren omogen — este reprezentat în fig. 5/1. În fig. 5/2 este reprezentat cîmpul electric în cazul în care doi electrozi, unul de curent (B) și unul de tensiune (N), se găsesc în dreptul acestui mormînt. Deoarece sonda N nu este electrod de curent legat de sursă, liniile de curent se concentrează la suprafață, în mod analog situației în care întîlnesc un strat de rezistivitate ridicată, cînd rezistența aparentă crește.

În fig. 5/3 este reprezentată situația cînd centrul celor patru electrozi se găsește pe mijlocul cavității; și în cazul acesta este o concentrare a liniilor de curent la suprafață, dar mai puțin pronunțată, pentru că o parte din curent tinde să treacă pe sub cavitate; de aceea diagrama de rezistivitate prezintă un punct relativ mai coborît decît în cazul din fig. 5/2 (a se compara diagramele 6/2, cu 6/3, din fig. 6).

Dacă obiectivul arheologic este mai bun conducător de electricitate decît terenul înconjurător, atunci rezistența aparentă va fi inferioară rezistenței terenului; în general, formațiunile bune conducătoare de electricitate sînt mai ușor de individualizat decît cele rezistente și deci neconducătoare. Dar, oricum ar fi situația structurii terenului, posibilitatea de a obține rezultate bune în măsurătorile electrice făcute asupra obiectivelor arheologice îngropate depinde în cea mai mare parte de felul cum sînt executate măsurătorile pe teren, așa după cum se vede în fig. 17, unde s-a făcut un sondaj arheologic imediat după măsurătoarea electrică.

Elementele de care trebuie să ținem seama într-un sondaj electric orizontal sînt:

1. *Dispoziția electrozilor* de-a lungul profilelor de măsurat (metoda Wenner sau Schlumberger). Dispoziția în teren a electrozilor poate fi și nealinată, dar încă nu este dovedit practic a fi mai bună pentru cercetarea arheologică.

2. *Distanța dintre electrozi* trebuie stabilită în funcție de rezultatele pe care ni le dau sondajele verticale. Nu este o regulă precisă, dar în general este acceptat că distanța dintre cei doi electrozi externi trebuie să fie inferioară sau cel mult egală grosimii stratului pe care îl cercetăm, adică $2d < 2h$.

3. *Distanța dintre două măsurători* se face în funcție de complexele cercetate; în mod obișnuit, această distanță trebuie să fie pînă la 1 m. Însă pentru o prospecțiune rapidă se folosesc intervale mari, între 3 și 6 m, sau chiar mai mari (vezi fig. 18, profilul 1, unde $d = 18$ m), obținându-se pe această cale indicații generale cu privire la structura terenului; acolo unde se constată zone de înaltă rezistență, se fac măsurători cu distanța electrodică de maximum 1 m.

4. *Dispoziția punctelor de măsurat pe teren* poate fi de-a lungul unor profile rectilinii (fig. 18) sau în formă de rețea. Primele se folosesc cînd cercetăm monumentele de mari dimensiuni (ziduri de incintă, edificii publice, străzi etc.). Cînd avem cît de cît indicații despre direcția unui șanț de apărare, măsurătorile se fac perpendicular pe el.

Măsurătorile în rețea se folosesc cînd avem unele indicații asupra unei necropole sau unor morminte de dimensiuni mici.

Un relevu „rețea” reprezintă o suprafață cercetată după profile paralele, echidistanțate (distanța între ele fiind egală cu intervalul dintre măsurătoare și alta de-a lungul profilului). Centrele de măsurare sînt virfurile pătratelor care constituie rețeaua. Interpretarea acestor măsurători se face foarte ușor cu ajutorul „hărților de rezistivitate”; acestea se obțin raportînd pe o hartă rețeaua de puncte măsurate cu valorile rezistivității aparente măsurate la virfuri și unind liniile ce leagă virfurile cu rezistivități egale (asemănător curbelor de nivel ale hărților topografice). Zonele cu rezistivități anormale, pozitive sau negative, sînt delimitate de o serie de linii închise, ușor de recunoscut pe hartă. În fig. 7 și 8 sînt reprezentate diagramele hărților de rezistivitate obținute prin măsurătorile pe profil.

Aparatura și tehnica de măsurare pe teren. După cum am amintit, valoarea rezistenței subsolului se calculează în funcție de raportul $\frac{V}{I}$, care este raportul dintre tensiunea măsurată de sondele M și N și curentul trimis în teren prin electrozii A și B .

De aceea, pentru orice stație (punct) de măsurat trebuie determinată valoarea tensiunii V și a curentului I sau în mod direct raportul $\frac{V}{I}$. Tensiunea dintre sonde trebuie să fie nulă cînd se întrerupe curentul energizant; de fapt, aceasta nu se întîmplă deoarece în teren sînt în mod permanent prezente diferențe de potențial electric provocate fie din cauze naturale, fie de curenți de dispersie de la instalația electrică cu care lucrăm.

