

doi:10.15199/48.2024.11.04

## Przegląd metod lokalizacji elementów infrastruktury podziemnej

**Streszczenie.** W publikacji przedstawiono przegląd metod lokalizacji infrastruktury podziemnej. Omówiono podstawowe metody lokalizacji, a główną część artykułu stanowi opis metod elektrycznych/elektromagnetycznych. Określone zostały podstawowe czynniki, które należy wziąć pod uwagę podczas lokalizacji – sposób przyłączenia, uziemienia czy częstotliwość sygnału. Przedstawione zostały zarówno metody pasywnej lokalizacji – wykorzystujące sygnały już istniejące w infrastrukturze oraz metody aktywne, czyli takie, gdzie nadajnikiem podawany jest określony sygnał.

**Abstract.** The publication presents an overview of methods for locating underground infrastructure. Basic localization methods are discussed, with the main part of the article being a description of electrical/electromagnetic methods. The basic factors to be taken into account when localizing are identified - connection, earthing or signal frequency. Both passive localization methods - using signals already present in the infrastructure - and active methods, where a specific signal is applied with a transmitter, are presented. (**Overview of methods for locating underground infrastructure elements**)

**Słowa kluczowe:** lokalizatory, metody elektromagnetyczne, lokalizacja, magnetometri.

**Keywords:** locators, electromagnetic methods, location, magnetometers.

### Wstęp

Zgodnie z ustawą Prawo Energetyczne [1], operatorzy systemu dystrybucyjnego (OSD) odpowiadają za prowadzenie bieżącej eksploatacji sieci, konserwacji i remontów w sposób, który gwarantuje niezawodność funkcjonowania sieci. Odpowiadają również za planowanie rozwoju sieci, uwzględniając wszelkie potrzeby w zakresie dostarczania energii elektrycznej na obszarze objętym przez danego operatora. Wszystkie powyższe obowiązki wymagają informacji o dokładnym przebiegu własnych linii kablowych, jak również o obiektach znajdujących się w pobliżu tych linii. W wielu przypadkach, informacje dotyczące infrastruktury podziemnej mogą być niekompletne lub niedokładne. W samej Warszawie, sieci kablowe układane są od dziesiątek lat, a pozostałe instalacje takie jak wodociągi czy kanalizacja budowane są od XIX wieku. Oprócz tego dochodzą jeszcze kwestie różnorodnych warunków glebowych i środowiskowych.

Podstawowym założeniem procesu lokalizacji przewodów jest rezygnacja z odkopywania kabli lub elementów linii w terenie, jak również sam proces nie powinien wpływać na ciągłość pracy sieci elektroenergetycznej. Konieczne może być natomiast wyłączenie pojedynczych linii i podłączanie do nich urządzeń pomocniczych – np. nadajników. Przy użyciu urządzeń lokalizacyjnych możliwe jest określenie położenia: kabli o różnych napięciach znamionowych (nn, SN i WN), kabli wielożyłowych i jednożyłowych, kabli o różnej konstrukcji, pracujących w liniach wielotorowych, a także ułożonych w wiązkach. Lokalizacja powinna kończyć się wprowadzeniem nowych danych do systemu lub potwierdzeniem położenia istniejącej instalacji np. w systemie informacji geograficznej (GIS). Warto dodać, że lokalizacja poniżej opisanymi metodami dotyczy nie tylko przewodów, ale także innych rodzajów infrastruktury podziemnej.

### Metody lokalizacji elementów podziemnych

Jak wspomniano we wstępie, trudnością w uzyskiwaniu informacji o infrastrukturze podziemnej jest to, że jest ona niewidoczna, a plany, rysunki bądź dostępne informacje mogą być błędne lub niekompletne. W celu identyfikacji instalacji podziemnych należy zastosować odpowiednią technikę, aby uzyskać informacje co na danym obszarze się znajduje. Istnieje kilka metod lokalizacji infrastruktury podziemnej [2], [3]: georadarowa, geomagnetyczna, soniczna oraz elektryczna/elektromagnetyczna.

Metoda georadarowa wykorzystuje fale elektromagnetyczne. W przypadku niektórych warunków gruntowych ma

zalety nad innymi metodami ze względu na możliwość lokalizowania zarówno metalicznych jak i niemetalicznych obiektów. Urządzenia bazujące na tej metodzie są droższe w porównaniu do urządzeń bazujących na innych metodach, większe, a także trudniejsze w obsłudze. Sam proces lokalizacji trwa również dłużej.

