

# Systemy sterowania i kontroli w technologiach bezwykopowych

tekst: **ANGELIKA DRUZGAŁA**, studia doktoranckie, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu

Do poszczególnych metod bezwykopowego budowania sieci podziemnych przypisany jest konkretny system sterowania i kontroli parametrów przebiegu osi otworu. Od zastosowanego systemu zależy dokładność danych, do których zalicza się m.in. wartość odchylenia spadku i odchylenia w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji.

Wyróżniamy pięć podstawowych systemów sterowania i kontroli: radiolokacji, magnetyczny i elektromagnetyczny, teleopcyjny, laserowy, żyrokompasowy.

## 1. Wybrane rodzaje systemów

### 1.1. System radiolokacji

System radiolokacji (ryc. 1) jest wykorzystywany w technologii przecisków pneumatycznych oraz w metodzie horyzontalnych przewiertów kierunkowych. Należy do łatwych w użyciu, lecz posiada wadę, jaką jest błąd w wynikach pomiarów.

W skład tego systemu wchodzi: sonda, przenośny lokalizator, monitor dla operatora wiertnicy (urządzenia). Sonda znajdująca się bezpośrednio za głowicą pilotażową emituje sygnał radiowy, który jest odbierany na powierzchni terenu przez lokalizator znajdujący się nad nadajnikiem. Lokalizator rejestruje informacje dotyczące głębokości, na jakiej znajduje się przebijać, jak również informacje o pochyleniu i obrocie głowicy. Dane te są wyświetlane na monitorze, a następnie przekazywane do stanowiska operatora wiertnicy.

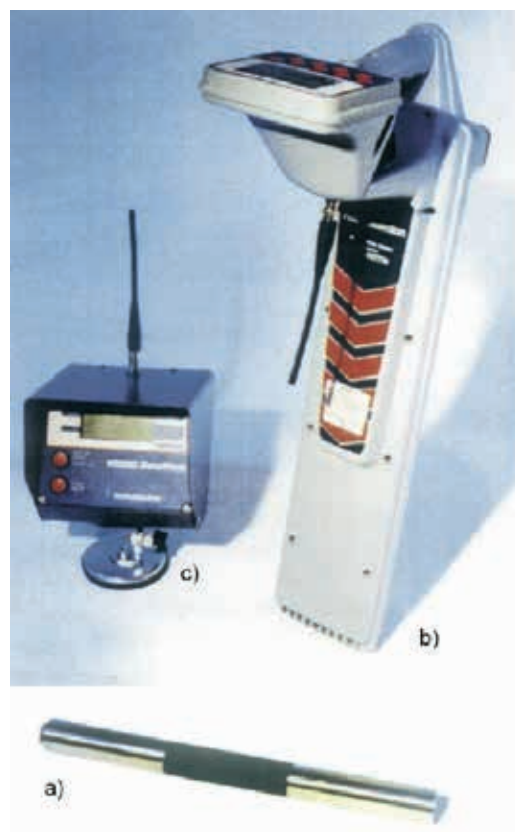
Sterowanie przebijać odbywa się za pomocą nastawnej głowicy i węża sterującego, który pełni również funkcję przewodu zasilającego. Na przewodzie zasilającym zainstalowany jest ręczny napinacz do sterowania głowicą. Gdy głowica ustawiona jest współosiowo do korpusu, to trajektoria przecisku jest prostoliniowa. Natomiast przy napięciu przewodu istnieje możliwość zmiany ustawienia głowicy, przekręcenia korpusu o 180° w prawą stronę, co powoduje zmianę trajektorii wykonywanego otworu. Chcąc wrócić do współosiowego ustawienia głowicy i korpusu, należy obrócić korpus w lewą stronę (również o 180°). Dzięki manewrowaniu głowicą urządzenie posiada możliwość skrętu czoła przewodu, gdzie minimalny promień wynosi 30 m.

