



Opinia techniczna nr 10/2013

Technologia horyzontalnych wierceń kierunkowych stosowanych dla instalacji kabli elektroenergetycznych w kontekście ich oddziaływania na środowisko naturalne na przykładzie jeziora Trupel

Autor opinii: mgr inż. Robert Osikowicz

Kraków. czerwiec 2013

Spis rozdziałów:

	strona
1. Podstawa wykonania opinii	3
2. Wstęp	3
3. Zalety technologii	3
4. Technika wykonywania przewiertu kierunkowego	4
5. Geometria otworu: średnica, odległości, kąty, promienie, głębokości	6
6. Płuczka wiertnicza: objętości, magazynowanie, separacja faz	7
7. Wpływ płuczki i działalności wiertniczej na środowisko naturalne	9
8. Organizacja budowy, place maszynowe, drogi dojazdowe, logistyka	10
9. Geologia	11
10. Wymagania sprzętowe	11
11. Czas trwania operacji wiertniczych (postęp wiercenia)	12
12. Przypadki zastosowania technologii HDD przy przekraczaniu jezior, rzek i terenów chronionych w Polsce	13
13. Podsumowanie i wnioski	14
14. Literatura	14
15. Informacje o autorze	15

Dokument składa się z 15 ponumerowanych stron.

Większość zdjęć wykorzystanych w niniejszej opinii są własnością firmy wiertniczej HOSTER i pochodzą ze zrealizowanego w 2013 roku projektu budowy gazociągu wysokiego ciśnienia DN 700 pod rzeką Zgłowiączką.

Rozdział 1 Podstawa wykonania opinii

Podstawą dla niniejszej analizy jest zlecenie z dnia 29.05.2013 wystawione przez firmę **A.E.Wind Sp. z o.o.**, ul. Marynarska 11, 02-674 Warszawa. Dokument powstał na potrzeby opracowania Raportu Oddziaływania na Środowisko. Opinia powstała na podstawie długoletniego doświadczenia autora i analiz realnych projektów wiertniczych. Ponadto wzięto też pod uwagę wytyczne, rekomendacje techniczne, dokumenty oraz artykuły mogące przyczynić się do jej wydania. Jakkolwiek opinia ma charakter ogólny, to uwzględniono w niej specyfikę sytuacji zastanej w rejonie jeziora Trupel (powiat nowomiejski i iławski)

Rozdział 2 Wstęp

Horizontalne wiercenia kierunkowe HDD – Horizontal Directional Drilling to technika zaliczana do metod bezwykopowych. Zdaniem autora, jest z nich najbardziej uniwersalna i technicznie zaawansowana. Jest stosowana od początku lat osiemdziesiątych w Europie i od 1991 roku w Polsce. To naturalna i przyjazna środowisku człowieka alternatywa wobec tradycyjnych metod wykonywania instalacji. Stosowanie HDD pozwala przekraczać rzeki, jeziora, zatoki, szlaki komunikacyjne, tereny zurbanizowane, brzegi morskie, obszary chronione lub takie, do których dostęp jest utrudniony. Otwory wiertnicze wykonuje się w celu instalacji rurociągów do transportu gazu ziemnego, ropy, paliw, substancji chemicznych, dla budowy sieci ciepłowniczych, wodociągów i kanalizacji, dla położenia pod powierzchnią terenu światłowodów i **kabli energetycznych**. Technologia umożliwia instalacje przewodów rurowych o średnicach od kilkudziesięciu milimetrów do około 1,5 m. Długości osiąganych pojedynczych odcinków przekraczają na świecie 3000 m, a w Polsce 1300 m. Technologia daje możliwość ułożenia kilku rur w jednym otworze wiertniczym lub w rurze osłonowej. Metoda jest stosowana wszędzie tam, gdzie tradycyjne instalacje w wykopach są niemożliwe, nieuzasadnione finansowo, szkodliwe dla naturalnego środowiska albo po prostu niepraktyczne. Prace wiertnicze można prowadzić w bardzo szerokim zakresie warunków geotechnicznych, w obecności wody gruntowej, w stosunkowo bliskiej obecności innych instalacji i podziemnej infrastruktury.

Rozdział 3 Zalety technologii

- Szeroki zakres długości i średnic instalowanych rurociągów i kabli
- Nieznaczna ingerencja w środowisko naturalne
- Możliwość wykorzystania różnych materiałów
- Wysoka precyzja instalacji, możliwość zastosowania złożonych trajektorii
- Pełna ochrona rurociągu, możliwość położenia instalacji na dużych głębokościach
- Możliwość układania instalacji pod przeszkodami wodnymi i terenami niedostępnymi
- Możliwe instalacje typu: ląd – ląd, ląd – woda, woda - woda
- Niższe koszty w porównaniu do metod alternatywnych
- Przewidywalny czas trwania inwestycji, krótki czas mobilizacji i montażu urządzeń
- Znacząco mniejszy obszar zajęty na czas prac konstrukcyjnych w porównaniu metod konwencjonalnych
- Niewielkie ryzyko kolizji z podziemną infrastrukturą, jeśli jej położenie jest dobrze udokumentowane.

Rozdział 4 Technika wykonywania instalacji metodą HDD

Typowy proces HDD można podzielić na następujące etapy: analiza techniczno – ekonomiczna, mobilizacja, wiercenie kierunkowe, poszerzanie, marsze kontrolne, instalacja rurociągu, demobilizacja. Ilość poszczególnych faz operacji uzależniona jest od czynników geologiczno – technicznych. Decydujące znaczenie mają tutaj wielkość urządzenia wiertniczego, jego wyposażenie oraz umiejętności techniczne jakimi dysponuje załoga.

Strona | 4

- **Wiercenie kierunkowe (pilotowe).** Każdy projekt rozpoczyna się wierceniem otworu o średnicy od kilku do kilkunastu cali z punktu wejścia do punktu wyjścia. Ta faza prac determinuje ostateczne położenie rurociągu. W formacjach miękkich otwór wykonywany jest według założonej trajektorii techniką wypłukiwania, urabiania strumieniem płuczki. Formacje zwarte (skalne), o dużej wytrzymałości mechanicznej, przewierca się przy użyciu silnika węgłnego ze świdrem trójgrzybowym. Wykonanie założonego profilu możliwe jest dzięki krzywemu łącznikowi umieszczonemu w dolnej części przewodu, a także dzięki kierunkowo działającym dyszom. Odcinki proste uzyskiwane są dzięki obracaniu całego przewodu wiertniczego. Postęp wiercenia i pozycja zestawu wierzącego jest monitorowany przez węgłne systemy pomiarowe. W zależności od stopnia złożoności systemu mierzone są takie parametry jak: długość otworu, inklinacja (pochylenie), azymut (kierunek), głębokość położenia sondy. W bardziej zaawansowanych systemach dostępne są także informacje o ciśnieniu panującym na dnie otworu. Rekomendowane jest, aby trajektoria otworu wykonana była przy jak największych promieniach krzywizny.



- **Poszerzanie otworu.** Otwór powinien zostać poszerzony do średnicy od 30 do 50 proc. większej od zewnętrznej średnicy rury (lub ekwiwalentnej średnicy wiązki rur). Proces wykonywany jest za pomocą narzędzia dobranego do spodziewanych warunków geologicznych, przesuwanego obrotowo od punktu wyjścia w stronę urządzenia wiertniczego (pull reaming). Żerdzie wiertnicze (odcinki przewodu wiertniczego) dokręcane są sukcesywnie po stronie punktu wyjścia (strona rurociągową). Daje to

gwarancje utrzymania właściwej trajektorii i kształtu otworu. W uzasadnionych przypadkach możliwe jest przeprowadzenie poszerzania w kierunku przeciwnym (push reaming). Aktualna średnica poszerzania i ilość marszy wiertniczych determinowana jest dostępnym sprzętem wiertniczym, długością otworu, warunkami geologicznymi, parametrami wytrzymałościowymi rury, promieniami krzywizny otworu. Płuczka wiertnicza o wymaganych parametrach fizycznych i chemicznych pompowana jest w objętości gwarantującej wyniesienie urobku i stabilność ściany otworu. Zawartość fazy stałej waha się od kilku do około dwudziestu procent objętościowo. Ważną sprawą jest kontrola strumienia przepływu i ciśnienia w otworze. Prawidłowe zaprojektowanie płynu wiertniczego w korelacji z geometrią otworu i warunkami geologicznymi pozwala bezpiecznie wykonać prace bez problemów technologicznych. Do podstawowych funkcji płynu wiertniczego należą: dostarczanie mocy hydraulicznej na spód otworu, oczyszczanie czoła narzędzia, odprowadzenie ciepła, transport zwiercin, utrzymywanie tarcia w otworze na umiarkowanym poziomie.



