

Miernik rezystywności gruntu, część 2

W drugiej części artykułu przedstawiamy sposób regulacji miernika rezystywności gruntu oraz zasady korzystania z niego. Interesującym uzupełnieniem są informacje o zasadach obowiązujących podczas prowadzenia samodzielnych wykopalisk w naszym kraju.

Regulacja

Jeżeli posiada się oscyloskop i częstotliciomierz, należy postępować w następujący sposób:

1. Włączyć układ, zmierzyć dodatnie napięcie zasilające na kondensatorze C15 i sprawdzić czy wynosi ono + 10,5V, a następnie ujemne napięcie zasilające na kondensatorze C17 i sprawdzić czy wynosi ono - 10,5V.
2. Przyłączyć częstotliciomierz do wyjścia 6 IC1 i za pomocą VR2 ustawić częstotliwość oscylatora na 137Hz.

W razie braku częstotliciomierza można w to miejsce przyłączyć słuchawki o średniej impedancji i postarać się, szacując częstotliwość „na ucho”, ustawić ją

niewco powyżej 100Hz (częstotliwość przydzwięku sieci dwupołkowego prostownika).

3. Przyłączyć oscyloskop do wyjścia 6 IC1 i za pomocą VR1 dokładnie wyrównać obie połówki fali prostokątnej. Jej amplituda powinna wynieść około 10V i powinna być symetryczna względem 0V. Gdy nie ma oscyloskopu, to należy ustawić VR1 w środkowej pozycji.

4. Do wyprowadzeń C1 i C2 przyłączyć tymczasowo rezystor wzorcowy, którego oporność jest dobierana w zależności od zakresu prądowego zgodnie z tabelą 2. Do rezystora należy przyłączyć oscyloskop (wejściem sondy do C1). Przy wszystkich trzech położeniach prze-

łącznika S1 oscyloskop powinien pokazać przebieg o częstotliwości 137Hz, symetryczny względem linii 0V.

Gdy tak nie będzie, to trzeba sprawdzić odpowiednie rezystory (R8..R13) na przełączniku S1. Ich oporności można uzupełnić rezystorami szeregowymi lub równoległymi w celu uzyskania większej dokładności.

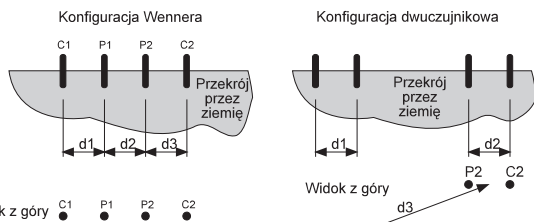
5. Włączyć rezystor kontrolny 10Ω, przełącznik wzmocnienia wzmacniacza przełączyć na 100, a potencjometrem VR4 ustawić napięcie 1V pomiędzy gniazdkami SK5 i SK6.
6. Połączyć P1 z C1, a P2 z C2. Pomiędzy P1 i P2 włączyć rezystor dekadowy albo szereg rezystorów wzorcowych. Przełączyć wzmocnienie wzmacniacza (S2) i rezystor dekadowy zgodnie z pozycjami w tabeli 3, sprawdzając czy napięcie wyjściowe jest poprawne.
7. Włączyć rezystor kontrolny 10kΩ, a przełącznik S1 ustawić w położeniu 1mA. Potencjometrem VR3 ustawić w położeniu, w którym LED D10 zaledwie zaczyna świecić.

Konfiguracje sond

Przed omówieniem konstrukcji samych sond omówimy zasady posługiwania się nimi.

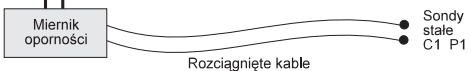
Istnieje szereg konfiguracji sond - obecnie powszechnie używa się dwóch: konfiguracji Wennera i konfiguracji dwusondowej.