Metody soniczne polegają na wstrzykiwaniu fal dźwiękowych lub ultradźwiękowych do ziemi lub wzdłuż linii. Jednym z zastosowań dla tej metody jest śledzenie plastikowych rur wodociągowych.

Na potrzeby tego artykułu, uwaga zostanie poświęcona na lokalizację metodą elektromagnetyczną. Posiada ona wiele zalet i udogodnień w pozyskiwaniu informacji o infrastrukturze podziemnej, które nie są dostępne w przypadku innych technik lokalizacyjnych. Pozwala ona na [2]:

- przeszukiwanie obszaru z powierzchni ziemi, aby zlokalizować podziemne obiekty,
- namierzenie i zidentyfikowanie linii docelowej (tą do której przykładany jest sygnał),
- pomiar głębokości z powierzchni ziemi,
- dostarczanie danych do sterowania sprzętem lub narzędziami zarówno nad, jak i pod ziemią lub na dnie morza,
- wykrywanie niektórych rodzajów uszkodzeń kabli oraz monitorowanie stanu powłoki rurociągu,
- wskazywanie położenia połączeń w żelaznych rurach gazowych,
- działanie w każdych warunkach glebowych.

Urządzenia do lokalizacji elektromagnetycznej są przenośne i stosunkowo łatwe w obsłudze. Części składowe technologii są tanie, a koszty wystarczająco niskie, aby mogły być stosowane przez małych wykonawców.

### Przeływ prądu elektrycznego w lokalizowanym elemencie infrastruktury

Zasada działania lokalizatorów elektromagnetycznych jest oparta na wykrywaniu prądu płynącego przez podziemny element przewodzący. W większości przypadków, im większy prąd popłynie przez szukany element, tym mocniejszy sygnał można uzyskać i tym łatwiej będzie zlokalizować taki element. [4]

Z punktu widzenia lokalizacji bardzo istotny jest wybór częstotliwości prądu wprowadzanego do linii kablowej. Najlepsza częstotliwość z punktu widzenia jednego zadania może nie sprawdzić się w przypadku innego zastosowania. Ważne jest, jak poszczególne wartości częstotliwości wpływają na proces lokalizacji i jak wybrać optymalną

wartość do konkretnego zadania. Zasadą jest, aby korzystać z najniższej częstotliwości, jaka wygeneruje możliwy do śledzenia sygnał na danej głębokości. [5].

Każda linia lub obwód, który jest lokalizowany może mieć większą lub mniejszą przewodność, co z punktu widzenia lokalizacji jest bardzo istotne.

Częstotliwości w zakresie 128 Hz – 1 kHz są określane jako niskie i bardzo niskie. Dla wartości do 1 kHz wymagany jest obwód o dobrej przewodności, a niskie częstotliwości nie przenoszą się łatwo do ziemi. Bardzo niskie częstotliwości słabo się indukują na podziemnych instalacjach.

Średnie częstotliwości określa się jako wartość ok. 8 kHz. Słabo lub średnio indukują one sygnały. Są mniej podatne na zakłócenia z otoczenia, w porównaniu do niższych wartości częstotliwości. Jeśli nie ma potrzeby śledzenia na dużych głębokościach i sam obwód ma wysoką przewodność to dobrym rozwiązaniem jest rozpoczęcie lokalizacji właśnie od częstotliwości 8 kHz.

Wysokie częstotliwości, szacowane na ok. 33 kHz mogą pobudzać elementy podziemnej infrastruktury, które nie są pobudzane przez niższe częstotliwości i w przeciwnym razie nie byłoby możliwe ich zlokalizowanie. Takimi elementami mogą być np. słabo uziemione odgałęzienia, króćce. Ten zakres częstotliwości może również pomóc w lokalizacji złączy rurowych z gumy, ponieważ może przenikać przez szczelinę i indukować sygnał po drugiej stronie przewodu. Wysokie częstotliwości mają dobre właściwości indukcyjne. Istotnym problemem jednak jest to, że mocno rozprasza się w otoczeniu przewodnika co znacznie ogranicza zasięg (głębokość) lokalizacji. Nie polecane jest również stosowanie wysokich częstotliwości w przypadku zagęszczonej infrastruktury, ze względu na możliwość indukowania sygnału na wielu elementach jednocześnie.