W technologii przewiertu sterowanego sterowanie procesem wbudowywania rurociągu jest możliwe tylko w czasie wiercenia otworu pilotażowego. Do najważniejszych elementów systemu sterowania zaliczana jest głowica pilotażowa, która jest ścięta skośnie. W przypadku gdy dochodzi do jednoczesnego wciskania i obracania przewodu wiertniczego wraz z głowicą pilotażową, uzyskuje się prostoliniową trajektorię otworu pilotażowego. Natomiast gdy przewód zostaje wciśnięty w grunt bez obrotu, wówczas trajektoria otworu odchyła się w kierunku ścięcia głowicy pilotażowej i otrzymuje się trajektorię krzywoliniową.

Systemy radiolokacji rozwinęły się, przełamując kolejne ograniczenia techniczne. Najnowsze lokalizatory mogą odebrać sygnał nadajnika i przetwarzać informacje bez potrzeby usytuowania ich bezpośrednio nad nadajnikiem. W przypadku przekraczania naturalnych przeszkód, takich jak rzeki lub inne niedostępne tereny, np. węzły komunikacyjne (węzły kolejowe, autostrady, lotniska), nowe rozwiązania technologiczne pozwalają na zwiększenie zakresu odbioru sygnału. Niestety, wyniki uzyskane tą metodą posiadają zwiększone ryzyko błędów w trakcie odczytu [2].

### 1.2. System magnetyczny i elektromagnetyczny

Do kontroli parametrów wykonywanego otworu pilotażowego w horyzontalnych przewiertach sterowanych stosuje się



Ryc. 1. Zestaw systemu radiolokacji do lokalizacji głowicy pilotażowej: a) sonda, b) przenośny lokalizator, c) monitor dla operatora wiertnicy [2]

również system magnetyczny i elektromagnetyczny. Systemy elektromagnetyczne są używane w sytuacjach znacznych zakłóceń naturalnego pola magnetycznego.

Podstawą działania systemu magnetycznego jest wykorzystanie pola magnetycznego Ziemi. W skład tego systemu wchodzi: sonda, konsola wiertacza, komputer, drukarka, przewody łączące wymienione elementy.

Za orientację sondy pomiarowej pod powierzchnią ziemi odpowiada układ czujników magnetycznych i grawitacyjnych (żyroskopowych) wbudowanych w sondę pomiarową. Sonda znajduje się bezpośrednio za głowicą pilotażową, na początku przewodu wiertniczego, a tym samym jak najbliższym narzędziem wiertaczącego. Wszystkie dane, do których należą m.in. azymut, odległość, odchylenie od projektowanej osi przewiertu, jak również głębokość, wyświetlane są na ekranie komputera i konsoli znajdujących się w kabinie wiertacza.

System elektromagnetyczny stosuje się w celu korygowania wskazań systemu magnetycznego. Zasadą działania takiego systemu jest lokalizowanie sondy w polu magnetycznym, wytworzonym przez przepływ prądu stałego, w odpowiednio ułożonej na powierzchni terenu i umiejscowionej względem osi przewiertu pętli z przewodu elektrycznego.

Przy zastosowaniu technologii bezwykopowego budowania – przewiertu sterowanego – rzadziej spotykane są systemy tzw. MWD oraz powszechnie już stosowane EMWD w wierceniach naftowych. Rozwiązania te, podobnie jak systemy magnetyczne i elektromagnetyczne, zakładają użycie sondy z wbudowanymi czujnikami pola grawitacyjnego i magnetycznego. Istotną różnicą jest sposób przesyłu uzyskanych wyników pomiarów. Dla metod MWD oraz EMWD zastosowano transmisję danych opartą na wykorzystaniu stałej obecności płuczki w otworze pilotażowym, dane przesyła się, wykorzystując wytwarzane przez urządzenia hydrauliczne (pulsator) różnice ciśnienia, które odbiera i przetwarza przystosowany w tym celu czujnik znajdujący się na powierzchni [6].