În afară de aceasta, chiar electrozii de tensiune (sondele) care sînt făcuți din bare metalice, în contact cu soluțiile saline din teren, produc tensiuni electromotoare de origine electrochimică; tensiunile electromotoare produse de contactul dintre sonde și teren sînt în opoziție, dar cum nu sînt niciodată identice rezultă o tensiune electrică dată de ele. Tensiunea pe care o măsoară sondele atunci cînd curentul energizant nu a fost trimis și pe care o notăm cu V_0 , este aceea provocată de ele sau de alte cauze; dar pentru că distanța dintre electrozi este mică, ea variază foarte puțin. Pentru ca tensiunea V_0 să nu influențeze asupra măsurătorii rezistenței electrice a terenului, înainte de măsurătoare, ea este anulată de o altă tensiune opusă, pe care o furnizează un circuit special al aparatului de măsurat. Dacă facem măsurătorile cu ajutorul curentului alternativ, efectul tensiunii V_0 este eliminat automat.

Aparatele de măsurat folosite în prospecțiunile electrice sînt de diverse tipuri, însă oricare dintre ele cuprinde un circuit de măsurare a tensiunii care apare între sonde și un circuit prin care trece și se măsoară curentul trimis în teren. Aceste aparate pot indica separat valoarea lui V și I , precum și valoarea raportului V/I .

Aparatele în general folosite în cercetarea arheologică sînt: a) aparatul potențiometric (fig. 9); b) milivoltmetrul electronic (fig. 10); c) aparat ce dă direct raportul V/I (fig. 11).

a) *Aparatul potențiometric* este un instrument care măsoară tensiunea continuă fără să fie influențat de tensiunea în gol a sondelor și care, după cum se știe, alterează cimpul electric din teren. Măsurarea tensiunii se face cu o metodă de opoziție, adică aplicând circuitului sondelor o tensiune măsurabilă, care anulează pe aceea produsă între ele de curentul din teren; un galvanometru așezat în serie cu circuitul de măsurare dă indicația zero când amândouă tensiunile în opoziție sînt egale (tensiunea V_0 fiind anterior anulată).

În fig. 9 este reprezentată schema de principiu a aparatului. Tensiunea de opoziție este luată de la un potențiomtru (P), alimentat de o pilă de tensiune (E); potențiomtrul (P) este etalonat în așa fel, încît pentru orice poziție a cursorului (care indică tensiunea V) se știe ce fracțiune din tensiune (E) trebuie aplicată circuitului extern pentru a anula tensiunea V .

Circuitul $P.S.$ este format dintr-un alt potențiomtru neetalonat și servește la anularea tensiunii V_0 produse de sonde (cînd nu circulă curentul de energizare); această tensiune este numită în general „diferență de potențial spontan”.

Galvanometrul (G) indică trecerea curentului. El reglează tensiunea cu ajutorul potențiometrului, pînă cînd aceasta este egală și opusă celei de la sonde, adică pînă cînd galvanometrul indică zero.

Curentul este trimis în teren trecînd printr-un *miliampermetru* de măsurare; *generatorul de curent* este format din pile electrice puse în serie în număr variabil pentru a se obține tensiunea de energizare necesară fiecărui strat în parte.

Măsurătoarea se face mai întîi anulînd cu circuitul $P.S.$ tensiunile naturale ale terenului (V_0); apoi trimitem curentul în teren aducînd galvanometrul la zero, citim pe potențiomtrul (P) etalonat tensiunea direct în milivolți (mV). Curentul trimis în teren se citește pe miliampermetru (în mA), apoi se face calculul $\frac{V}{I}$.

b) *Milivoltmetrul electronic* permite măsurarea directă a tensiunii produse de sonde. Acest aparat este făcut în așa fel, încît poate avea o rezistență de intrare (raportul dintre tensiunea de măsurare și curentul care trece prin instrument), de ordinul a milioane de Ω m. De aceea el nu alterează cimpul electric și din acest punct de vedere este analog potențiometrului.

Față de potențiomtru are însă unele avantaje: în primul rînd permite citirea directă a deviațiilor mult mai rapid și extrem de simplu, fără a fi necesară vreo manevră pentru aducerea lor la zero, cum este necesar cînd măsurarea se execută cu potențiomtru. În al doilea rînd, milivoltmetrul este mult mai robust decît un galvanometru, supus foarte ușor deteriorărilor prin lovire în timpul transportului pe teren; apoi, sensibilitatea milivoltmetrului electronic nu este influențată de variațiile de rezistență a circuitului sondelor. În cazul unor cercetări în zone cu rezistivități foarte ridicate ale stratului superficial (de exemplu, în terenuri formate exclusiv din nisipuri), milivoltmetrul este unicul aparat care se poate folosi fără a i se aduce îmbunătățiri speciale.

Schema de principiu a milivoltmetrului electronic este prezentată la fig. 10. El este format în principal din circuitul de anulare a tensiunii spontane ($P.S.$), dintr-un divizor de tensiune etalonat ($D.T.$), dintr-un amplificator electronic de curent continuu cu tuburi sau tranzistori ($Ampl.$) și dintr-un instrument indicator (de obicei cu zero în centrul scalei). Măsurarea curentului trimis în teren se execută cu un miliampermetru normal. Măsurarea decurge astfel: se închide mai întîi întrerupătorul care leagă aparatul la sonde, anulîndu-se cu potențiomtrul $P.S.$ tensiunea V_0 . Se trimite curentul în teren și cu divizorul de tensiune ($D.T.$) se alege scara cea mai potrivită. Se citește simultan atît valoarea curentului impulsional la miliampermetru (în mA), cit și valoarea tensiunii provocate de el în teren. Se face apoi calculul raportului $\frac{V}{I}$. Cu acest instrument măsurătorile sînt extrem de rapide și sigure.