Bardzo wysokie częstotliwości – ok. 262 kHz są najczęściej wykorzystywane w obwodach o wysokiej rezystancji, których nie można zlokalizować przy użyciu niższych wartości. Przy takich częstotliwościach sygnały łatwo przenikają do ziemi, pobudzając wszystkie przewodniki w okolicy nadajnika co może utrudniać lokalizację. Łatwo się rozpraszają stąd ograniczony dystans wnikania.

Oprócz samych parametrów sygnału, ważną częścią obwodu lokalizacyjnego jest uziemienie [6]. Zazwyczaj korzysta się z sondy uziemiającej nadajnik. Istotne jest, aby była ona wbita głęboko w ziemię. Wilgotna ciężka gleba gliniasta jest wysoce przewodząca i zapewnia doskonałą drogę powrotną dla sygnału.

### Sygnały stosowane w lokalizacji

Wyróżnić można dwa typy sygnałów pochodzących z podziemnych instalacji, określa się je jako „pasywne” oraz „aktywne” [2, 7, 3, 8].

Sygnały pasywne to takie, które „naturalnie” występują w wielu obiektach. Przykładem mogą być linie elektroenergetyczne, które w warunkach normalnej pracy przesyłają prąd. Oprócz tego, ziemia jest pełna prądów powrotnych, które mają tendencję do przepływu wzdłuż tras o niższej rezystancji np. przez metalowe rury i osłony kabli. Innym przykładem są prądy o częstotliwości radiowej wynikające z przesyłu długich fal radiowych. Przenikają one przez ziemię i ponownie płyną wzdłuż zakopanych rur i kabli, zarówno tych pod napięciem, jak i bez napięcia.

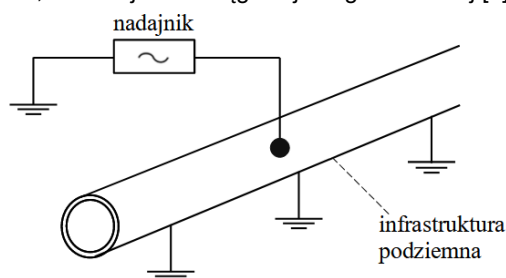
Sygnały pasywne umożliwiają lokalizację, ale niebezpośrednią identyfikację, ponieważ te same sygnały mogą pojawić się na innym obiekcie przewodzącym. Zaletą stosowania lokalizacji pasywnej jest to, że zakopane przewody mogą być wykryte przy użyciu prostych urządzeń lokalizacyjnych.

Lokalizacja przy użyciu sygnałów aktywnych wymaga od użytkownika celowego działania tzn. zaindukowania sygnału AC z nadajnika na lokalizowany element. Sygnały aktywne nie tylko umożliwiają lokalizację zakopanych linii, ale również ich identyfikację i śledzenie pomiędzy innymi obiektami podziemnej infrastruktury. Źródło sygnału jest pod kontrolą użytkownika i umożliwia precyzyjną pracę. Dokonać można pomiaru głębokości porównując różne sygnały nadawcze, a także dostosowując częstotliwość do danej sytuacji (jeżeli urządzenie na to pozwala).

Zastosowanie sygnału pasywnego wymaga tylko użycia odbiornika, który odbierze sygnał z podziemnego elementu. Można wyróżnić dwa sygnały pasywne używane w lokalizacji. Pierwszym z nich są częstotliwości elektryczne. Kabel przenoszący prąd AC wytwarza sygnał o częstotliwości 50/60 Hz wraz z harmonicznymi, zapewniając w ten sposób podstawę do lokalizacji w trybie tzw. „Power”. Należy zwrócić uwagę, że grunt jest pełen prądów o częstotliwościach zasilania przepływających pomiędzy kablami, a punktami uziemienia. Oznacza to, że te częstotliwości są obecne nie tylko na zakopanych kablach, ale również na znacznej części rur czy innych przewodach co uniemożliwia identyfikację elementu podziemnego. Drugim rodzajem sygnałów pasywnych stosowanych w lokalizacji są częstotliwości radiowe – tryb „Radio”. Fale radiowe długie (o bardzo niskiej częstotliwości) z nadajników są obecne w atmosferze, a ziemia stanowi drogę powrotną dla tego promieniowania. Główna trasa powrotna prowadzi przez podziemną metalową infrastrukturę, która jednocześnie działa jak dodatkowa antena, ponownie emitując te sygnały. Sygnały o częstotliwości radiowej umożliwiają lokalizowanie nieobciążonych kabli, symetrycznie obciążonych kabli wysokiego napięcia, a także kabli telekomunikacyjnych i metalowych rur. Natomiast nie mają możliwości ich identyfikacji.

