

Marek Sołtys

Metody wyznaczania położenia przewodów podziemnych z wykorzystaniem elektromagnetycznych lokalizatorów i magnetometrów

Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 23, 83-98

2006

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Marian Sołtys

METODY WYZNACZANIA POŁOŻENIA PRZEWODÓW PODZIEMNYCH Z WYKORZYSTANIEM ELEKTROMAGNETYCZNYCH LOKALIZATORÓW I MAGNETOMETRÓW

1. Wstęp

Podziemne sieci rurociągów i kabli oraz ich elementy, których położenie w terenie nie jest znane z dostateczną dokładnością, stanowią zwykle duże utrudnienie podczas prac wykopowych wykonywanych sprzętem mechanicznym do celów realizacji inwestycji budowlanych. Istniejące mapy z naniesionymi przewodami podziemnymi oraz penetrowanie terenu odpowiednim lokalizatorem elektromagnetycznym bezpośrednio przed pracującymi koparkami pozwalają na właściwe i takie zaprojektowanie miejsc prowadzenia wykopów, aby nie uszkodzić sieci podziemnych, a także nie spowodować ewentualnych zagrożeń dla pracowników. Należy nadmienić, że sieci przewodów należą do grupy szczegółów stanowiących obligatoryjną treść mapy zasadniczej, a więc podlegają obowiązkowi pomiarów i właściwej aktualizacji ich położenia.

W pracy przedstawiono przyrządy i metody do elektronicznego określania położenia zakopanych przewodów i innych podpowierzchniowych elementów. Metody te, realizowane poprzez zastosowanie różnych elektronicznych przyrządów stanowiących składniki systemów pomiarowych, nazywa się często metodami nieniszczącymi.

Do nieniszczących metod wykrywania sieci przewodów i innych elementów podziemnych należą:

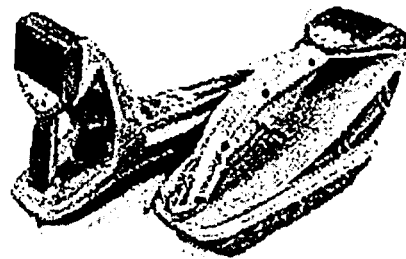
- zastosowanie lokalizatorów elektromagnetycznych do wykrywania sieci przewodów jako obiektów liniowych,

- zastosowanie magnetometrów do lokalizacji metalowych obiektów bryłowych, jak: zakopanych pokryw, włazów, zaworów, studzienek itp.,
- metoda georadarowa.

2. Lokalizatory i metody wykrywania położenia przewodów podziemnych

2.1. Charakterystyka techniczna lokalizatorów

Lokalizatory elektromagnetyczne umożliwiają w zasadzie wyznaczenie położenia i głębokości tylko metalowych rurociągów i kabli podziemnych. Podstawowymi częściami składowymi lokalizatorów są zwykle: nadajnik, odbiornik i wyposażenie dodatkowe. Nadajnik składa się najczęściej z generatora z układem sterującym, źródła zasilania, anteny do stosowania metody indukcyjnej, wyjścia do metody galwanicznej i podłączenia sond uziemiających, elementów klawiatury generatora w celu właściwego dobrania trybów pracy, funkcji przyrządu i emitowanego sygnału. Elementy nadajnika są umieszczone w jednej, trwałej obudowie. W skład odbiornika wchodzi: wzmacniacz z elementami klawiatury sterującej obejmującymi pokrętła, przyciski, przełączniki, wskaźniki, wyświetlacze; antena odbiorcza; słuchawki. Istotne parametry techniczne dwóch aktualnie produkowanych lokalizatorów zestawiono w tabeli 1 [1]. Lokalizator Geopilot (rys.1) jest produkowany przez firmę Elektronik (Jan Pogoda), zaś zestaw RD4000 (rys. 2) przez firmę Radiodetection [4], [5].