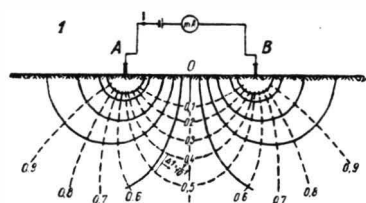


Fig. 1. — Secțiune verticală a unui teren omogen cu trasarea liniilor de curent care pătrund în sol.

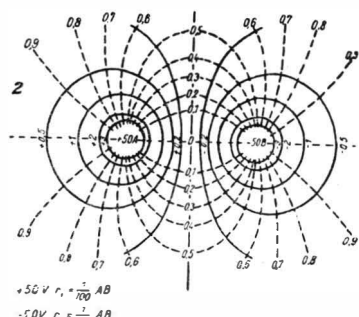


Fig. 2. — Distribuția liniilor de curent din sol și de la suprafața solului.

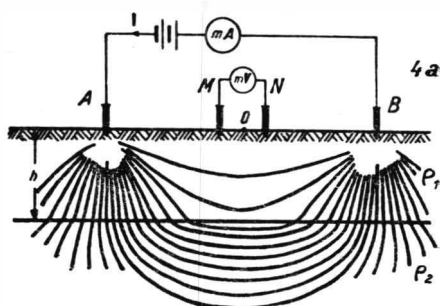


Fig. 4. — a, măsurătoare electrică verticală după metoda Schlumberger; b, diagrama de variații a rezistivității electrice a două straturi a acestei măsurători.

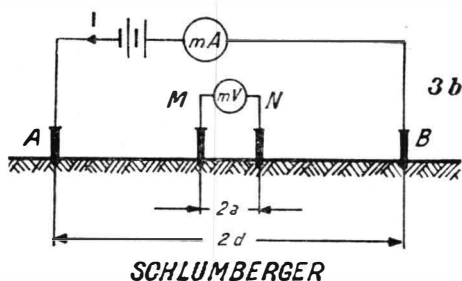
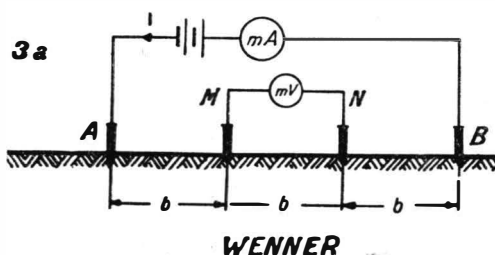


Fig. 3. — a, amplasarea electrozilor după metoda Wenner; b, amplasarea electrozilor după metoda Schlumberger.

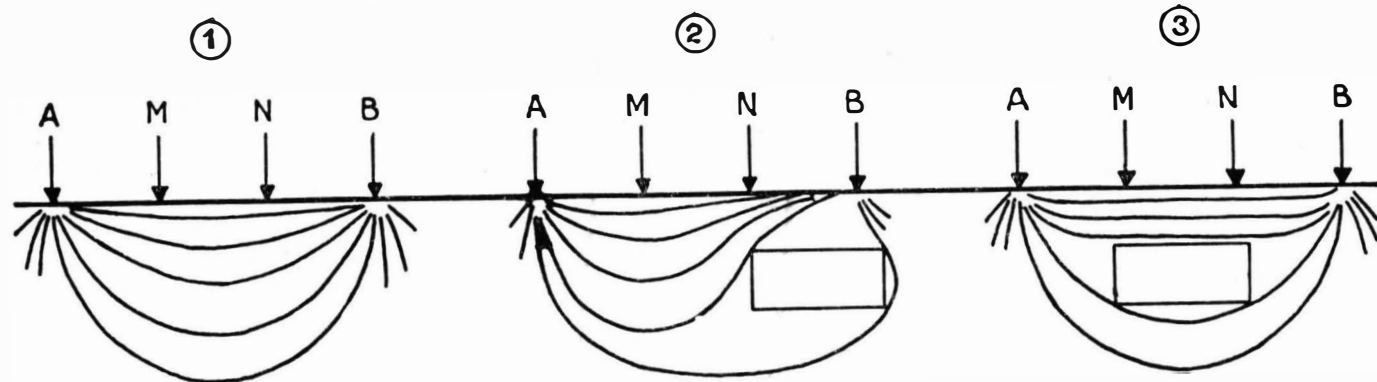


Fig. 5. — 1, schema unui cimp de curent omogen; 2, 3, scheme ale unor cimpuri de curent care intilnesc obiective arheologice.

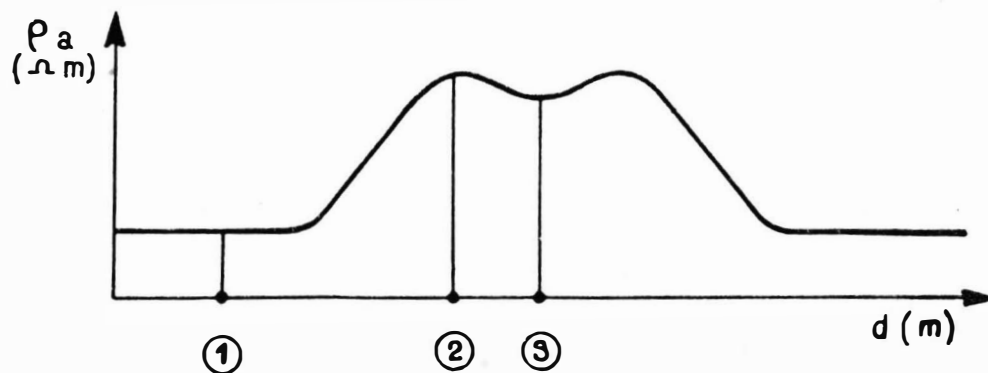


Fig. 6. — 1, 2, 3, diagramele de rezistivitate ale cimpurilor de curent din fig. 5/1, 2, 3.