W pokazanej na rys. 8a konfiguracji Wennera, wszystkie sondy są ustawione w jednakowych od siebie odległościach wzdłuż linii prostej. Zwykle stosuje się odległości 1m. Zewnętrzny są sondy C1 i C2, wewnętrznymi P1 i P2. Konfiguracja Wennera nadaje się do poszukiwania anomalii



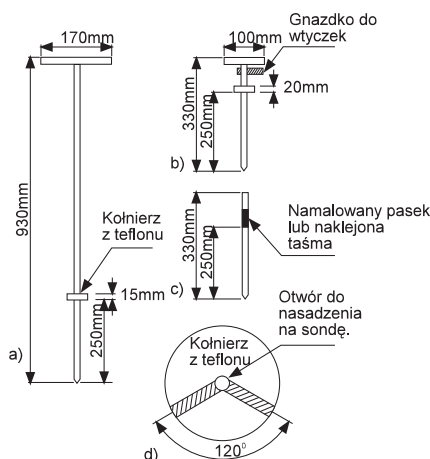
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
20	1	20	1	20	1	20	1	20	1	20	1	20	1	20	1	20	1	20	1
19	2	19	2	19	2	19	2	19	2	19	2	19	2	19	2	19	2	19	2
18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3
17	4	17	4	17	4	17	4	17	4	17	4	17	4	17	4	17	4	17	4
16	5	16	5	16	5	16	5	16	5	16	5	16	5	16	5	16	5	16	5
15	6	15	6	15	6	15	6	15	6	15	6	15	6	15	6	15	6	15	6
14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7
13	8	13	8	13	8	13	8	13	8	13	8	13	8	13	8	13	8	13	8
12	9	12	9	12	9	12	9	12	9	12	9	12	9	12	9	12	9	12	9
11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10
10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11
9	12	9	12	9	12	9	12	9	12	9	12	9	12	9	12	9	12	9	12
8	13	8	13	8	13	8	13	8	13	8	13	8	13	8	13	8	13	8	13
7	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14
6	15	6	15	6	15	6	15	6	15	6	15	6	15	6	15	6	15	6	15
5	16	5	16	5	16	5	16	5	16	5	16	5	16	5	16	5	16	5	16
4	17	4	17	4	17	4	17	4	17	4	17	4	17	4	17	4	17	4	17
3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18
2	19	2	19	2	19	2	19	2	19	2	19	2	19	2	19	2	19	2	19
1	20	1	20	1	20	1	20	1	20	1	20	1	20	1	20	1	20	1	20

Ruchome sondy C2 P2



Rys. 8. Układ sond: (a) konfiguracja Wennera; (b) konfiguracja dwusondowa. (c) kwadrat 20m x 20m przedstawiający sposób użycia dwóch sond w terenie.

zakres prądu [mA]	rezystor wzorcowy [kΩ]
0,1	10
1	1
10	0,1



Rys. 9. Szczegóły konstrukcyjne sond: (a) długiej sondy; (b) krótkiej sondy; (c) sondy uproszczonej; (d) ogranicznika głębokości.

(spowodowanych przez ukryte obiekty) wzdłuż prostych linii w terenie przed bardziej szczegółowymi badaniami.

Odczyty miernika przy tej konfiguracji przelicza się na rezystywność za pomocą następującego wzoru:

$$\rho_A = 2dU/I, \text{ gdzie}$$

ρ_A - rezystywność pozorna;

d - odległość pomiędzy sondami;

U - odczytane napięcie podzielone przez wzmocnienie;

I - natężenie prądu.

W pokazanej na rys. 8b konfiguracji dwusondowej, nazywanej parą stacjonarną sondy C1 i P1 umieszcza się tuż przed badanym obszarem. Natomiast sondy C2 i P2, zestawione w parę o ustalonej od siebie odległości, przemieszcza się przez badany obszar. Parę tę przedstawia się w kwadratach przedstawionej na rys. 8c sieci, wyznaczonej uprzednio za pomocą sznurka lub taśmy mierzniczej.

Odległość pomiędzy sondami C1 i P1 powinna być taka sama, jak pomiędzy sondami C2 i P2 i wynosić około 500mm. Odległość pomiędzy parą stacjonarną i parą ruchomą może zawierać się w granicach od 15m do 50m.

Wygodnym rozwiązaniem jest umocowanie sond C2 i P2 do ramy (jak zostanie przykładowo pokazane w następnym odcinku) wraz z układem elektronicznym, tworzących bardzo wygodny

w użyciu zespół.