Rys. 1. Lokalizator typu Geopilot S Rys.2. Lokalizator z serii RD4000

2.2. Ogólny podział metod

Położenie podziemnych przewodów metalowych – będących przewodnikami prądu elektrycznego – może być określane bezpośrednio poprzez zastosowanie typowych lokalizatorów. Natomiast rurociągi, kanały, tunele itp. wykonane z tworzyw sztucznych, azbestocementu, betonu, krzemionki, drewna czy kamienia nie mogą być w zasadzie wykrywane bezpośrednio omawianymi lokalizatorami, ponieważ nie zapewniają dostatecznej przewodności elektrycznej. Możliwości wykrycia przebiegu niemetalowych przewodów podziemnych za pomocą lokalizatorów elektromagnetycznych istnieją poprzez zastosowanie następujących środków lub dodatkowego wyposażenia:

- wykorzystanie znaczników elektromagnetycznych o odpowiednich częstotliwościach, które są umieszczone podczas budowy przewodów w punktach charakterystycznych np. w punktach rozgałęzień przewodów,
- wykorzystanie sond nadawczych, wprowadzonych do niemetalowych rurociągów lub kanałów, które są identyfikowane przez lokalizator,
- przeciągnięcie linki metalowej wewnątrz kanału lub rurociągu,
- usytuowanie odpowiednich taśm lokalizacyjnych z paskiem ze stali kwasoodpornej na górnej powierzchni nowo budowanych rurociągów,

W takich przypadkach wykrywanie przy użyciu lokalizatorów wykonuje się podobnie jak w odniesieniu do przewodów metalowych

Wyróżnia się dwie zasadnicze grupy metod wyznaczania położenia metalowych przewodów podziemnych, a mianowicie: metody aktywne i metody pasywne. Do aktywnych należą następujące metody:

- indukcyjna,
- galwaniczna,
- pomiaru prądu CM (Current Measurement),
- usytuowanie odpowiednich taśm lokalizacyjnych z paskiem ze stali kwasoodpornej na górnej powierzchni nowo budowanych rurociągów,
- pomiaru kierunku prądu CD (Current Direction).

Do metod pasywnych zaliczamy[4]:

- metodę „power”,
- metodę „radio”.

Ze względu na podział przewodów na metalowe (dobre przewodnictwo prądu) oraz niemetalowe (brak właściwego przewodnictwa) podział metod wykrywania jest następujący:

- metody do wykrywania przewodów metalowych,
- metoda z wykorzystaniem sond nadawczych ,
- metoda z wykorzystaniem znaczników elektromagnetycznych,
- metody z wykorzystaniem taśm lokalizacyjnych,
- inne metody dostosowane do występujących przypadków pomiarowych.

Tabela 1. Parametry techniczne lokalizatorów typu Geopilot i RD4000T10

NAZWA NADAJNIKA	Geopilot	RD4000T10(w.7)
częstotliwość pracy [kHz]	55.4	0,64; 8; 33; 65
liczba częstotliwości roboczych	1	16 konfigurowanych
moc wyjściowa [W]	0,1; 0,2	10 (regulowana)
metoda indukcyjna/galwaniczna	tak/tak	tak/tak
pomiar CM/CD	nie/nie	tak/tak
zasilanie (typ baterii)	6xR20	12xR20
czas pracy [godz.]	15	do 24
temperatura pracy [° C]	-20 do +40	-20 do + 50
wodoszczelność	nie	tak
waga [kg]	2,8	4,4
wymiary [cm]	40x36x7,5	18x35x23
NAZWA ODBIORNIKA	Geopilot	RD4000 (wersja 48)
częstotliwość, tryb aktywny[kHz]		
częstotliwość, tryb pasywny power/radio[kHz]	nie/nie	0,04-0,7/14-26
regulacja czułości	nie	tak
pomiar głębokości	tak	tak
sygnał lokalizacji przewodu	dźwięk	dźwięk, wyświetlacz
zasilani (typ baterii)	6F22 (9V)	4xR20
wodoszczelność	nie	tak

waga [kg]	0,4	2,8
wymiary [cm]	11x6x2,5	69x28x12,3
INNE DANE		
głębokość lokalizacji [m]	do 8	do 8
dokładność określenia trasy/głębokości	2-5/kilkanaście cm	ok.5%głębokości
zasięg, metoda indukcyjna/galwaniczna [m]	750/1000	brak danych
wyposażenie standardowe	kable do metody galwanicznej, podstawka p/wywrotna	kable: do komputera, zasilający, do uziemienia. Szpilka uziemiająca, słuchawki

Do lokalizacji przewodów metalowych i niemetalowych należy wybrać metodę najbardziej skuteczną i dostosowaną do warunków pomiaru. Wykrywanie tego samego odcinka przewodu więcej niż jedną metodą jest pomiarem kontrolnym. Należy nadmienić, że dostosowanie przyrządu do wykrywania każdą z wymienionych metod dotyczy tylko najbardziej nowoczesnych i wielofunkcyjnych lokalizatorów.