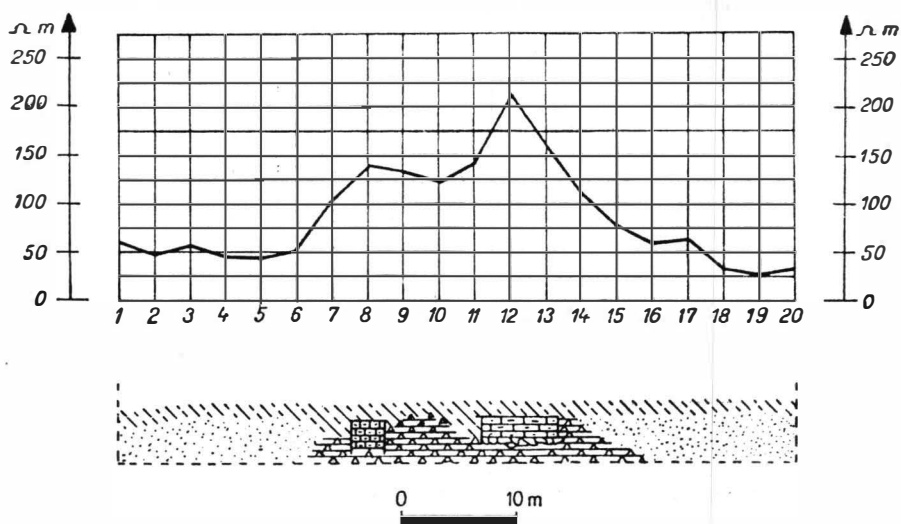


Fig. 7. — Diagrama hărții de rezistivitate.

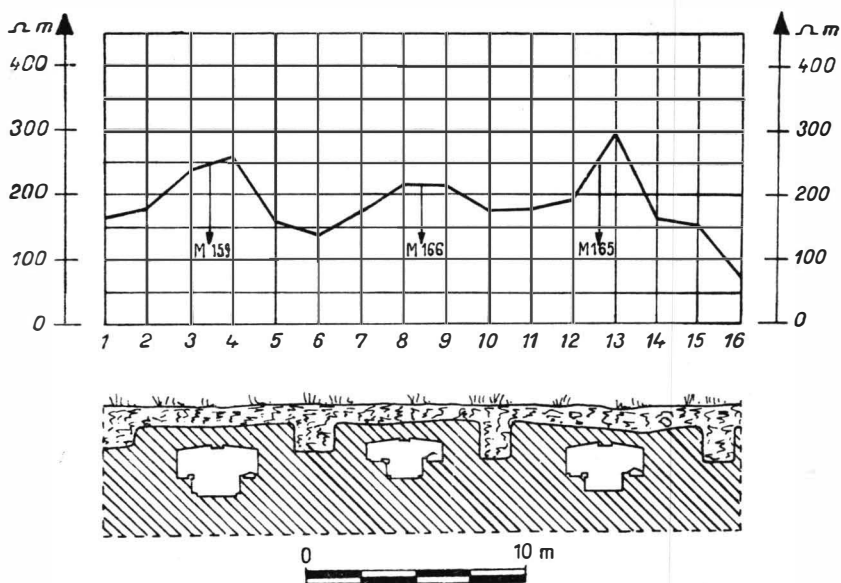


Fig. 8. — Diagrama hărții de rezistivitate.

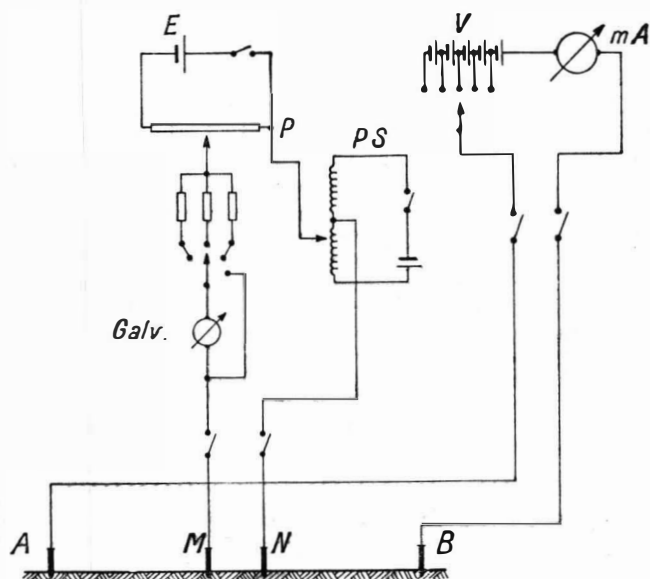


Fig. 9. — Schema de principiu a aparatului potențimetric.