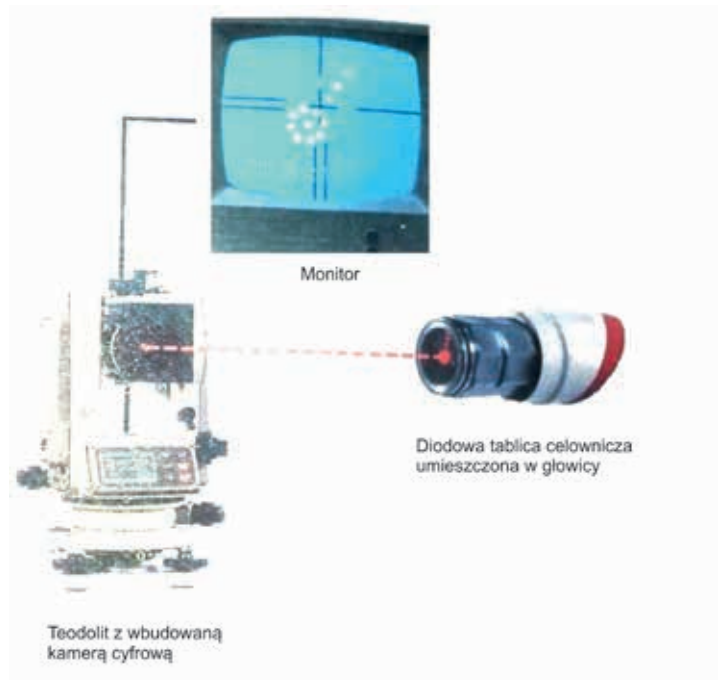
### 1.3. System teleoptyczny

Systemem sterowania stosowanym w technologii przecisku hydraulicznego z wierczeniem pilotażowym oraz przecisku hydraulicznego dwuetapowego jest system teleoptyczny (ryc. 2). System ten składa się z głowicy pilotażowej, diodowej tablicy celowniczej, teodolitu z kamerą cyfrową, monitora, pulpitu z dźwigniami sterującymi.

Sterowanie dla przecisku hydraulicznego z wierczeniem pilotażowym jest podobne, jak w omówionym na początku systemie radiolokacji. Za głowicą znajduje się diodowa tablica, która wskazuje kierunek ścieżki głowicy, natomiast w wykopie początkowym umieszczony jest teodolit z kamerą cyfrową, pulpit z dźwigniami sterującymi i monitor. Teodolit zostaje ustawiony w taki sposób, aby jego luneta wskazywała projektowany spadek i kierunek. Teodolit jest połączony z kamerą, która rejestruje przez puste w środku rury (przewód wiertniczy) obraz diodowej tablicy celowniczej. Wspomniany obraz jest przesłany na monitor operatora wiertnicy.

W przecisku hydraulicznym sterowanym dwuetapowo nie występuje wiercenie pilotażowe, dlatego też system stosuje się na etapie rozwiercania. Rozwiercanie wykonuje się za pomocą wiertła ślimakowego. Sterowanie w porównaniu z poprzednią metodą różni się tym, że diodowa tablica celownicza znajduje się bezpośrednio za wiertłem ślimakowym.

System przenośników ślimakowych posiada tuleję, która wewnątrz jest pusta. Dzięki temu możliwe jest obserwowanie na monitorze obrazu diodowej tablicy przekazanego przez teodolit z kamerą cyfrową [4].



Ryc. 2. Elementy teleoptycznego systemu sterowania i kontroli [2]

### 1.4. Systemem laserowy

W technologii mikrotunelowania proces robót wiertniczych jest sterowany i kontrolowany ze stanowiska operatora, natomiast wykorzystywanym sposobem transmisji danych opisujących trajektorię otworu jest system laserowy (ryc. 3).