Odczyty miernika w konfiguracji z rys. 8b przelicza się na rezystywność według następującego wzoru:

$$\rho_A = (2U/I) * 1 / (2/d_1 - 2/d_3)$$

Konstrukcja samych sond jest bardzo prosta. Użyte materiały i wymiary nie są krytyczne i można się posłużyć tym, co jest pod ręką.

Rys. 9a przedstawia solidną sondę, wykonaną z rurki ze stali nierdzewnej z przylutowaną mosiądzem rękojeścią w kształcie T i ostrzem ułatwiającym wciskanie jej w ziemię. Sonda ta jest przeznaczona do użytku przez operatora w pozycji stojącej. Zespół czterech takich sond nadaje się doskonale do użytku w metodzie Wennera. Wymaga ona bowiem nieustannego ich przemieszczania, unika się wtedy ciągłego pochylania.

Mniejsze sondy, w wersji pokazanej na rys. 9b, są wyposażone w przykręcane gniazdo do wtyczek 4-mm, do przyłączania przewodów. Sondy można również wykonać z innych materiałów niż stal nierdzewna, która jest drogą i niezbyt łatwa do nabycia.

Bardzo uproszczona sonda jest pokazana na rys. 9c, którą można wykonać z pręta o średnicy 6mm, np. elektrody spawalniczej bez pokrycia, zwykłej stali itp. Przewód łączy się z nią za pomocą krokodyłka, a głębokość wbijania oznacza się paskiem farby lub taśmą samoprzylepnej.

Na rys. 9d pokazano ogranicznik głębokości wbijania, mocowany do sondy przy pomocy wkrętów przykręcanych za pomocą śrub z gniazdem sześciokątnych do klucza Allena. Materiał nie musi być izolacyjny i może to być metal.

Rys. 10 przedstawia ramowy wspornik, przeznaczony do użytku z sondami w konfiguracji dwusondowej. Górna jego część jest wykonana z drewnianej listewki, o wymiarach 30x50x1050mm, której końce owinięte taśmą samoprzylepną tworzą rękojeści. Na jej środku jest przymocowany aluminiowy wspornik, podtrzymujący umocowany do niego gumkami miernik. Dolna część ramki jest

również wykonana z takiej samej drewnianej listewki, która musi mieć dobre własności izolacyjne. Albo trzeba ją dobrze wysuszyć i pokryć lakierem, albo sondy przymocować do niej za pośrednictwem tulejek izolacyjnych z teflonu, lub podobnego materiału.

Górną i dolną część ramki łączy rurki metalowe, nagwintowane i zaopatrzone z obu stron w nakrętki. W tej ramce będą umocowane sondy C2 i P2. Sondy C1 i P1 będą takie, jak pokazano w poprzednim odcinku na rys. 9b.

Układ testujący

Rys. 11 przedstawia schemat prostego układu testującego, przeznaczonego do sprawdzenia w terenie poprawności działania miernika rezystywności. Jego główną częścią jest przełącznik obrotowy, służący do wybierania rezystorów o oporności od zera do 1000Ω. Cztery przewody zakończone wtyczkami 4-mm należy połączyć z gniazdkami C1, C2, P1 i P2 w mierniku. Po połączeniu gniazdko C1 zostaje zwarte z P1, a C2 z P2. Wybrany przełącznikiem rezystor obciąża generator prądu. Przy pomocy układu testującego i tabeli 4 sprawdza się działanie miernika rezystywności gruntu. Dla wygody układ testujący powinien zostać wmontowany w małą obudowę np. plastikową.