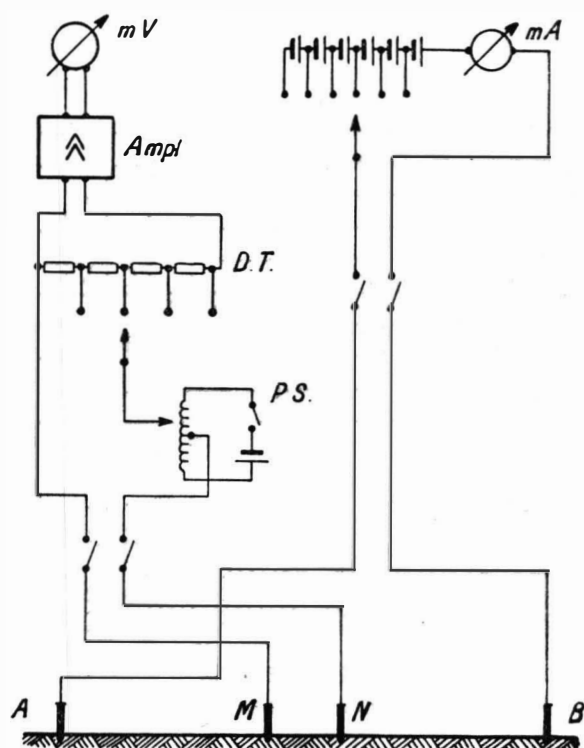


Fig. 10. — Schema de principiu a milivoltmetrului electronic.

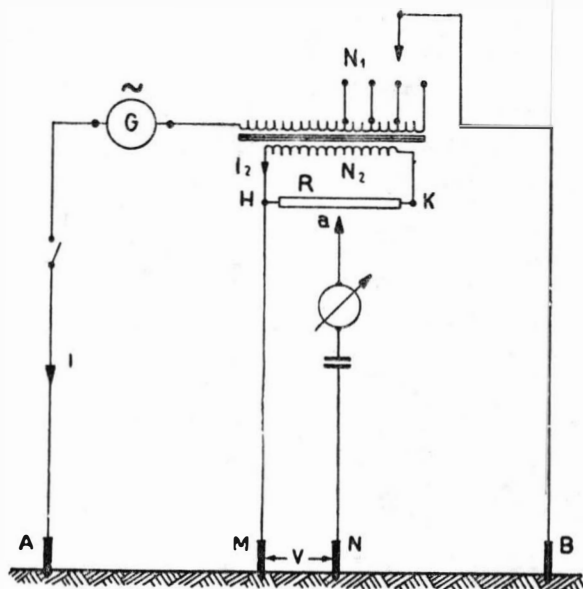


Fig. 11. — Schema de principiu a aparatului care dă direct valoarea raportului $\frac{V}{I}$.

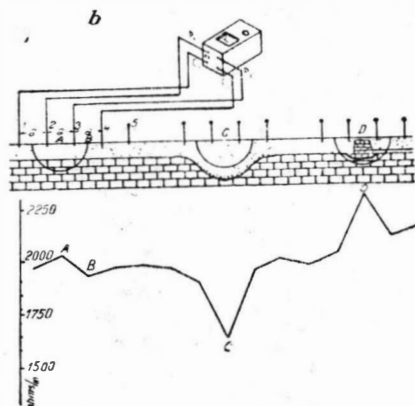
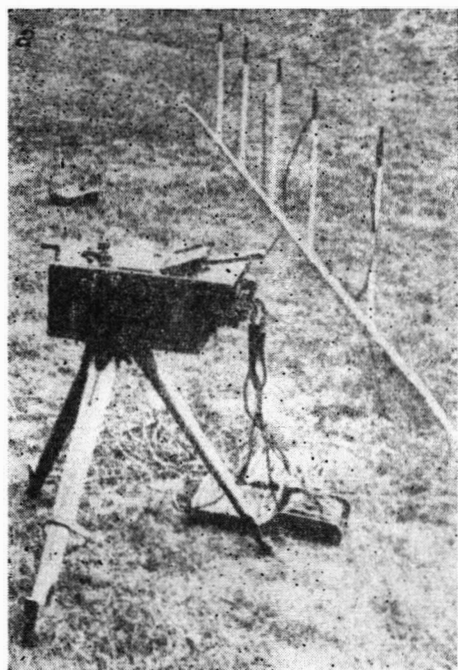


Fig. 12. — *a*, aparat pentru măsurat rezistența electrică, în funcțiune (folosit de R.J.C. Atkinson); *b*, diagrama unei măsurători electrice efectuate în așezarea neolitică de la Dorchester-Oxford, de către R.J.C. Atkinson.