Niestety w wielu przypadkach użycie samego odbiornika może nie wystarczyć, aby zlokalizować wszystkie występujące na danym obszarze sieci podziemne [8]. Wymaga to zastosowanie nadajnika generującego sygnał AC, a także odpowiedni sposób zadania tego sygnału do podziemnej instalacji. Wyróżnić można następujące sposoby: metoda galwaniczna (połączenie bezpośrednie), metoda indukcyjna oraz metoda cęgową.

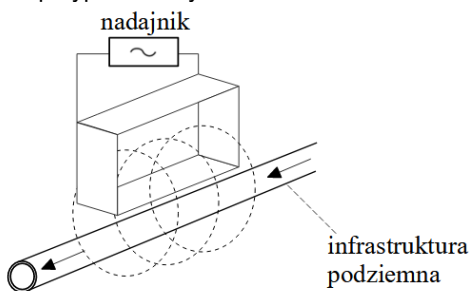
W metodzie galwanicznej napięcie AC z generatora sygnału podłącza się bezpośrednio do np. żył kabli teletechnicznych, elektroenergetycznych (bez napięcia), do hydrantu, instalacji wodociągowej lub gazowniczej [9].



Rys.1. Graficzne przedstawienie metody galwanicznej

W metodzie galwanicznej sygnał będzie wykrywalny na całej długości obiektu w zależności od rodzaju linii oraz warunków glebowych. Każde izolowane połączenie znacznie zmniejsza możliwości lokalizacyjne lub zakłóca sygnał. W przypadku, gdy pomiędzy wszystkimi liniami występuje ten sam punkt uziemiający, to może dochodzić do przenoszenia sygnału na te obiekty [2]. W tym trybie bardzo dokładnie można mierzyć głębokość instalacji [9].

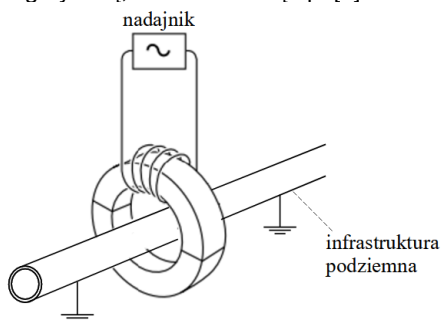
Najłatwiejszą metodą podania sygnału na linię jest zastosowanie indukcji. Wystarczy umieścić generator sygnału nad spodziewaną trasą przebiegu poszukiwanej sieci i odebrać nadany sygnał lokalizatorem [9, 10]. Cewka w nadajniku zasilanym napięciem AC wytwarza pole magnetyczne. Jeżeli element infrastruktury podziemnej ustawiony jest równoległe do cewki to będzie on połączony przez to pole i zostanie zaindukowane na nim napięcie. Jeżeli będzie inaczej np. w poprzek to nie zaindukuje się napięcie. Odpowiednie ustawienie cewki z docelowym obiektem jest zatem niezwykle ważne. Indukowany prąd sygnałowy będzie zależał od tego jak dobrze uziemiona jest linia, częstotliwości sygnału, jak również od obecności izolowanych połączeń rurowych. W przypadku metody indukcyjnej częstotliwość 8 kHz oraz wyższe wykazują dużą skuteczność. Im wyższa częstotliwość, tym łatwiej sygnał będzie sprzęgał również sąsiednie linie. W związku z tym, w przypadku metody indukcyjnej nie ma pewności co do identyfikacji konkretnej linii, a sam sygnał nie jest takiej mocy jak w przypadku innych metod.



Rys. 2 Graficzne przedstawienie metody indukcyjnej

Aby utworzyć obwód indukcyjny, sygnał musi być w stanie przemieszczać się w obu kierunkach. Dany element musi być zatem uziemiony na obu końcach. Z reguły linie, które tej ciągłości wymagają (np. linie elektryczne, telekomunikacyjne) są lepiej uziemione niż np. instalacje wodne czy gazowe [10]. Indukcja wymaga wyższych częstotliwości niż w przypadku metody galwanicznej, większość nadajników działa przy częstotliwościach 33 kHz lub wyższej.