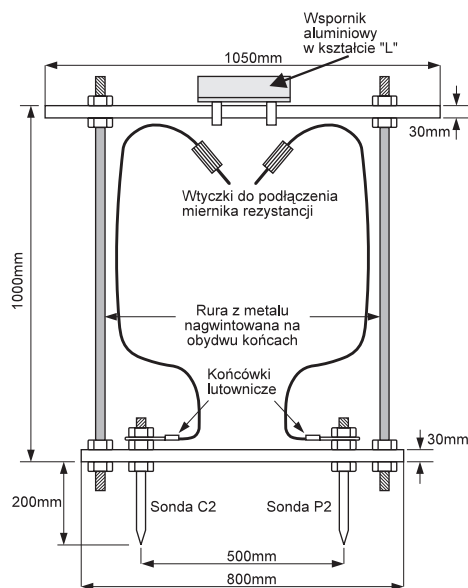
Praca w terenie

Metodę poszukiwawczą wybiera się w zależności od spodziewanego na danym terenie obiektu. Jeżeli jest to duża pojedyncza struktura, lepiej będzie wybrać konfigurację Wennera.

Trzeba postarać się o mapę danego obszaru w możliwie jak najdokładniejszej skali, albo w miarę własnych umiejętności wykonać ją samemu. Trzeba następnie starannie wyznaczyć w od-

Tabela 3.

wzmocnienie	obciążenie []	napięcie wyjściowe [V]
10	10	0,1
10	100	1
10	1000	10
100	1	0,1
100	10	1
100	100	10
1000	0,1	0,1
1000	1	1
1000	10	10



Rys. 10. Wzornik ramowy do konfiguracji dwusondowej.

ległości od budynków lub między polami w terenie i na mapie oba końce odcinka, wzdłuż którego zamierza się dokonać pomiarów. Każdy z tych punktów powinien zostać odmierzony w stosunku do co najmniej dwóch różnych elementów terenowych.

Innym sposobem zorientowania pomiarów jest przeprowadzenie ich wzdłuż przekątnej wyznaczonego pola. Pamiętać przy tym należy, że maksymalną czułość detekcji uzyskuje się wtedy, gdy linia pomiarów przecina ukryty obiekt pod kątem prostym.

Należy teraz wbić sondę C1 w ziemię na początku linii, od-

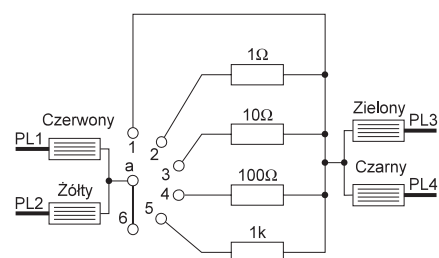
mierzyć wzdłuż niej 1m, wbić sondę P1, odmierzyć następną odległość 1m, wbić sondę P2 i wreszcie w odległości 1m wbić sondę C2 (jak na rys. 8a).

Po połączeniu miernika z sondami dokonuje się odczytu, który trzeba podzielić przez wybrane przełącznikiem wzmocnienie. Następnie wyciąga się sondę C1 i wbija się ją w odległości 1m od poprzedniej pozycji sondy C2 wzdłuż tej samej linii. Wystarczy teraz przełożyć połączenia miernika o jedną sondę i wykonać następny pomiar. W ten sam sposób postępuje się przy kolejnych pomiarach aż do końca zaplanowanej linii.

Pomiary dwusondowe

Jeżeli o mierzonym obszarze wiadomo niewiele, to lepiej wybrać konfigurację dwusondową, za pomocą której wykonuje się pomiar całego obszaru, a nie tylko wzdłuż jednej linii.

Należy zacząć od wyznaczenia w terenie kwadratu 20x20m, takiego jak na rys. 8c. Kąty proste można uformować dowolną z konwencjonalnych metod, a więc przy pomocy kompasu, ekerki optycznej, teodolitu, albo trójkąta „3, 4, 5“. Jeżeli czytelnik posiada jeden z trzech pierwszych przyrządów, z pewnością umie się nim posługiwać, dlatego opiszemy jedynie ostatni sposób. Należy tak ułożyć na ziemi trójkąt ze sznura lub taśmy, aby jeden z jego boków



Rys. 11. Schemat układu testującego.

miał trzy metry, drugi cztery metry, a trzeci pięć metrów. Kąt pomiędzy trzymetrowym a czterometrowym bokiem wynosi dokładnie 90°. Z przedłużenia tych boków do 20m powstaną dwa boki kwadratu.