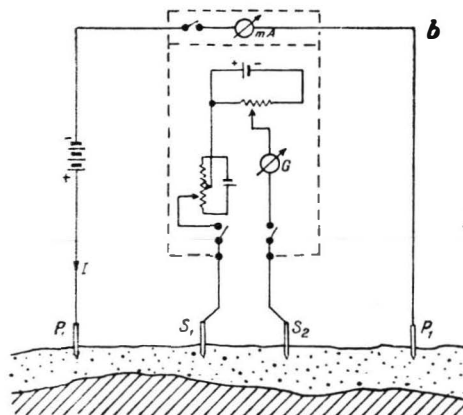
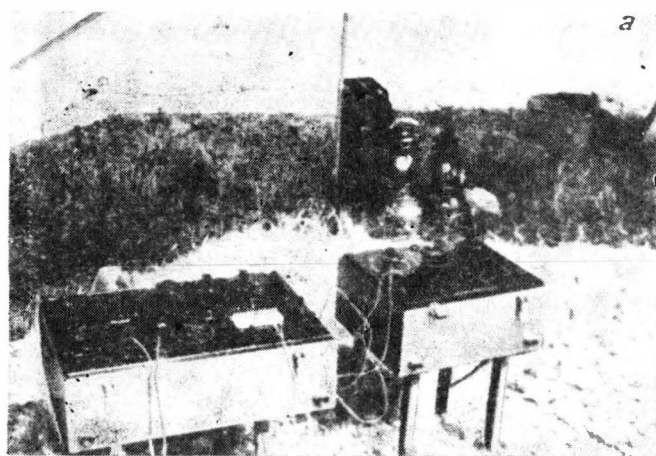


Fig. 13. — *a*, aparat poten-
tiometric folosit de echipa
de prospecțiuni electrice a
Politehnicii din Milano pînă
în 1958; *b*, schema de prin-
cipiu a aceluiași aparat.

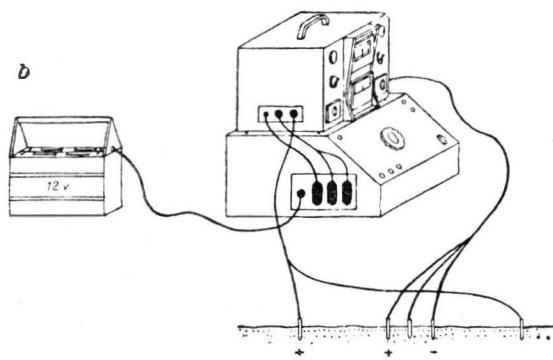


Fig. 14. — *a*, aparat poten-
tiometric construit în labo-
ratoarele Fundației Lerici,
mai ușor de minuit decît
cel din fig. 13 *a*; *b*, schița
de folosire a aparatului, cu
electrozii în teren.

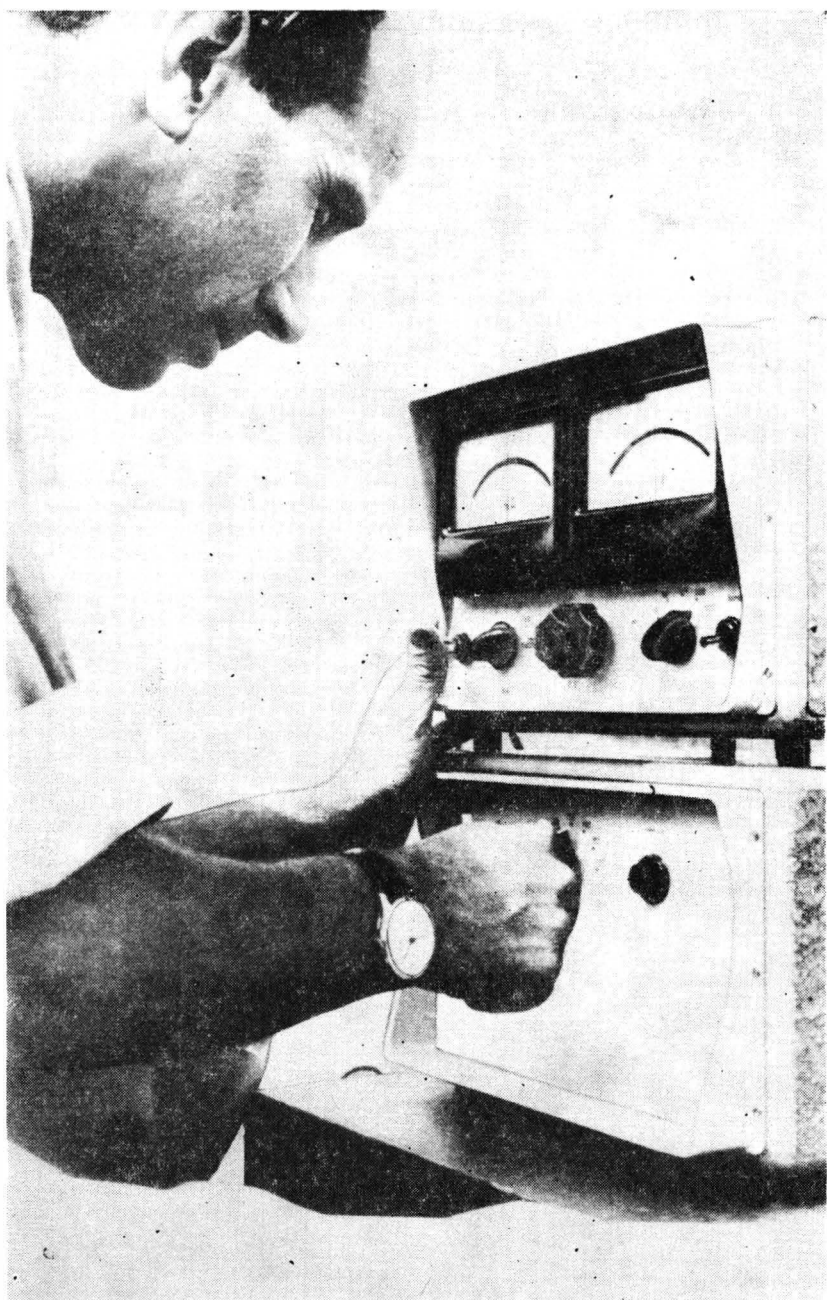


Fig. 15. — Ultimul tip de voltmetru electronic construit în laboratoarele Fundației Lerici, folosit la prospecțiuni electrice în arheologie.