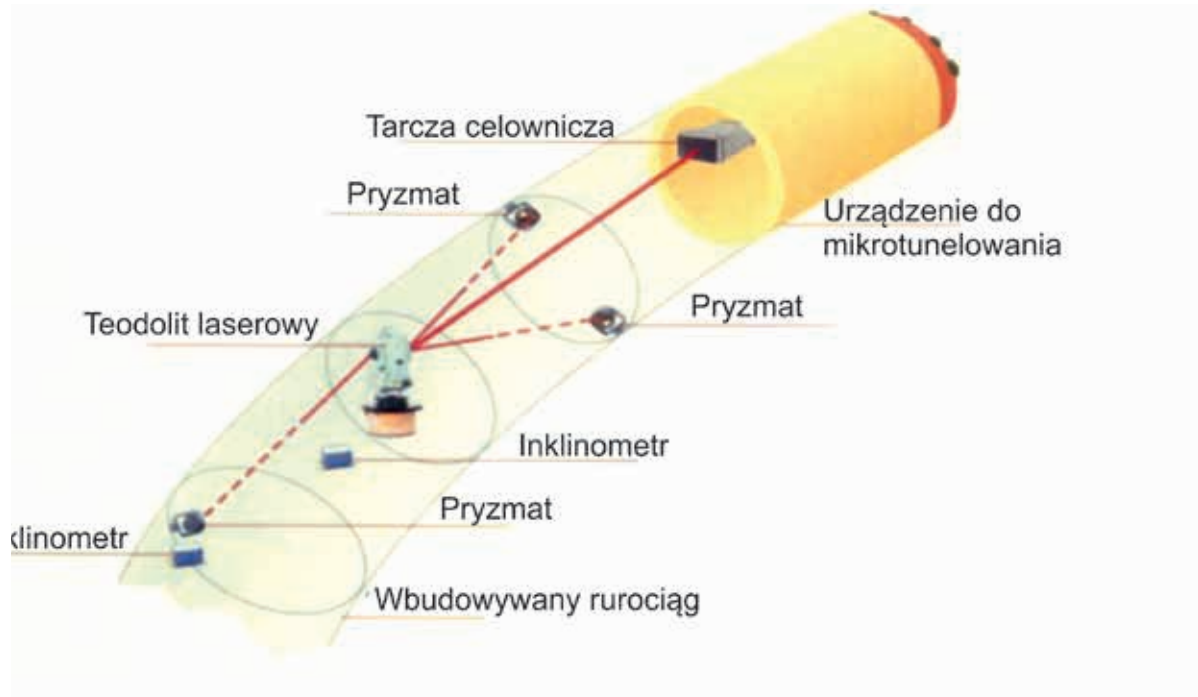
Głównym elementem sterowania takiego systemu są siłowniki hydrauliczne, które znajdują się w urządzeniu do mikrotunelowania i służą do sterowania nim. Siłowniki poruszają się ruchem posuwisto-zwrotnym, prostopadle do osi otworu. Dzieje się tak za sprawą ciśnienia oleju hydraulicznego tłoczonego przez pompę, który działa na siłowniki. W ten sposób możliwe jest dokonanie zmiany kierunku w budowywanego rurociągu (mikrotunelu) [2, 6].

Do precyzyjnej kontroli ustawienia osi tunelu służą urządzenia składające się z umieszczonego w szybie startowym lasera oraz elektronicznej tarczy zamocowanej na głowicy wiertącej.

Promień lasera przechodzi przez całą długość rurociągu i pada na tarczę. Następnie obraz z tarczy przekazywany jest na monitor operatora systemu za pomocą kamery telewizyjnej, umiejscowionej za głowicą. Umożliwia to ewentualną korektę trasy tunelu przez zmianę kąta nachylenia ruchomej części głowicy wiertniczej. Po przetworzeniu można uzyskać takie dane, jak przebieg osi w budowywanego rurociągu i intensywność zmiany jej trajektorii (spadek).

Zaletą tego systemu jest najwyższa dokładność w budowania rurociągu, a co za tym idzie, najmniejsze wartości odchylenia zarówno spadku, jak i osi w planie pomiędzy rurociągiem w budowanym a projektowanym.