Ostatnia z metod – cęgową polega na użyciu cęgi nadawczej. Można za jej pomocą nadać sygnał z generatora w sposób nieinwazyjny na pracującą linię elektroenergetyczną, teletechniczną itp. [9].



Rys. 3 Graficzne przedstawienie metody cęgowej

Umożliwia to precyzyjne trasowania i pomiar głębokości. Metoda ta jest często wykorzystywana w sytuacjach, w których metoda galwaniczna nie jest możliwa do zastosowania (np. w studniach/złączach kablowych, przy zejściu kabla ze słupa do ziemi itp.) [9]. Wykorzystywane są w przypadku tej techniki te same założenia co w przypadku metody indukcyjnej. Wyjście z nadajnika sygnału jest sprzężone z konkretną linią poprzez zaciśnięcie wokół niej dzielonego toroidalnego rdzenia magnetycznego, które zawiera uzwojenie pierwotne magnesujące rdzeń sygnałem

AC. Konkretny element staje się w takim przypadku uzwojeniem wtórnym i będzie przenosić sygnał pod warunkiem zapewnienia odpowiedniego uziemienia po obu stronach.

### Lokalizacja z wykorzystaniem metody CM (Current Measurement)

Większość lokalizatorów podaje jedynie moc sygnału, która może zależeć m.in. od takich czynników jak ustawienie odbiornika lub głębokości obiektu. Z tego powodu, mogą pojawiać się błędy np. przy założeniu, że linia, która daje najsilniejszą odpowiedź jest linią niosącą najsilniejszy sygnał. Z punktu widzenia poprawnej lokalizacji, jak wspomniano wcześniej ważne jest, aby uzyskać pewność co do identyfikacji podziemnej instalacji. Niektóre urządzenia wyposażone są w możliwość pomiaru prądu sygnałowego płynącego w badanym przewodzie. Natężenie tego prądu maleje wraz z odległością od generatora, a spadek tej wartości powinien być stały, bez nagłych zmian. Każda skokowa zmiana natężenia może świadczyć, że nastąpiła zmiana przewodu lub jego stanu technicznego. W sytuacji dużego zagęszczenia infrastruktury podziemnej, prawidłowa identyfikacja polega na potwierdzeniu, że poszukiwaną linią jest ta, w której pojawia się największe natężenie prądu [2,3].

### Lokalizacja z wykorzystaniem metody CD (Current Direction)

Lokalizatory elektromagnetyczne mogą być również wyposażone w funkcję rozpoznawania kierunku prądu sygnałowego wysyłanego z nadajnika. Stosuje się to w celu zwiększenia ilości informacji na temat podziemnej infrastruktury w trudnych lokalizacjach. Na wyświetlaczu odbiornika określany jest kierunek prądu podawanego na obiekt co pozwala na uzyskanie większej pewności co do identyfikacji i położenia właściwego przewodu [2, 3].

### Lokalizacja z wykorzystaniem taśm lokalizacyjnych

Podczas budowy nowych instalacji podziemnych stosowane są specjalne taśmy lokalizacyjne z odpowiedniej folii z wklejonym stalowym paskiem. Układa się je na przewodach niemetalowych np. kablach światłowodowych, rurociągach gazowych, wodociągach i kanalizacji. Co pewien odcinek, końcówkę taśmy doprowadza się do naziemnego słupka oznaczeniowo – pomiarowego. Takie ułożenie taśmy, w połączeniu ze słupkami naziemnymi umożliwia wykorzystanie lokalizatorów elektromagnetycznych. Taśmy różnią się kolorami, w zależności od rodzaju infrastruktury [3].

### Lokalizacja z wykorzystaniem znaczników elektromagnetycznych

Znaczniki elektromagnetyczne, nazywane znacznikami EMS oraz EMS-id służą do oznakowania ważnych miejsc i punktów podziemnych sieci. Dotyczy to takich punktów jak: miejsca kolizji z innymi instalacjami podziemnymi, rozgałęzienia i skrzyżowania przewodów, punkty konserwacyjne, studzienki, zawory, złącza czy też przejścia przewodów pod drogami. Oznakowanie znacznikami dotyczy głównie elementów niemetalowych, zakopywane są w ziemi nad elementem i mogą być w łatwy sposób identyfikowane za pomocą lokalizatorów. Znaczniki EMS w połączeniu z taśmami lokalizacyjnymi stanowią podstawę do skutecznej lokalizacji i identyfikacji poszczególnych punktów instalacji podziemnej [3].

### Śledzenie niemetalicznych rur

Wszystkie powyższe metody polegały na wykrywaniu prądu płynącego przez element przewodzący. W przypadku plastikowych lub betonowych rur czy kanałów, stosowane są przewody śledzące lub znaczniki. Innym sposobem może być wprowadzenie do takiego elementu infrastruktury

sondy nadawczej, której sygnał może być odebrany przez lokalizator elektromagnetyczny. Sonda zbudowana jest z ferromagnetycznego pręta, który otoczony jest cewką. Zasilana jest bateryjnie przez oscylator z dobraną częstotliwością, która może być dobrana w taki sposób, aby pasowała do lokalizatora. Istnieją różnice w charakterystyce pola magnetycznego, które wytwarzane jest przez sondę, w porównaniu z polem wytwarzanym przez prąd płynący na odcinku linii. Odległość, na której można wykryć sondę jest funkcją jej mocy, która jest związana ściśle z jej rozmiarem [2, 3].

### Magnetometri

Do aktywnych metod lokalizacji można również uwzględnić urządzenia bazujące na technikach geomagnetycznych [12]. Istnienie naturalnego ziemskiego pola magnetycznego (30 – 60  $\mu\text{T}$ ) doprowadziło do znacznego rozwoju tych metod [11]. Oprócz naturalnie występujących pól magnetycznych, mogą być one również generowane przez przepływ prądu elektrycznego. Jest to podstawa, dzięki której można wykryć zakopane kable elektryczne wysokiego napięcia. W idealnych warunkach zadaniem jest powiązanie prądu płynącego w żyłach kabla z wynikowym polem magnetycznym. Jednak w praktyce obecność nieznanymi prądów w innych elementach (prądy indukowane w powłokach kabli i prądy w przewodach uziemiających lub neutralnych) daje bardziej złożony rozkład pola magnetycznego.

W przypadku braku przepływu prądu obciążeniowego, zakopane metalowe obiekty mogą być nadal wykrywane pod warunkiem, że wykorzystane zostanie aktywne źródło pola magnetycznego do indukowania prądów wirujących, które z kolei wygenerują wykrywalne wtórne pole magnetyczne. Modelowanie profili pola magnetycznego wytwarzanych przez kable zasilające i sąsiednie materiały ferromagnetyczne (takich jak rury żelazne) jest bardzo złożone, a interpretacja praktycznych pomiarów jest trudna nawet dla prostych konfiguracji geometrycznych.

Magnetometri nazywane również lokalizatorami obiektów bryłowych służą do wykrywania podziemnych bryłowych elementów sieci uzbrojenia terenu takich jak: pokrywy, zasowy, skrzynki, włazy, zbiorniki i inne obiekty ferromagnetyczne [3,11]. Większość produkowanych magnetometrów nie jest jednak dostosowanych do wyznaczania położenia obiektów liniowych takich jak np. przewody. Działanie magnetometru polega na reakcji urządzenia na lokalną zmianę ziemskiego pola magnetycznego w miarę zbliżania części czujnikowej magnetometru do ferromagnetycznego przedmiotu. Zmiana ta odzwierciedla się w postaci wzrostu częstotliwości sygnału akustycznego, którego maksymalna wartość będzie wykazywana najbliższej wykrywanego obiektu [3]. Można wyróżnić następujące typy magnetometrów: z bramką strumieniową, z procesją fotonów, par alkaicznych czy SQUID (ang. superconducting quantum interference device).

### Podsumowanie

Jedną z metod określenia obecności czy też identyfikacji instalacji podziemnych są techniki elektryczne/elektromagnetyczne. Metody te są stosunkowo proste, a koszty urządzeń i części składowych wykorzystywanych są niskie. Za pomocą metod elektrycznych/elektromagnetycznych można dokonywać prostego przeszukiwania obszaru np. w celu określenia czy występują jakieś elementy instalacji podziemnej lub przy użyciu odpowiednich generatorów sygnałów – lokalizować konkretne elementy instalacji podziemnych.

Na proces lokalizacyjny wpływ ma wiele czynników. Pierwszym z nich jest wybór odpowiedniego urządzenia, a także odpowiednie przygotowanie do obsługi urządzenia.

Na przebieg i skuteczność lokalizacji mają wpływ też takie czynniki jak rodzaj gruntu, skuteczność połączenia z badanym obiektem czy wybrana częstotliwość. Ogólną zasadą jest, aby wybierać najniższą możliwą częstotliwość, która wygeneruje możliwy do śledzenia sygnał.

Nie ma obecnie metody, która w 100% podawałaby dokładną lokalizację i rodzaj elementu, który znajduje się pod ziemią. Metody pasywne bardziej sprawdzają się w prostych zastosowaniach np. przeszukiwaniu danego obszaru przed wykopami lub znajdowaniu pojedynczych kabli np. na otwartych terenach. W przypadku lokalizacji miejskich, metody pasywne mogą nie dać odpowiednich rezultatów, ze względu na dużą ilość obiektów.

W metodach aktywnych po wymuszeniu sygnału w konkretnym obiekcie podziemnym, występuje możliwość dokładnego określenia trasy danego elementu. W przypadku obszarów z dużym zagęszczeniem sieci przewodów ważne jest nie tylko określenie położenia i głębokości przewodów, ale też uzyskanie pewności co do identyfikacji elementu i jego stanu technicznego. Niektóre urządzenia, mogą być dodatkowo dostosowane do pomiaru prądu sygnałowego płynącego w badanym przewodzie (metoda CM) i rozpoznawania kierunku prądu sygnałowego (metoda CD), które w dużym stopniu zwiększają możliwości identyfikacji.

Metody geomagnetyczne stosowane są w wielu różnych aplikacjach i polegają na wykrywaniu zmian w polu magnetycznym. Dzięki niej można wykrywać zakopane kable wysokiego napięcia jak również inne elementy ferromagnetyczne. Jednakże większość produkowanych magnetometrów nie jest dostosowanych do wyznaczania położenia obiektów liniowych takich jak np. przewody i kable.

**Autorzy:** mgr inż. Michał Piekarz, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: [michal.piekarz@pw.edu.pl](mailto:michal.piekarz@pw.edu.pl). mgr inż. Mateusz Polewaczyk Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: [mateusz.polewaczyk@pw.edu.pl](mailto:mateusz.polewaczyk@pw.edu.pl).

### LITERATURA

- [1] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. - Prawo energetyczne
- [2] Radiodetection, "The theory of buried cable and pipe location," 2017.
- [3] M. Sołtys, "Metody wyznaczania położenia przewodów podziemnych z wykorzystaniem elektromagnetycznych lokalizatorów i magnetometrów," Acta Scientifica Academiae Ostroviensis, pp. 83–98, 2006.
- [4] Ridge Tool Company, "Making Locating Easier and More Accurate - Circuits." [Online]. Available: [www.seektech.com](http://www.seektech.com)
- [5] Ridge Tool Company, "Making Locating Easier and More Accurate - Frequencies." [Online]. Available: [www.seektech.com](http://www.seektech.com)
- [6] Ridge Tool Company, "Making Locating Easier and More Accurate - Grounding." [Online]. Available: [www.seektech.com](http://www.seektech.com)
- [7] "Underground Cable Location: Basic Techniques" Accessed: Feb. 22, 2024. [Online]. Available: [https://kephv.com/img/publications/files/underground-cable-location\\_basic-techniques.pdf](https://kephv.com/img/publications/files/underground-cable-location_basic-techniques.pdf)
- [8] J. A. Mitchell, Introduction to locating buried utilities. 2009.
- [9] "Lokalizacja uzbrojenia podziemnego | Megger." Accessed: Feb. 22, 2024. [Online]. Available: <https://pl.megger.com/firma/artykuly/lokalizacja-uzbrojenia-podziemnego-jak-uniknac-kolizji>
- [10] Ridge Tool Company, "Making locating Easier and More Accurate - Induction." [Online]. Available: [www.seektech.com](http://www.seektech.com)
- [11] N. Metje et al., "Mapping the Underworld - State-of-the-art review," Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 22, no. 5–6, pp. 568–586, Sep. 2007, doi: 10.1016/j.tust.2007.04.002.
- [12] F. Welc, "Porównać Nieporównywalne", ACADEMIA. Magazyn Polskiej Akademii Nauk, vol. 3 (71), pp. 36-40, 2022, doi: 10.24425/academiaPAN.2022.143465