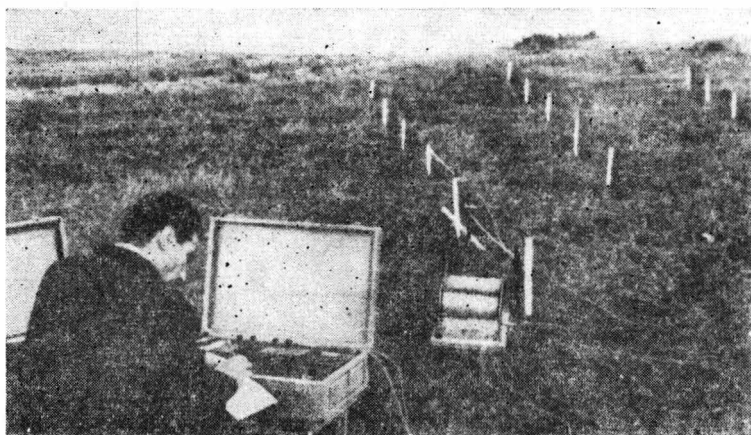


Fig. 16. — Executarea unui sondaj electric orizontal de-a lungul unor profile.

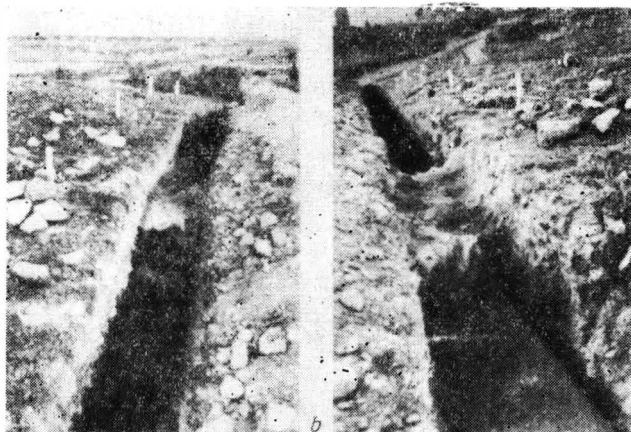
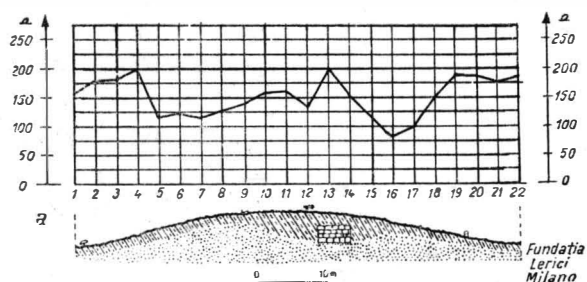


Fig. 17. — *a*, diagrama măsurării rezistivității electrice a unui teren neomogen (în secțiune, obiectivul arheologic detectat); *b*, obiectivul arheologic descoperit în șanțul de verificare a măsurătorii electrice de mai sus.

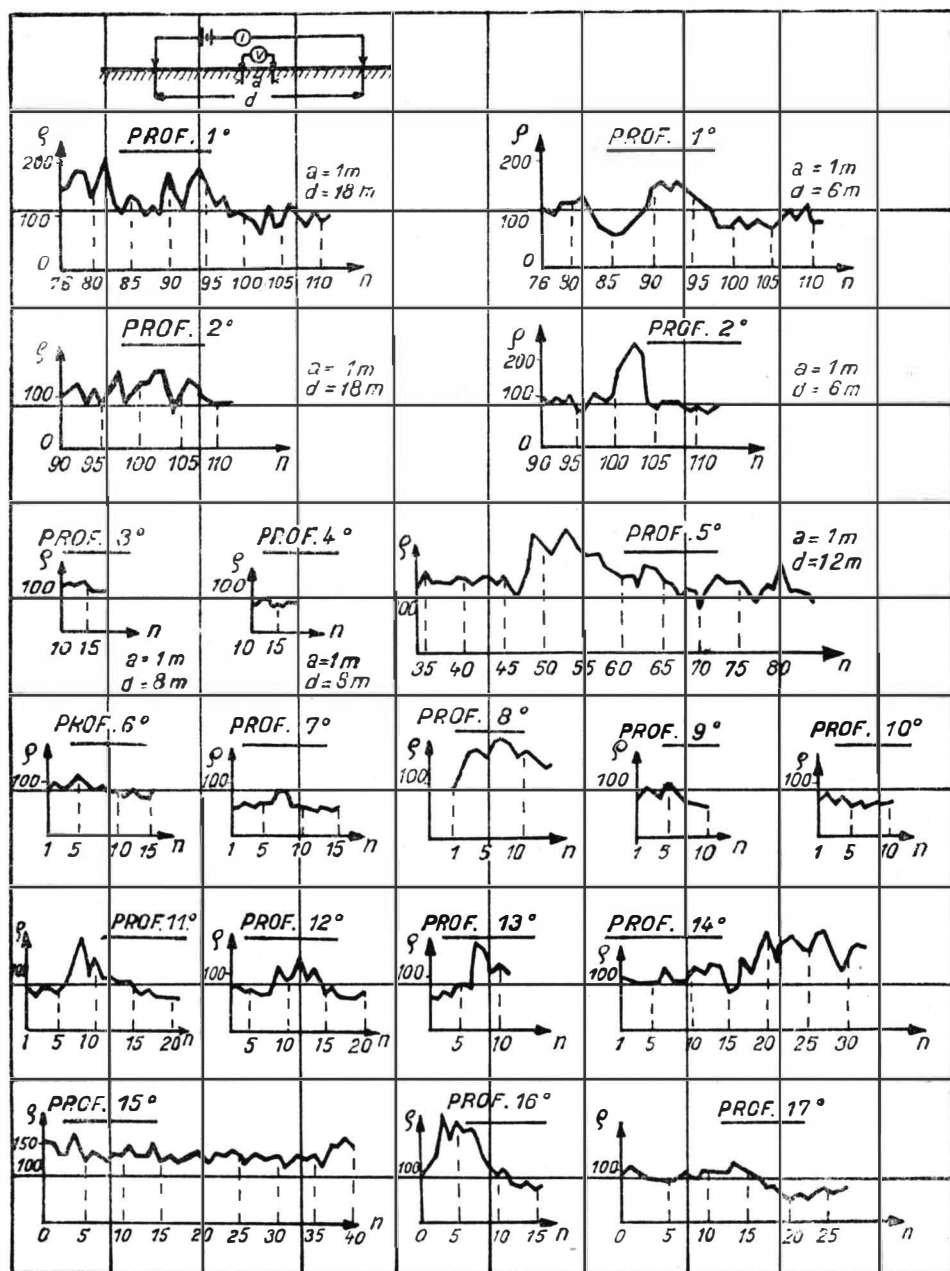


Fig. 18. — Diagramele unor măsurători electrice în care s-au folosit diferite distanțe între electrozii externi (a =distanța dintre electrozii interni; d =distanța dintre electrozii externi).

c) *Aparatele care dau direct valoarea raportului* $\frac{V}{I}$ *sînt extrem de necesare într-o campanie*

arheologică. Există numeroase tipuri de aparate, bazate însă, în general, pe aceleași principii. Schema de principiu a acestor tipuri de aparate este reprezentată în fig. 11. Ele au un generator de curent alternativ (G), care poate fi constituit dintr-un vibrator alimentat de o pilă (aparatură Geohom), un oscilator cu tranzistori (aparatură Martin-Clark) sau de un alternator acționat manual (Geophysical Megger). În serie cu generatorul sînt legate spirale primare (N_1) ale unui transformator printr-un comutator, care permite să se schimbe numărul spiralărilor din înfășurarea N_1 parcurse de curent. Circuitul generatorului (G) este legat de electrozii de curent A și B . Spiralele N_2 din secundarul transformatorului alimentează un potențiometrul legat în circuit la sondele M și N .

Contactul mobil al potențiometrului este legat la una din sonde printr-un condensator și un instrument ce indică zero.

Măsurătoarea se execută apăsînd pe un buton care închide circuitul de alimentare al vibratorului sau al oscilatorului și apoi învîrtim manivela generatorului. Reglînd poziția spiralărilor potențiometrului, se pune la zero instrumentul indicator; în aceste condiții se citesc:

- cu V = tensiunea sondelor;
- I = curentul trimis în teren;
- I_2 = curentul care circulă în potențiometrul;
- A = fracțiunea de rezistență a potențiometrului cuprins între punctul H și cursor;
- N_1 = spirale primare ale transformatorului;
- N_2 = spirale secundare.

Cu datele de mai sus se obține automat raportul $\frac{V}{I}$.

Dezavantajul principal al tuturor acestor aparate constă în faptul că furnizează un curent cu putere mică de pătrundere și nici nu sînt adaptate pentru toate condițiile nefavorabile. Astfel, dacă stratul superficial are o rezistivitate foarte ridicată, măsurătoarea este ineficientă; de asemenea, aceste aparate nu funcționează cu distanțe electrodice mari, necesare unei prospecțiuni rapide, și nici nu servesc la executarea sondajelor verticale. Printre altele, cu ele nu se pot face sondaje după metoda Schlumberger, care dă rezultate mai bune decît metodele de tip Wenner. Nici chiar pentru sondajele electrice orizontale ele nu s-au dovedit a fi foarte precise, decît în anumite situații optime ale structurii solului.

Cu toate aceste lipsuri totuși aparatele care dau direct raportul $\frac{V}{I}$ rămîn utile arheo-

logului, în lipsa unor instrumente de cea mai mare precizie, cum este voltmetrul electronic (fig. 15). Fiind un aparat ușor de transportat și manevrat, cu capacitate mică de pătrundere, poate fi socotit instrumentul nelipsit pentru un arheolog care dorește să știe ce ascunde pămîntul. În raport cu metoda actuală de depistare a monumentelor, care este mai mult intuitivă, folosirea aparatelor descrise înseamnă un mare pas înainte în domeniul prospecțiunii arheologice.

Acolo unde din diverse motive nu se pot face prospecțiuni electrice sau pentru a verifica aceste măsurători, de un mare folos sînt măsurătorile efectuate cu ajutorul magnetometrului cu protoni, care va constitui obiectul viitorului articol.