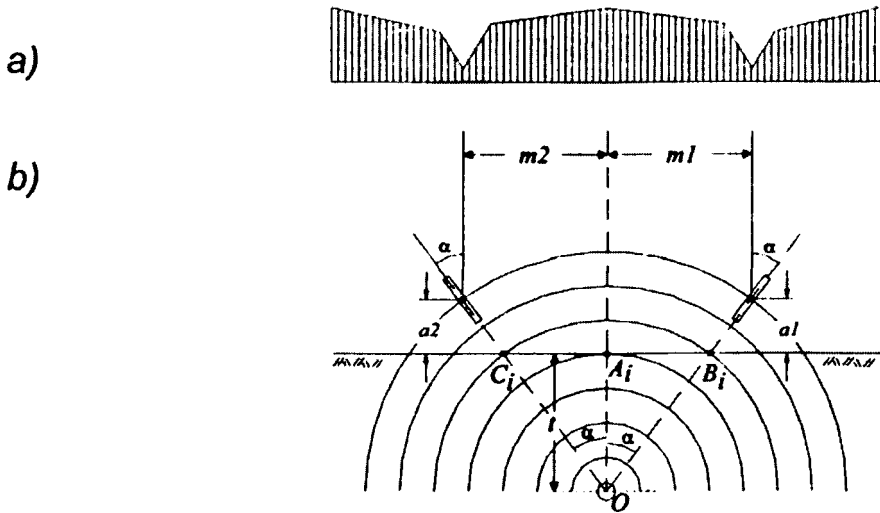
2.3. Metoda indukcyjna

W celu zastosowania metody indukcyjnej należy ustawić nadajnik na powierzchni terenu nad zasypnym przewodem tak, aby pionowa płaszczyzna jego anteny znajdowała się w przybliżeniu w pionowej płaszczyźnie osi przewodu. Pokrycie się tych dwóch płaszczyzn zapewnia maksymalne sprzężenie indukcyjne nadajnika z przewodem i powoduje powstanie pola elektromagnetycznego, którego składową magnetyczną można schematycznie przedstawić w postaci koncentrycznie ułożonych okręgów leżących w płaszczyźnie prostopadłej do osi szukanego przewodu (rys. 3). Przesuwając odpowiednio antenę odbiorczą wyznacza się trasę przewodu na podstawie zmian natężenia sygnału w słuchawkach lub odpowiednich wskazań miernika.

W celu wyznaczenia głębokości tą metodą należy:

- wyznaczyć punkt A_i wskazujący na trasę przewodu (rys. 3),

- przesuwać anteną odbiorczą, ustawioną pod kątem α względem pionowej osi jej uchwyty, w płaszczyźnie prostopadłej do uprzednio wyznaczonej trasy przewodu (od punktu A_i do położenia, w którym natężenie sygnału spadnie do minimum (punkty B_i oraz C_i).



Rys. 3. Zasada określania głębokości przewodu. a) wykres natężenia sygnału, b) położenia anteny odbiornika