Za sprawą systemu laserowego możliwe jest w budowanie rurociągu, którego trasa przebiega po łuku. Wówczas



Ryc. 3. Sterowanie procesem mikrotunelowania po łuku [2]

stacja lasera przemieszcza się wzdłuż punktów odniesienia, lokalizowanych w obrębie wbudowanego rurociągu. System zbiera dane odniesienia, porównuje je z punktem odniesienia w tunelu i wyznacza nowy punkt odniesienia oraz punkt kierunkowy. Uzyskane wartości są porównywane ze sobą. Jeśli występują większe rozbieżności, rzeczywiste położenie osi rurociągu jest wprowadzane do komputera, a dalszy tor przecisku jest oparty na nowym punkcie odniesienia [2, 6].

**1.5. System żyrokompasowy w mikrotunelowaniu**

System ten stosowany jest od niedawna w tunelowaniu i mikrotunelowaniu. Wdrażany jest również dla metod przewiertów sterowanych (HDD) jako kombinacja systemu żyroskopowego i magnetycznego.

Zasadniczym elementem sterowania w systemie żyrokompasowym jest zespół siłowników hydraulicznych (co najmniej trzy siłowniki), umieszczonych obwodowo w głowicy mikrotunelowej, bezpośrednio za pierwszym modułem. Podstawowymi elementami systemu kontroli wbudowania rurociągu są żyrokompas i poziomica wodna.

Żyrokompas znajduje się w urządzeniu wykorzystywanym przy tunelowaniu i mikrotunelowaniu. Jego zadaniem jest kontrolowanie odchylenia osi wbudowanego rurociągu w planie od projektowanego, jak również mierzenie kąta między osią wbudowanego rurociągu a kierunkiem północnym. Należy wziąć pod uwagę fakt, że pomiary kontrolne wykonuje się regularnie przez określony czas tylko wtedy, gdy urządzenie nie jest wykorzystywane, czyli znajduje się w spoczynku. Drugim elementem jest poziomica wodna, która ma na celu kontrolowanie odchylenia rzędnych w profilu otworu [2].

**2. Podsumowanie i wnioski**

Systemy sterowania i kontroli trajektorii otworów wykonywanych w technologiach bezwykopowych różnią się między sobą ze względu na położenie narzędzia wiertącego (głowicy urabiającej), sposób transmisji i wizualizację danych. W tabeli 1 przedstawiono poszczególne typy systemów kontroli

parametrów przebiegu osi otworu, przyporządkowując je do poszczególnych technik, w których są często stosowane.

Tab. 1. Rodzaje systemów dla poszczególnych metod bezwykopowych

Rodzaje technologii bezwykopowej budowy	Systemy sterowania
Przeciski przebijaćkami, horyzontalne przewiertki sterowane	System radiolokacji
Horyzontalne przewiertki sterowane	System magnetyczny i elektromagnetyczny
Przeciski hydrauliczne	System teleoptyczny
Przeciski hydrauliczne, mikrotunelowanie	System laserowy
Mikrotunelowanie	System żyrokompasowy

**Literatura**

[1] Druzgała A.: *Nowe rozwiązania techniczno-technologiczne stosowane przy budowie podziemnych instalacji gazowych z wykorzystaniem technologii bezwykopowych*, mps, 2013.  
 [2] *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska*. Red. A. Kuliczkowski. Warszawa 2010.  
 [3] Madryas C.: *Mikrotunelowanie*. Wrocław 2006.  
 [4] Sosiński P.: *Technologie bezwykopowej budowy sieci podziemnych*. Krosno 2012  
 [5] Wiśniowski R., Ziaja J.: *Technologie wykonywania horyzontalnych przewiertów sterowanych*. „Wiertnictwo, Nafta, Gaz” 2004, nr 1.  
 [6] Zwierzchowska A.: *Systemy sterowania i kontroli wykorzystywane w metodach bezwykopowej budowy sieci podziemnych*. „Inżynieria Bezwykopowa” 2004, nr 1.

Praca została zrealizowana w ramach badań statutowych prowadzonych w Katedrze Wiertnictwa i Geoinżynierii AGH.

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW.