

Rafał Wiśniowski*, Jan Ziaja*

PROJEKTOWANIE WIELKOGABARYTOWYCH HORYZONTALNYCH PRZEWIERTÓW STEROWANYCH**

1. CHARAKTERYSTYKA TECHNIKI I TECHNOLOGII WYKONYWANIA STEROWANYCH PRZEWIERTÓW HORYZONTALNYCH

Proces wykonywania sterowanego przewiertu horyzontalnego składa się z następujących etapów technologicznych:

1. wiercenie otworu pilotowego,
2. rozwiercanie powrotne (jedno- lub wielokrotne),
3. instalacja rurociągu.

Wiercenie otworu pilotowego jest najistotniejszą fazą wykonywania otworu. Otwór pilotowy wykonuje się według założonego projektu przebiegu trajektorii. Jako narzędzie urabiające w gruntach i skałach słabozwężłych stosuje się asymetryczny świder hydromonitorowy. Postęp wiercenia realizowany jest poprzez hydrauliczno-mechaniczne urabianie skały.

W skałach zwięzłych stosuje się zestawy odchylające składające się z:

- w głębnego silnika hydraulicznego,
- krzywego łącznika,
- świdra skrawającego, gryzowego lub diamentowego.

Sterowanie trajektorią osi wierconego otworu polega na ciągłym lub okresowym pomiarze i weryfikacji położenia sondy znajdującej się w antymagnetycznym łączniku, umieszczonym bezpośrednio za narzędziem wierzącym. W tym celu stosuje się napowierzchniowe radiometryczne względnie podpowierzchniowe kablowe lub bezkablone telemetryczne systemy nawigacji. Korektę kierunku wiercenia uzyskuje się poprzez obrót żerdzi wiertniczych o kąt odpowiadający oczekiwanej zmianie.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca zrealizowana w ramach badań statutowych WWiG AGH

W celu uzyskania przewidywanej końcowej średnicy, otwór wiertniczy jest poszerzany jedno- lub wielokrotnie. Po wykonaniu otworu pilotowego, w miejsce narzędzia wierzącego do znajdujących się w otworze wiertniczym żerdzi płuczkowych montuje się poszerzacz skrawający lub gryzowy. Wciągając następnie poszerzacz do otworu pilotowego, powiększa się średnicę istniejącego otworu wiertniczego. W trakcie procesu poszerzania otworu za rozwiertakiem sukcesywnie dokręcane są rury płuczkowe, aby umożliwić przeprowadzenie kolejnych etapów poszerzania lub wciągnięcie rury osłonowej.

Ostatnim etapem wykonania sterowanego przewiertu horyzontalnego jest wciągnięcie rury osłonowej. W tym celu do znajdującego się w otworze przewodu wiertniczego dokręca się poszerzacz, łącznik obrotowy oraz głowicę wciągającą z wciąganą rurą. Zadaniem łącznika obrotowego (krętlika) jest zapobieganie przenoszenia obrotów i momentu obrotowego z żerdzi płuczkowych na wciąganą rurę osłonową.

Z wykorzystaniem technologii horyzontalnego przewiertu sterowanego realizuje się projekty w zakresie wierceń mało-, normalno- i wielkośrednicowych. W wiertnictwie, jako małośrednicowe rozumieć należy otwory o końcowej średnicy nieprzekraczającej 100 mm. Otwory normalnośrednicowe to otwory o średnicy większej niż 100 mm i mniejszej niż 500 mm. Otwory o średnicy powyżej 500 mm klasyfikuje się jako otwory wielkośrednicowe.

Przy wykonywaniu horyzontalnych przewiertów sterowanych, klasyczny podział odnoszony do średnicy otworu nie zawsze powinien być uznawany za kryterium odniesienia. Przy mniejszych średnicach ale dużych długościach przewiertu horyzontalnego wykonywanego w skomplikowanych warunkach geologicznych i hydrogeologicznych, występować mogą większe problemy techniczno-technologiczne oraz logistyczne niż w krótkich otworach nawet o bardzo dużych średnicach. Proponuje się więc wyróżniać przewiertu mało-, normalno- i wielkogabarytowe. Zdaniem autorów niniejszego artykułu kryterium podziału powinna więc być alternatywnie: wielkość sił, momentów sił, mocy urządzeń wiertniczych lub ich podzespołów, niezbędnych do wykonania przewiertu.

Tabela 1
Podział urządzeń HDD

Kategoria urządzenia	Rodzaj urządzenia	Siła ciągu /pchania [kN]	Moment obrotowy [Nm]	Moc urządzenia [kW]	Maks. strumień objętości tłoczenia pompy płuczkowej [l/min]	Rodzaj przewiertu horyzontalnego
1.	bardzo małe	< 100	< 2500	< 75	100	małogabarytowy
2.	małe	100÷250	< 2500÷15000	75÷150	500	średniogabarytowy
3.	średnie	250÷500	15000÷25000	150÷300	1000	
4.	duże	500÷1000	25000÷50000	300÷600	1500	wielkogabarytowy
5.	bardzo duże	> 1000	> 50000	> 600	> 1500	

Przyjmując proponowaną przez autorów w tabeli 1 kategoryzację urządzeń HDD (*Horizontal Directional Drilling*), do małogabarytowych przewiertów sterowanych proponujemy zaliczać otwory, których wykonanie będzie wymagało zastosowania urządzeń maksymalnie 1. kategorii. Przewierty normalnogabarytowe to otwory wykonywane urządzeniami 2. lub 3. kategorii. Za wielkogabarytowe przewierty sterowane sugerujemy uważać otwory, do których odwiercenia i instalacji rury osłonowej niezbędne będzie zastosowanie urządzeń kategorii 4. lub 5.

2. WIELKOGABARYTOWY HORYZONTALNY PRZEWIERT STEROWANY JAKO PROCES INWESTYCYJNY

Przy projektach mało- i normalnogabarytowych, metodyki projektowania i wykonywania przewiertów są powszechnie znane i akceptowane. Projekty wielkogabarytowe należy traktować jako duże procesy inwestycyjne, dla których istnieje konieczność opracowania nowych standardów.

W przypadku przewiertów mało- i normalnogabarytowych, proces inwestycyjny rozpoczyna się od opracowania wytycznych do Założeń Techniczno-Ekonomicznych (ZTE), przygotowywanych przez inwestora i zawierających: charakterystykę procesu technologicznego, wskazania lokalizacyjne, wstępne dane o inwestycjach towarzyszących, porealizacyjne wskaźniki techniczno-ekonomiczne itp. Na podstawie opracowania ZTE, w którym szczegółowo przeanalizowana jest możliwość realizacji wybranego przez inwestora rozwiązania, sporządza się projekt prac i po jego zatwierdzeniu przystępuje się do realizacji.

Proces wykonywania wielkogabarytowego przewiertu sterowanego powinien być realizowany zgodnie ze standardem UNIDO (United Nations Industrial Development Organization), a więc obejmować trzy główne fazy:

- 1) przedinwestycyjną,
- 2) inwestycyjną,
- 3) operacyjną.

W cyklu tym powinna być ujęta całość przedsięwzięcia: od pomysłu do eksploatacji wytworzonego obiektu.

Faza przedinwestycyjna wielkogabarytowego projektu HDD zawierać powinna:

- identyfikację możliwości inwestycyjnych,
- analizę wariantów i wstępną ich selekcję,
- sformułowanie projektu w studium przedrealizacyjnym (pre-feasibility),
- ukształtowanie ostatecznej wersji projektu (studium feasibility),
- ocenę projektu wraz z podjęciem decyzji inwestycyjnych.

Faza inwestycyjna, czyli proces realizacji projektu, składać się powinna z szeregu działań konsultingowych i inżynierskich, które głównie dotyczą zarządzania projektem. Może ona być podzielona na następujące etapy:

1. stworzenie prawnej, finansowej i organizacyjnej bazy dla realizacji projektu;
2. nabycie i transfer technologii oraz podstawowe projektowanie techniczne;
3. szczegółowe projektowanie techniczne i kontraktacja (przetargi, negocjacje, ocena ofert);
4. nabycie lub dzierżawa terenu;

5. prace budowlane i instalacyjne;
6. marketing przedprodukcyjny;
7. rekrutacja i szkolenie pracowników;
8. odbiór wykonanego obiektu i jego rozruch.