Po wyznaczeniu kwadratu na dwóch przeciwległych jego bokach wbij np. dwa patyki w odległości 1m od narożników i rozciągnij między nimi taśmę mierniczą, tworząc z jednego skraju kwadratu pas jednowymiarowej szerokości. Wbija się teraz w ziemię ruchomą parę sond, C2 i P2, w pobliżu podziałki 500mm taśmy, w jednakowej odległości od taśmy i od skraju kwadratu. Ustalona parę sond, C1 i P1, odległych o 500mm od siebie, wbija się w ziemię w odległości około 15m od sprawdzanego kwadratu (długość przewodów, łączących sondy C1 i P1 z miernikiem rezystywności, powinna wynosić 50m).

Jeżeli przewiduje się pomiary także w sąsiednim kwadracie 20m x 20m, to należy umieścić ruchomą parę sond w miejscu o podobnej odległości od tego kwadratu. Po wykonaniu pomiaru przynosi się ruchomą parę sond w pobliże podziałki 1,5m na taśmie. W ten sam sposób wykonuje się następne pomiary, aż do podziałki 19,5m na taśmie. Przesuwa się taśmę o 1m i wykonuje dalszych 20 pomiarów, a potem następne, aż do 400 pomiarów.

Zapisywanie pomiarów

Wynik każdego pomiaru powinien zostać zapisany wraz ze wzmocnieniem, natężeniem prądu i odległością sond. Odczyty można zapisywać na papierze w kolumnach dla każdej z konfiguracji. Należy zanotować, który koniec kolumny odnosi się do której linii na planie, najlepiej używając liter

Tabela 4.						
rezystor [Ω]	prąd [mA]	napięcie	napięcie wyjściowe przy wzmocnieniu			
			x10	x100	x1000	
0	0,1	0	0	0	0	
1	0,1	0,1mV	1mV	10mV	100mV	
10	0,1	1mV	10mV	100mV	1V	
100	0,1	10mV	100mV	1V	10V	
1000	0,1	100mV	1V	10V	xxx	
0	1	0	0	0	0	
1	1	1mV	10mV	100mV	1V	
10	1	10mV	100mV	1V	10V	
100	1	100mV	1V	10V	xxx	
1000	1	1V	10V	xxx	xxx	
0	10	0	0	0	0	
1	10	10mV	100mV	1V	10V	
10	10	100mV	1V	10V	xxx	
100	10	1V	10V	xxx	xxx	
1000	10	10V	xxx	xxx	xxx	
0	50	0	0	0	0	
1	50	50mV	500mV	5V	xxx	
10	50	500mV	5V	xxx	xxx	
100	50	5V	xxx	xxx	xxx	
1000	50	50V	xxx	xxx	xxx	

Uwaga: xxx oznacza nasycenie wzmacniacza na skutek za dużego napięcia wejściowego. Pozycję tę należy pominąć.

i liczb. Np. A dla pierwszej linii, B dla drugiej itd., numerując poszczególne pomiary od 1 do 20 (jak na rys. 8c). Każdy odczyt powinien być zapisywany jako napięcie podzielone przez wzmocnienie i może być pozostawiony w postaci oporności, albo przeliczany na względną rezystywność. Odczyty można także rejestrować na przenośnym magnetofonie mikrokasetowym i przepisywać później. Jest to znacznie wygodniejsze od pisania w terenie na wilgotnym, szarpanym przez wiatr, papierze.

Pomierzone linie można przedstawiać w postaci wykresów rezystywności (na osi pionowej) w funkcji odległości (na osi poziomej). Wyniki opisujące całą powierzchnię można przedstawić w postaci siatki 20x20, podzielonej na 400 pól, w których są zapisane poszczególne odczyty. Są one trudne do interpretacji, a więc liczby można zastąpić kolorami, przedstawiającymi wartości odczytanych oporności. Kolory te można wprowadzić za pomocą kredek, albo generować przez komputer, na przykład przy pomocy programu autora. Służy on do tworzenia wykresów liniowych lub kolorowych czy cieniowanych plansz.

Program w QBASIC

Program opracowany przez autora, napisany w QBASIC-u (dla komputerów PC), jest dostępny w Internecie pod adresem ftp://ftp.epemag.wimborne.co.uk w podkatalogu pub/PICS/Earth.Meter.