Głębokość „t” ułożenia osi przewodu oblicza się według wzoru:

$$t = \frac{A_1 B_1 + A_1 C_1}{2} \operatorname{ctg} \alpha$$

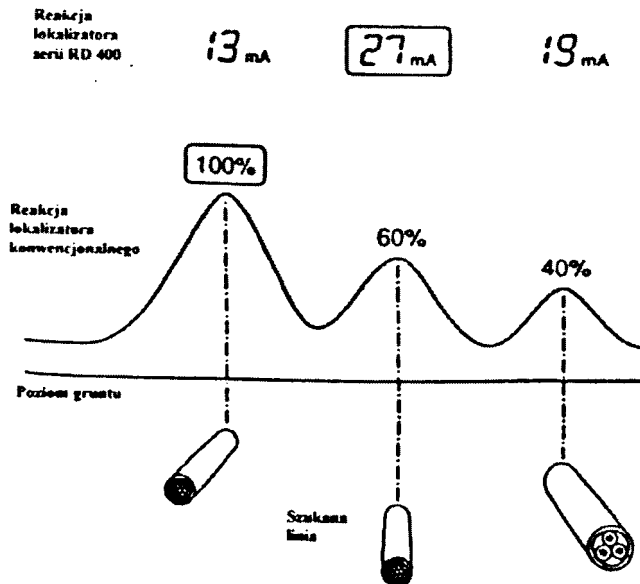
W nowoczesnych lokalizatorach głębokość wyznaczana jest automatycznie, po wciśnięciu odpowiedniego przycisku, a jej wielkość jest wskazywana na ekranie wyświetlacza.

2.4. Metoda galwaniczna

Zastosowanie metody galwanicznej wymaga bezpośredniego podłączenia nadajnika, za pomocą izolowanej linki metalowej, do znanego punktu poszukiwanego przewodu na przykład zaworu, hydrantu, zasuwę itp. Ponadto nadajnik należy uziemić za pomocą sondy uziemiającej, będącej zazwyczaj prętem metalowym o długości ok. 0,3 m i średnicy 5 –10 mm. Celowe jest wykorzystanie dwóch sond, które należy umieścić symetrycznie po obu stronach przewodu. Sposób poruszania się z odbiornikiem jest taki sam jak w przypadku metody indukcyjnej.

2.5. Metoda CM

W trudnych warunkach zagęszczenia sieciami przewodów, np. w głównych ulicach miasta czy na terenach przemysłowych, ważne jest nie tylko określenie położenia i głębokości przewodów, lecz także uzyskanie pewności co do właściwej identyfikacji aktualnie lokalizowanej linii oraz jej stanu technicznego. Dlatego też niektóre lokalizatory nowej generacji, jak np. wykrywacze firmy Radiodetection mogą być dodatkowo dostosowane do pomiaru prądu sygnałowego płynącego w badanym przewodzie[4]. Generator dostarcza do badanego przewodu prąd sygnałowy, którego natężenie maleje w miarę wzrostu odległości od generatora. Współczynnik tego spadku lub tłumienia powinien być zasadniczo regularny, bez nagłych zmian. Każda nagła, skokowa zmiana wartości prądu świadczy o tym, że nastąpiła zmiana przewodu albo jego stanu technicznego. Metoda CM polega więc na monitorowaniu prądu sygnałowego w badanym przewodzie, poprawnej jego identyfikacji i określeniu położenia na podstawie wartości natężenia tego prądu. Na terenach o dużej gęstości uzbrojenia lokalizator konwencjonalny często wykrywa silniejszy sygnał pochodzący od sąsiedniego przewodu, szczególnie gdy jest on położony bliżej powierzchni terenu niż szukany przewód, do którego został podłączony generator (rys.4). Prawidłowa identyfikacja poszukiwanego przewodu jest wówczas niemożliwa bez dokonania pomiaru prądu i porównania z prądem w innych liniach przenoszących sygnał. Linią poszukiwaną, do której został doprowadzony sygnał z generatora jest ta, w której stwierdzono przepływ większego prądu (27 mA, rys.4).

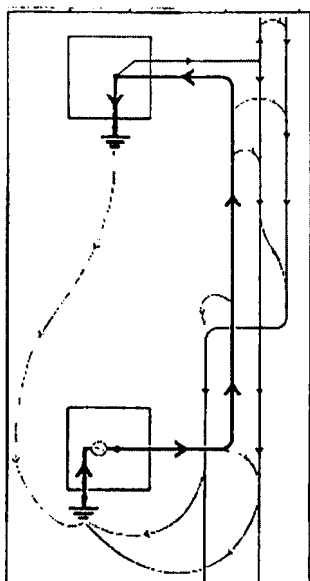


Rys. 4. Porównanie wskazań lokalizatora konwencjonalnego i lokalizatora z możliwością pomiaru prądu sygnałowego

2.6. Metoda CD

Niektóre nowoczesne lokalizatory zaopatrzone są w funkcję CD – rozpoznawania kierunku prądu sygnałowego wysyłanego z generatora. Rozpoznawanie tego prądu, wskazywanego na wyświetlaczu odbiornika, umożliwia identyfikację i ustalenie położenia właściwego przewodu. Na rys. 5 zaznaczony jest pogrubioną linią kierunek prądu sygnałowego w przewodzie, do którego podłączono generator i trasę tego przewodu wskazuje odbiornik [4].

Połączenie obu funkcji - CM i CD - umożliwia identyfikację przewodu, do którego podłączony jest generator, nawet w warunkach dużego zagęszczenia przewodów.



Rys. 5. Wyznaczanie trasy przewodu metodą CD

2.7. Metoda pasywna „power”

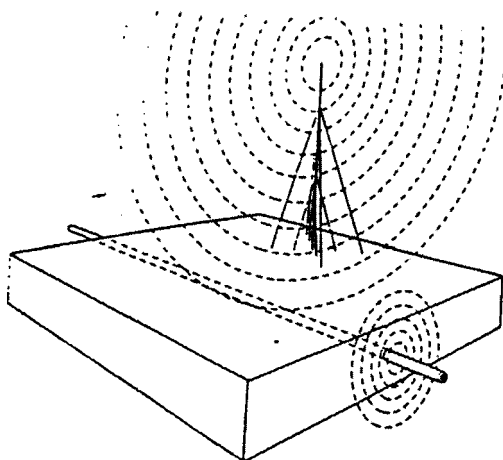
Tryb „power” (moc) pozwala wykrywać przewody przenoszące prąd o częstotliwości 50/60Hz, pochodzący z podziemnych kabli elektroenergetycznych obciążonych i innych linii. Ten sposób wymaga zastosowania tylko odbiornika. Możliwość wykrywania takiego prądu mają zarówno niektóre lokalizatory starszej jak i nowej generacji. Aby rozpocząć pomiary lokalizacyjne w tym trybie, należy ustawić przełącznik funkcji w pozycję odpowiadającą temu sposobowi pracy i spenetrować teren wzdłuż pasów wzajemnie prostopadłych. Ułatwi to odnalezienie ewentualnego przewodu podziemnego na podstawie odpowiednich wskazań odbiornika.

2.8. Metoda pasywna „radio”

W trybie pasywnym „radio” wykrywacz lokalizuje podziemne przewody jeśli emitują one falę elektromagnetyczną o bardzo niskiej częstotliwości. Źródłem tej energii mogą być na przykład radiostacje

(rys.6). W niektórych rejonach sygnał radiowy może nie mieć dostatecznej mocy do wykrycia go w trybie „radio”. Jeśli jednak sygnał występuje, wówczas tryb ten umożliwia wykrycie i zlokalizowanie podziemnych linii, w szczególności długich linii telefonicznych i innych, które nie emitują energii o częstotliwościach sieci elektroenergetycznej (50/60Hz).

Tryb pasywny „radio” stanowi uzupełnienie trybu „power” przy przeszukiwaniu terenu w celu wykrycia nieznanymi instalacji i w wypadku prowadzenia tego typu prac powinno się korzystać z obu trybów [4]. Po zakończeniu penetracji terenu w trybie „power” odbiornik należy przełączyć na tryb „radio”, zwiększyć jego czułość do maksimum i powtórzyć czynności poszukiwania lokalizując i oznaczając odnalezione instalacje.

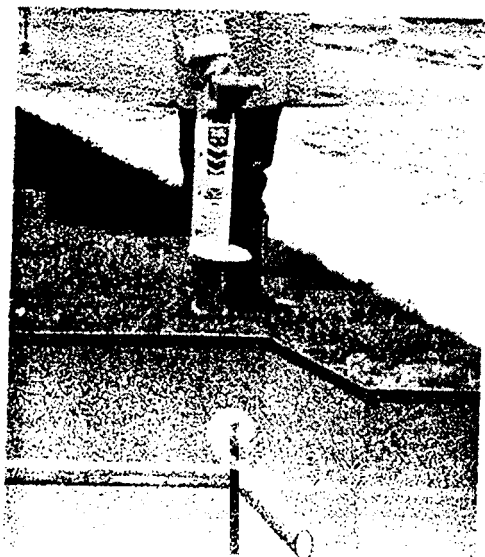


Rys. 6. Przewód podziemny w pobliżu anteny radiostacji

2.9. Metoda z wykorzystaniem znaczników elektromagnetycznych

Znaczniki elektromagnetyczne, określane jako znaczniki EMS oraz EMS-iD, są wykorzystywane do oznakowania ważnych miejsc i punktów sieci podziemnych, jak: miejsc kolizji z innymi instalacjami podziemnymi, rozgałęzień i skrzyżowań przewodów, punktów konserwacyjnych, studzienek, zaworów, zasuw, złącz, zapasów kabli,

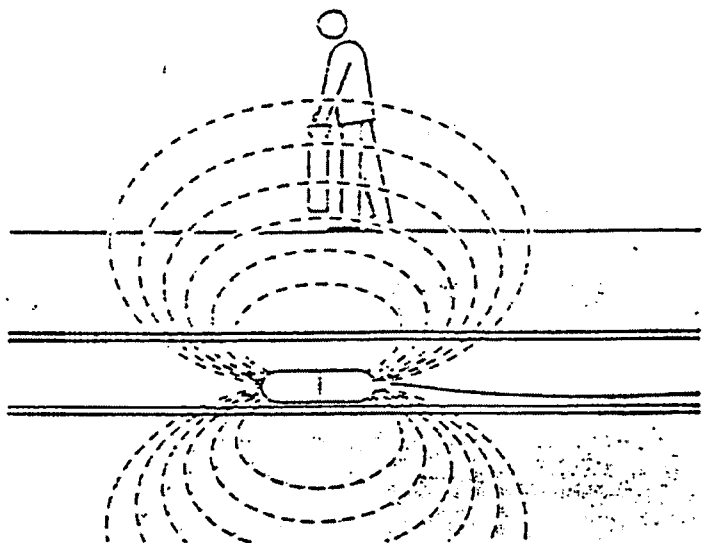
przebieg przewodów pod drogami [3]. Oznakowanie takie dotyczy przede wszystkim przewodów niemetalowych, a w mniejszym zakresie także przewodów metalowych. Znaczniki elektromagnetyczne zakopywane są w ziemi (rys. 7) nad miejscem przewodu, które chcemy oznaczyć i mogą być łatwo identyfikowane za pomocą niektórych lokalizatorów. W przypadku podziemnych instalacji niemetalowych takich, jak: kable światłowodowe, rurociągi gazowe i wodociągowe wykonane z tworzyw sztucznych, zastosowanie znaczników EMS w połączeniu z odpowiednią taśmą lokalizacyjną stanowi element systemu umożliwiający skuteczną lokalizację trasy i identyfikację poszczególnych punktów instalacji. Zlokalizowanie znaczników wykrywaczem jest więc informacją o położeniu przewodów podziemnych i elementach tych przewodów. Stosowane w kraju kuliste znaczniki EMS-iD mają średnicę 10 cm, posiadają wbudowany układ elektroniczny oraz zawierają informacje dotyczące sieci podziemnej. Dla różnych rodzajów sieci podziemnych stosuje się, w sposób jednoznaczny, znaczniki różniące się kolorem oraz częstotliwością, na przykład znaczniki w kolorze żółtym układane są na sieciach gazowych.



Rys. 7. Przykład zainstalowania znacznika nad rozgałęzieniem przewodu

2.10. Metoda z wykorzystaniem sond nadawczych

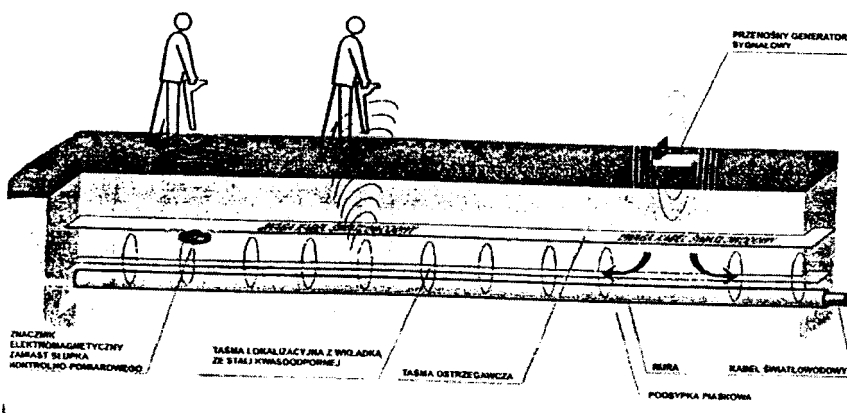
Sonda to mały i wodoszczelny generator emitujący sygnał, który może być wykrywany przez odpowiedni odbiornik wykrywacza [4]. Różnego rodzaju sondy wykorzystywane są do wykrywania niemetalowych rurociągów oraz kanałów, lokalizowania uszkodzeń tych rurociągów, monitorowania przesuwania się głowic wiertnic poziomych podczas przekopów i innych prac bezodkrywkowych. Sondy są wprowadzane do badanego przewodu za pomocą odpowiednich prętów lub przyrządów do wprowadzania i przemieszczania sondy wzdłuż kanału lub rurociągu (rys. 8). Należy zaznaczyć, że sonda może być wykrywana przez odbiornik tylko w niemetalowych przewodach. Rurociągi metalowe i pokrywy stanowią ekran dla wykrywanego sygnału i uniemożliwiają wykrycie sondy. Koniecznym warunkiem wykrycia sondy jest identyczność częstotliwości pracy odbiornika i częstotliwości sondy. Lokalizacja kolejnych położений przemieszczanej sondy w rurociągu lub przewodzie kanalizacyjnym stanowi informacje o przebiegu trasy tych przewodów.



Rys. 8. Lokalizacja sondy lokalizatorem

2.11. Metoda z wykorzystaniem taśm lokalizacyjnych

Podczas budowy nowych przewodów podziemnych stosuje się, między innymi, taśmy lokalizacyjne z odpowiedniej folii z wklejonym paskiem ze stali kwasoodpornej. Taśmę taką układa się na nowo budowanych przewodach niemetalowych, a mianowicie: kablach światłowodowych, rurociągach gazowych i wodociągowych oraz kanalizacji. Ponadto, co pewien odcinek, utrwała się nad przewodem naziemny słupek oznaczeniowo- pomiarowy, do którego doprowadza się końcówkę taśmy lokalizacyjnej. Takie ułożenie taśmy w połączeniu z słupkami umożliwia wykorzystanie lokalizatorów elektromagnetycznych do lokalizacji taśmy, a tym samym sieci przewodów w dowolnym czasie ich eksploatacji[4]. Taśmy lokalizacyjne różnią się kolorami odpowiednio do rodzaju przewodów, co podczas ewentualnych przekopów pozwala właściwie zidentyfikować rodzaj przewodu. Przykład lokalizacji taśmy metodą indukcyjną ilustruje rys. 9.

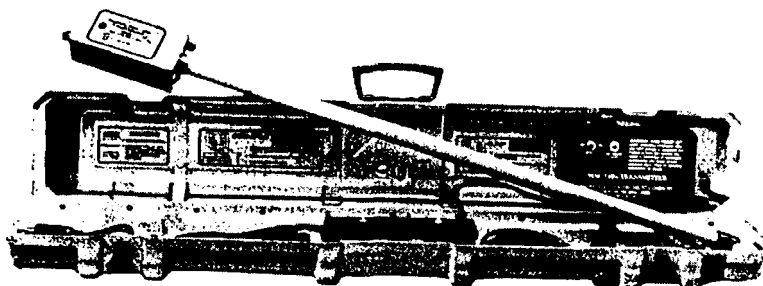


Rys. 9. Lokalizacja taśmy metodą indukcyjną

3. Magnetometry do lokalizowania obiektów bryłowych

Magnetometry do lokalizacji obiektów bryłowych, nazywane także lokalizatorami obiektów bryłowych, są wykorzystywane do wykrywania zakrytych - pod ziemią, asfaltem czy śniegiem - bryłowych elementów sieci uzbrojenia terenu jak: pokryw, zasuw, skrzynek, włazów, zbiorników i innych obiektów ferromagnetycznych. Większość produkowanych magnetometrów nie jest dostosowanych do

wyznaczania położenia zasypanych przewodów podziemnych (obiektów liniowych). Przykładem takich przyrządów, stosowanych również w Polsce, są magnetometry typu MAC-51Bx amerykańskiej firmy SIC (rys.10), a także kolejne wersje magnetometrów: RD315, RD316 i MT202 firmy Radiodetection [2], [4]. Wymieniony model MAC-51Bx wyposażony jest standardowo w nadajnik i dwufunkcyjny odbiornik co umożliwia wykrywanie zarówno obiektów liniowych (przewody podziemne) jak i bryłowych. Istota działania magnetometru polega na jego reakcji na lokalną zmianę pola magnetycznego ziemskiego w miarę zbliżania części czujnikowej magnetometru do wykrywanego przedmiotu (obiektu) ferromagnetycznego. Zmiana ta odzwierciedla się w postaci wzrostu częstotliwości sygnału akustycznego, której maksimum będzie wówczas, gdy magnetometr będzie najbliżej wykrywanego obiektu. Zestawienie maksymalnych głębokości wykrywania różnych elementów wybranymi magnetometrami oraz średnie błędy lokalizacji dla lokalizatora MAC-51Bx zestawiono w tabeli 2.



Rys. 10. Magnetometr typu MAC-51Bx

Tabela 2. Maksymalne głębokości (w metrach) wykrywania niektórych urządzeń i obiektów

Rodzaj urządzenia lub obiektu	Magnetometr MAC-51Bx	Średni błąd lokalizacji (cm)	Magnetometr RD315
pokrywy włazów	2,4	5-25	2,5
złącza rurociągów żeliwnych	2,4	2-25	2,5
zawory wodociągowe i gazowe	1,8	2-15	-

studzienki w obudowie metalowej	4,5	5-40	-
beczka stalowa	3,0	5-25	4,5
rurki stalowe ϕ 2 cm, długość 45 cm	2,0	1-15	2,1
pocisk artyleryjski o długości 175 mm	1,5	1-15	-
gwóźdź o długości 3 cm	0,2	1-3	-
uchwyt klapy zbiorników	1,2	-	-
metalowy znak geodezyjny	0,3	-	0,2

Średnie błędy lokalizacji rosną się w miarę zwiększania się głębokości wykrywanego obiektu, na przykład średnie błędy lokalizacji stalowych rurek usytuowanych pionowo na głębokościach 5 cm i 100 cm wynoszą odpowiednio 1cm i 9 cm.

4. Wnioski

- 1) Zakres i dokładność stosowania lokalizatorów do wykrywania zakopanych rurociągów i kabli oraz ferromagnetycznych obiektów bryłowych są kształtowane przez warunki pomiaru, czynniki osobowe operatora oraz rodzaj wykorzystywanego sprzętu.
- 2) Do typowych metod wyznaczania trasy i głębokości przewodów podziemnych należą: metoda indukcyjna i galwaniczna. Inne metody aktywne i pasywne znacznie poszerzają zakres wykorzystania lokalizatorów i są stosowane przy wykorzystaniu nowoczesnych, wielofunkcyjnych lokalizatorów.
- 3) Integracja i wykorzystanie nowoczesnych lokalizatorów w połączeniu z techniką GPS stanowią istotne źródło danych w procesie tworzenia cyfrowych map sieci uzbrojenia terenu.

Literatura

1. Pudło M.: Zanim zaczniesz kopać. Geodeta. Magazyn Geoinformatyczny nr 5, 2005.
2. Sołtys M.: Badanie dokładności i zakresu zastosowań lokalizatora typu MAC-51Bx. Wydawnictwa AGH. Geodezja T6. Kraków 2000.
3. System inteligentnych znaczników kulistych 1400 EMS-iD. Prospekt firmy 3M Poland Sp. z o.o.
4. www.radiodetection.com.pl
5. www.lokalizatory.pl