Faza operacyjna obejmuje eksploatację odebranego obiektu technicznego.

Proponowana przez autorów artykułu metodyka obejmuje dwie pierwsze fazy procesu inwestycyjnego, tworząc spójny, zintegrowany system planowania, organizowania, kierowania i kontrolowania procesu wykonywania wielkośrednicowego przewiertu sterowanego.

Prace projektowe i wykonawcze realizowane są z uwzględnieniem następujących trzech kryteriów:

- 1) maksymalizacji bezpieczeństwa wykonywanych prac,
- 2) minimalizacji kosztów,
- 3) ograniczenia negatywnego oddziaływania na otoczenie.

3. WYTYCZNE DO PROJEKTOWANIA I WYKONYWANIA WIELKOGABARYTOWEGO HORYZONTALNEGO PRZEWIERTU STEROWANEGO

Podczas wykonywania wielkogabarytowych przewiertów sterowanych występują większe problemy techniczno-technologiczne oraz logistyczne niż w przewiertach mało- i normalnogabarytowych. W związku z powyższym w Zakładzie Wiertnictwa i Geoinżynierii Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH opracowano niezbędne zalecenia, jakie powinno się uwzględniać zarówno w fazie projektowej, jaki i wykonawczej.

Prawidłowo przygotowany projekt wielkogabarytowego przewiertu horyzontalnego po ustaleniu parametrów instalowanego rurociągu (rodzaj materiału, średnica zewnętrzna, średnica wewnętrzna, przewidywany zakres, długość instalacji) oraz po przeprowadzeniu analizy warunków geologicznych, hydrogeologicznych, morfologicznych, obecności i rodzaju istniejącej na trasie planowanego przewiertu infrastruktury technicznej (na- i podpowierzchniowej), powinien obejmować następujące zagadnienia:

- profil wierconego otworu, liczbę etapów poszerzania, dopuszczalną dokładność wykonania podziemnej instalacji;
- dobór narzędzi wierzących, narzędzi do poszerzania i instalacji rurociągu, konfigurację przewodu wiertniczego oraz dobór systemów pomiarowych;
- analizę sił i momentów sił niezbędnych do wykonania horyzontalnego przewiertu sterowanego i instalacji rury osłonowej;
- dobór urządzenia wiertniczego;
- technologię płynów wiertniczych (dobór receptur płynów wiertniczych, a w tym skład mineralogiczno-chemiczny, właściwości fizyczne i parametry reologiczne);
- technologię wiercenia i instalacji rury osłonowej (dobór i optymalizacja mechanicznych i hydraulicznych parametrów technologii wiercenia).

O ile w przewiertach mało- i średniogabarytowych również uwzględnia się wyżej wymienione zagadnienia, to przy przewiertach wielkogabarytowych niezbędna okazała się modyfikacja istniejących procedur i opracowanie nowych.

3.1. Profil wierconego otworu, liczba etapów poszerzania, dopuszczalna dokładność wykonania podziemnej instalacji

Podejmując decyzję dotyczącą lokalizacji przejścia pod przeszkodą, zaprojektować należy profil wierconego otworu. W tym celu ustala się:

- miejsce pod plac maszynowy i montażowy;
- lokalizację punktu startowego oraz docelowego;
- parametry trajektorii przewiertu horyzontalnego;
- parametry geometryczne poszczególnych etapów poszerzania.

Obszar placu maszynowego i montażowego powinien zapewnić rozmieszczenie wszystkich niezbędnych urządzeń technicznych, sprzętu i materiałów. Wielkość placu powinna być dostatecznie duża, by przy właściwej logistyce, możliwe było bezawaryjne i sprawne wykonanie przewiertu horyzontalnego. Przy wielkogabarytowych przewiertach sterowanych dla każdego placu należy wydzielić jednoznacznie załogę wiertniczą sprzęt i osprzęt wiertniczy, tworząc dwie niezależne jednostki organizacyjne podległe centralnemu ośrodkowi decyzyjnemu. W celu obniżenia kosztów wykonywania przewiertu oraz racjonalnego gospodarowania zasobami ludzkimi, sprzętowymi i materiałowymi, należy przewidzieć wzajemne uzupełniania się obu jednostek organizacyjnych. Możliwe jest to poprzez wykorzystanie wielomodułowego parku maszynowego z powtarzalnymi elementami konstrukcyjnymi lub funkcyjnymi oraz mobilnego zaplecza logistycznego, wykorzystywanego przemiennie na placu maszynowym lub montażowym.

W zależności od długości przewiertu zalecane wielkości placu maszynowego zestawiono w tabeli 2. Długość i szerokość placu montażowego zależy od długości i średnicy wciąganych rur.

Tabela 2

Zalecane wymiary placu maszynowego dla przewiertów o różnych długościach

Rodzaj przewiertu	Długość przewiertu	Wielkość placu maszynowego
Krótki	< 300 m	15 × 30 m
Średni	300÷900 m	30 × 40 m
Długi	> 900 m	60 × 90 m

Przy doborze miejsca pod place maszynowy i montażowy oraz wyborze punktu startowego i docelowego, należy uwzględnić budowę morfologiczną terenu, warunki hydrogeologiczne występujące w rejonie objętym pracami wiertniczymi oraz status prawny terenu wierceń. Ze względu na konieczność zapewnienia mobilności zaplecza logistycznego, rozważyć należy również obecność istniejących dróg dojazdowych do poszczególnych placów oraz ewentualną konieczność budowy nowych dróg.

Skuteczność aplikacji technologii HDD uwarunkowana jest poprawnością zaprojektowania i wykonania trajektorii otworu. Projektując przebieg trajektorii wielkogabarytowego horyzontalnego przewiertu sterowanego, należy wyznaczyć przestrzenne usytuowanie jej punktów charakterystycznych (początek i koniec krzywienia) oraz parametry odcinków

prosto- i krzywoliniowych (długość, kąt odchylenia od płaszczyzny poziomej, azymut, intensywność skrzywienia). Następnie z zadanym skokiem długości otworu (Δl) powinno się określić współrzędne przestrzenne punktów tworzących oś otworu, lub obliczyć wielkości kąta odchylenia od płaszczyzny poziomej (ε_L) i kąta azymutu (β_L) stycznej do trajektorii w wyznaczanych punktach. Podczas procedury projektowej należy uwzględnić ograniczenia wynikające z charakterystyki technicznej stosowanych urządzeń wiertniczych oraz właściwości rur płuczkowych i wciąganych rur osłonowych (wartości kąta startowego i docelowego oraz dopuszczalne promienie krzywizny odcinków krzywoliniowych). Na tym etapie projektowania bardzo ważnym czynnikiem jest określenie dopuszczalnej dokładności wykonania projektowanej trajektorii.

Projektując przestrzenny przebieg osi wielkogabarytowego przewiertu sterowanego, rozważać należy następujące warianty projektowania:

- projektowanie trajektorii horyzontalnego przewiertu sterowanego w przestrzeni dwuwymiarowej,
- projektowanie trajektorii horyzontalnego przewiertu sterowanego w przestrzeni trójwymiarowej.

Projektowanie trajektorii otworów kierunkowych w przestrzeni dwuwymiarowej pozwala na ustalenie przebiegu sterowanego przewiertu horyzontalnego w jednej płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni terenu w następujących alternatywnych odmianach:

- trajektorii będącej kombinacją odcinków prosto- i krzywoliniowych,
- trajektorii o przebiegu krzywej łańcuchowej,
- trajektorii będącej nieregularną krzywą.

Procedurę projektowania w przestrzeni dwuwymiarowej przedstawiono w pracach [6, 7].

Procedura projektowa przebiegu trajektorii osi otworu kierunkowego w przestrzeni R^3 , umożliwia zaprojektowanie przestrzennie zorientowanej krzywej łączącej wprowadzone punkty docelowe. Procedura ta została przedstawiona w pracy [9].

Projektując niezbędną ilość poszerzeń horyzontalnego przewiertu sterowanego, zakłada się jednakowe zużycie mocy w poszczególnych etapach rozwiercania przewiertu sterowanego.

W przypadku przewiertów mało- i normalnośrednicowych przyjmuje się, że zużycie mocy jest wprost proporcjonalne do objętości urabianego gruntu lub masywu skalnego. Zakładając jednakową długość otworu w każdym etapie poszerzania ustala się że zużycie mocy będzie wprost proporcjonalne do pól powierzchni przekrojów poprzecznych otworów w każdym etapie poszerzania. Uwzględniając powyższe założenie, uzyskuje się zależności pozwalające określić typoszereg średnic poszczególnych etapów poszerzania [3]

$$d_i = d_0 \sqrt{i + 1} \quad (1)$$

gdzie:

- d_0 – średnica otworu pilotowego [m];
- d_i – średnica otworu po i -tym etapie poszerzania [m];
- i – liczba poszerzeń otworu [–].

Podczas wiercenia otworów wielkogabarytowych nie można utożsamiać zużycia mocy jedynie z wielkością pól powierzchni przekrojów poprzecznych otworów, zwiercanych w każdym etapie poszerzania. Rozważając coraz większy udział mocy potrzebnej na obracanie narzędzia poszerzającego, opracowano w Zakładzie Wiertnictwa i Geoinżynierii WWiNiG AGH nową metodykę pozwalającą uwzględniać typ i rodzaj narzędzia poszerzającego. W metodyce tej typoszereg średnic poszczególnych etapów poszerzania wyznacza się z zależności (2), po uprzednim numerycznym wyznaczeniu wskaźnika $\frac{k_N}{k_S}$

$$d_i = \sqrt{\frac{k_N}{K_S} (W_{i+1} d_{i+1}^3 - W_1 d_1^3) + d_{i+1}^2 - d_1^2 + d_0^2} \quad (2)$$

gdzie:

- W_i – wskaźnik proporcjonalności i -tego poszerzacza [N/m^2];
- k_S – wskaźnik proporcjonalności [$\text{Nm}^{-1}\text{s}^{-1}$];
- k_N – wskaźnik proporcjonalności [s^{-1}];
- d_1 – średnica otworu po pierwszym etapie poszerzania [m].

Niezbędne założenia oraz algorytmy obliczeniowe przedstawiono w pracy [4].

3.2. Dobór narzędzi wierzących, narzędzi do poszerzania i instalacji rurociągu, konfiguracja przewodu wiertniczego oraz dobór systemów pomiarowych

Przy doborze narzędzi wierzących, narzędzi do poszerzania i instalacji rurociągu, podczas wykonywania wielkośrednicowych przewiertów sterowanych należy wykorzystywać te same procedury co przy przewiertach mało- i normalnośrednicowych. W celu kalibracji ściany otworu, przy poszerzeniach o większych średnicach powinno się stosować zestaw składający się z dwóch poszerzaczy skrawających: baryłkowego i otwartego. Kompletując poszczególne elementy przewodu wiertniczego, należy uwzględniać dopuszczalną wartość promieni gięcia rur płuczkowych uwzględniając ich zużycie. Metodykę tę przedstawiono w pracy [5]. Podczas kontroli i sterowania przebiegiem osi otworu pilotowego, wykonywanego na potrzeby wielkogabarytowego przewiertu horyzontalnego, należy wykorzystywać wglębne systemy pomiarowe (Tensor, MWD). W zależności od istniejących warunków (obecność infrastruktury technicznej generującej prądy błędzące), należy rozważać alternatywnie systemy elektromagnetyczne, magnetyczne lub żyroskopowe. Do pomiaru trajektorii nie zaleca się stosowania napowierzchniowych systemów pomiarowych typu *walk over* (Radiodetection, DCI, Rotaster), zarówno w odmianie elektromagnetycznej, jak i magnetycznej. Systemy te powinny być wykorzystywane jedynie jako uzupełnienie systemów wglębnych. Zalecenie powyższe wynika z konieczności bardzo dokładnego wykonania trajektorii otworu pilotowego i ograniczenia do minimum odchyłek od zaprojektowanego jej przebiegu.

3.3. Analiza sił i momentów sił niezbędnych do wykonania horyzontalnego przewiertu sterowanego i instalacji rury osłonowej

Rozważając fizykę zjawisk zachodzących podczas przemieszczania przewodu wiertniczego lub wciąganych rur osłonowych w wielkogabarytowym otworze wiertniczym, nie powinno się koncentrować się jedynie na analizie sił tarcia w ujęciu klasycznym. Należy bowiem szukać zależności ilościowych pomiędzy różnymi czynnikami geologicznymi i techniczno-technologicznymi a całkowitymi siłami oporów przemieszczania przewodu wiertniczego lub kolumny rur okładzinowych.

Oporo przemieszczania odcinka kolumny rur (okładzinowych lub przewodu wiertniczego) w wielkogabarytowym przewiercie horyzontalnym są sumą:

- sił tarcia wynikających ze zmiany trajektorii osi otworu kierunkowego oraz ciężaru kolumny rur,
- sił tarcia wynikających z oddziaływania różnicy ciśnienia płuczki wiertniczej na przylegającą do ściany otworu kolumnę rur;
- oporów przemieszczania kolumny rur powstałych na skutek nieprawidłowego oczyszczania otworu wiertniczego ze zwiercin;
- oporów przemieszczania kolumny rur wynikających z klinowania i wrzynania się zworników rur płuczkowych lub złączy rur osłonowych w ścianę otworu.

Zasady wyznaczania niezbędnych sił potrzebnych do przemieszczania przewodu wiertniczego lub rur osłonowych przedstawiono w pracy [8].

3.4. Dobór urządzenia wiertniczego

W Zakładzie Wiertnictwa i Geoinżynierii Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, opracowano zalecenia dotyczące doboru urządzeń HDD. Proponowana metodyka obejmuje określenie minimalnych wymagań techniczno-technologicznych, jakie spełniać powinna wiertnica HDD wraz z przewodem wiertniczym, by przy ograniczonym ryzyku wystąpienia awarii i komplikacji można było wykonać zaprojektowany wielkogabarytowy przewiert horyzontalny.

Jako niezbędne założenia projektowe przyjąć należy znajomość:

- morfologii terenu, przekroju geologicznego oraz właściwości geomechanicznych przewiercanych gruntów i skał;
- przestrzennego przebiegu projektowanej trajektorii osi otworu kierunkowego;
- rodzaju wciąganej rury osłonowej, jej parametrów geometrycznych i właściwości fizycznych;
- techniki i technologii wiercenia pilotowego i projektowanych poszerzeń otworu wiertniczego.

W wyniku przeprowadzanych analiz określa się:

- minimalną, siłę uciągu, moment obrotowy i moc urządzenia wiertniczego;
- parametry geometryczne i materiałowe rur płuczkowych;
- minimalny strumień objętości przepływu płuczki wiertniczej oraz minimalne ciśnienie pomp płuczkowych.

Podstawy metodyki przedstawiono w pracy [10].

3.5. Technologia płynów wiertniczych (dobór receptur płynów wiertniczych, a w tym: skład mineralogiczno-chemiczny, właściwości fizyczne i parametry reologiczne)

Dobór receptur płynów wiertniczych zależy jest od rodzaju przewiercanych skał oraz ich właściwości fizycznych. Przy doborze parametrów reologicznych płynów wiertniczych należy korzystać z zaleceń zawartych w procedurach DCA (*Drilling Contractor Association*). Dobierając model reologiczny płynu, można wykorzystywać metodykę opisaną w pracy [1].

3.6. Technologia wiercenia i instalacji rury osłonowej (dobór i optymalizacja mechanicznych i hydraulicznych parametrów technologii wiercenia)

Projektując parametry mechaniczne technologii wiercenia wielkogabarytowego przewiertu sterowanego, należy stosować metodyki opracowane dla wierceń naftowych. W przypadku doboru parametrów hydraulicznych zaleca się stosować procedury wypracowane w Zakładzie Wiertnictwa i Geoinżynierii Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH [2].

Odrębnym zagadnieniem projektowym i wykonawczym jest instalacja rury osłonowej. W przypadku rur stalowych należy dokonać symulacji sił tarcia zarówno części kolumny rur wprowadzanej do otworu, jak i części kolumny leżącej na powierzchni terenu. Rozważając instalację polietylenowych rur osłonowych, w celu ograniczenia problemów tarcia rur o górną część ściany otworu (polietylen jest lżejszy od wody), należy przewidzieć proces wielostopniowego balastowania kolumny rur.

4. PODSUMOWANIE

Prawidłowo przygotowany projekt wielkogabarytowego przewiertu powinien obejmować następujące zagadnienia:

- ustalenie profilu wierconego otworu i liczby etapów poszerzania,
- dopuszczalną dokładność wykonania podziemnej instalacji,
- dobór narzędzi wierzących, narzędzi do poszerzania i instalacji rurociągu,
- konfigurację przewodu wiertniczego oraz dobór systemów pomiarowych,
- analizę sił i momentów sił niezbędnych do wykonania horyzontalnego przewiertu sterowanego i instalacji rury osłonowej,
- dobór urządzenia wiertniczego,
- technologię płynów wiertniczych,
- technologię wiercenia i instalacji rury osłonowej.

W Zakładzie Wiertnictwa i Geoinżynierii WWNiG AGH stworzono wiele nowych metodyk obliczeniowych, umożliwiających racjonalne planowanie i wykonywanie wielkogabarytowych przewiertów sterowanych. Stosowane procedury numeryczne pozwalają na prowadzenie prac projektowych i wykonawczych z uwzględnieniem kryteriów: maksymalizacji bezpieczeństwa wykonywanych prac, minimalizacji kosztów oraz ograniczenia negatywnego oddziaływania na otoczenie.

LITERATURA

- [1] Wiśniowski R.: *Metodyka określania modelu reologicznego cieczy wiertniczej*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, 18/1, 2001
- [2] Wiśniowski R.: *Metodyka określania dopuszczalnej wartości strumienia przepływu płuczki wiertniczej podczas wykonywania horyzontalnych przewiertów kierunkowych*. Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe, z. 1, 2001
- [3] Wiśniowski R., Stryczek S., Ziaja J.: *Wybrane aspekty projektowania i wykonywania horyzontalnych przewiertów sterowanych*. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowe materiały i urządzenia w wodociągach i kanalizacji”, Kielce, Politechnika Świętokrzyska 2003
- [4] Wiśniowski R.: *Directional borehole diameter determination methods for individual stages of horizontal directional drilling*. Archiwum Górnictwa, 49, t. 3, 2004
- [5] Wiśniowski R., Ziaja J.: *Methods of determining admissible bending radius for HDD drill string*. Koszyce, Acta Montanistica Slovaca, 3, 2004
- [6] Wiśniowski R.: *Projektowanie trajektorii horyzontalnego przewiertu sterowanego o przebiegu krzywej łańcuchowej*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, 20/1, 2003
- [7] Wiśniowski R.: *Projektowanie trajektorii osi horyzontalnego przewiertu sterowanego w przestrzeni R^2 , będącej kombinacją odcinków prosto- i krzywoliniowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej Budownictwo, 2005
- [8] Wiśniowski R., Ziaja J.: *Analiza sił tarcia podczas wiercenia otworu pilotowego horyzontalnego przewiertu sterowanego*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, 22/1, 2005
- [9] Wiśniowski R.: *Metodyka projektowania trajektorii osi horyzontalnego przewiertu sterowanego w przestrzeni R^3* . II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Szkoleniowa „Techniki bezwykopowe w sieciach struktury podziemnej, Kielce, 19–21 kwietnia 2006
- [10] Wiśniowski R., Ziaja J.: *Dobór parametrów mechanicznych urządzeń wiertniczych stosowanych w technologiach HDD*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, 23/1, 2006