Program wymaga wprowadzenia wyników pomiarów i w razie potrzeby umożliwi ich wydrukowanie. Wyświetla następnie zespół 20 wykresów liniowych, lub obraz 20 x 20 kwadratów o różnej szarości lub w różnych kolorach. Zapisanie na dysk nie zostało przewidziane, ale Czytelnicy znający QBASIC mogą z łatwością dołączyć to uzupełnienie.

Przy wyświetlaniu kwadratów program sortuje wyniki pomiarów rezystywności pomiędzy sześć zakresów, reprezentowanych kolorami lub stopniami szarości. Otrzymane plansze mogą być następnie drukowane przez użycie klawisza Print Screen (przy niektórych PC może to nie być bezpośrednio osiągalne, gdyż przed załadowaniem QBASIC-a musi zostać załadowany podprogram graficzny - sprawdź to w swoim podręczniku).

W trakcie działania programu trzeba odpowiednio odpowiadać na sugestie programu, naciskając tylko ENTER, gdy sugestia nie jest akceptowana. Potrzebne dane można także wydrukować. Do kolorowego wydruku kwadratów jest oczywiście potrzebna drukarka kolorowa. Można jednak drukować także w różnych stopniach szarości.

Etyka i prawo

Trzeba tu dodać parę słów na temat etyki pomiarów rezystywności gruntu. W pewnym momencie możesz odczuć chęć sprawdzenia rezultatów swoich pomiarów przez rozkopanie zmierzonego obszaru. Zaniechaj tego! Jeżeli okaże się on obiektem mającym wartość archeologiczną, twoje wykopy z pewnością zniszczą większość informacji niezbędnych do pełnej jego interpretacji.

Same pomiary rezystywności gruntu są nieniszczące (jeśli nie liczyć wbijania sond), trzeba jednak przede wszystkim pamiętać, że w Wielkiej Brytanii wszystkie tereny są czyjąś własnością. Przed rozpoczęciem pomiarów trzeba więc odszukać właściciela i uzyskać jego zgodę na ich przeprowadzenie. Jeżeli zaś badany teren jest wpisany na listę pomników przeszłości (prowadzoną przez powiatowego archeologa), dokonywanie jakichkolwiek badań jest dopuszczalne jedynie za zgodą Departamentu Dziedzictwa Naro-

dowego, a takiej zgody na ogół amatorzy nie uzyskują. W Wielkiej Brytanii istnieje wiele lokalnych amatorskich stowarzyszeń archeologicznych, działających pod przewodnictwem wykwalifikowanych archeologów, którzy zapewniają im ścisłe kontakty z placówkami naukowymi.

Robert Beck, EwPE

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika „Everyday with Practical Electronics“.

Od tłumacza

W Polsce dziedzina ta objęta jest Ustawą o Ochronie Dóbr Kultury i o Muzeach z roku 1962 z późniejszymi zmianami, zgodnie z którą wszystkie wykopaliska i znaleziska archeologiczne są własnością Państwa Polskiego. Według tej ustawy znalazcy przedmiotów archeologicznych lub odkrywcy wykopalisk są obowiązani je zabezpieczyć i niezwłocznie zawiadomić o nich właściwego terytorialnie konserwatora zabytków, zarząd gminy, lub muzeum. Osobom, które dopełniły tego obowiązku przysługuje nagroda od Państwa. Właścicielom gruntów, na których dokonuje się prac wykopaliskowych przysługuje odszkodowanie za zniszczenie pól.

W Polsce wszelkie prace przy zabytkach oraz prace archeologiczne i wykopaliskowe wolno prowadzić tylko za zezwoleniem właściwego konserwatora zabytków.

Kwartalnik Archeologia Żywa nr 1, 1997, opisuje nie tak dawny wypadek zdewastowania cmentarzyska z okresu wpływów rzymskich przez rabusiów - pseudoarcheologów. Posługując się detektorem metali odszukali oni cmentarzysko z licznymi okazami starożytnej broni, barbarzyńsko je rozkopali, a znaleziska usiłovali sprzedać. Wyrokiem sądowym za swój wyczyn zostali ukarani karą więzienia i grzywny.