- **Kalibracja otworu.** W wypadku długich i/lub wielkośrednicowych instalacji wykonywane są dodatkowe marsze sprawdzające stan techniczny otworu. Operacja kalibracji i czyszczenia otworu prowadzona jest do momentu uzyskania adekwatnego marginesu bezpieczeństwa dla planowanego procesu instalacji.
- **Instalacja rurociągu.** Rurociąg powinien zostać przygotowany (o ile to możliwe) w jednym wymaganym odcinku. Prefabrykacja odbywa się po stronie punktu wyjścia. W zależności od użytego materiału rury są spawane (stal) lub zgrzewane (PE, specjalne odmiany PVC). Niektóre rurociągi ze względu na specyfikę swojego przeznaczenia poddawane są próbom ciśnieniowym. Właściwie zabezpieczony rurociąg umieszczany jest na podporach rolkowych, a następnie wciągany za pomocą przewodu wiertniczego do stabilnego otworu. Podczas tej fazy prac rurociąg połączony jest z przewodem za pomocą łącznika obrotowego - krętlika, Rurociąg prowadzony jest w trakcie instalacji narzędziem o średnicy większej niż jego średnica nominalna. Rurociąg powinien być poddany

minimalnym możliwym wyężeniom dla zapewnienia bezpiecznej i długoletniej eksploatacji. Jedna z typowych metod ograniczania naprężeń w rurociągach jest zmniejszanie jego wyporności poprzez balastowanie płynem.

Rozdział 5 Geometria otworu: średnica, odległości, kąty, promienie, głębokości.

Najważniejszym elementem planowania przewiertu horyzontalnego jest ustalenie profilu otworu pomiędzy punktem wejścia i wyjścia. Z tego powodu rozmaite ramowe warunki muszą być wzięte pod uwagę, aby mieć pewność, że teoretyczny profil może być zrealizowany w praktyce. Poniżej przedstawiono rekomendacje organizacji Drilling Contractors Association DCA zrzeszającej firmy wiertnicze, biura projektowe, firmy konsultingowe, producentów sprzętu i dostawców technologii.

Kąt wejścia i wyjścia trasy wiercenia kierunkowego powinien być odpowiedni do średnicy i specyfiki materiału instalowanego rurociągu. Generalnie, kąt wejścia powinien być zawarty w przedziale pomiędzy 7° a 15°. Równocześnie jako generalna zasada jest uznawane, że kąt wejścia powinien być tym mniejszy, im większa jest średnica rurociągu. Kąt wyjścia może być stromy jeżeli rury mają mniejsze dozwolone promienie gięcia (np. rury z polietylenu). Kąty wejścia i wyjścia muszą być skalkulowane w powiązaniu z dostępną przestrzenią i warunkami instalacji rury dla danego przewiertu HDD.

Sekcja wejścia i wyjścia. Pierwszy i ostatni odcinek osi przewiertu powinien być prostoliniowy i zmiany kątowe nie powinny wystąpić (nieskończenie duży promień krzywizny). Na tych odcinkach mamy niewielką miąższość nadkładu (przykrycia), a warstwy są na ogół mniej zwarte. Stąd grunt ten jest najczęściej nieodpowiedni do wiercenia łuku. Długość tego odcinka prostoliniowego waha się w zależności od rozmiarów otworu jak też od masy i sztywności zestawu wglębnego (BHA). Im większa średnica otworu wiertniczego i im cięższy i sztywniejszy jest zestaw wglębny, tym dłuższa powinna być sekcja prosta. Pierwszy, prosty odcinek otworu powinien być tak długi jak to możliwe i mieć minimalną długość przynajmniej dwóch odcinków żerdzi.

Promienie krzywizny. Podczas projektowania profilu otworu, minimalny dopuszczalny promień krzywizny odgrywa decydującą rolę. Parametr ten musi uwzględniać dopuszczalny promień krzywizny dla przewodu wiertniczego oraz minimalny dopuszczalny promień krzywizny przeznaczonego do zainstalowania rurociągu. Jako dobrą praktykę należy przyjąć projektowanie możliwie najdłuższych promieni krzywizny ze względu na niższe obciążenia rejestrowane na przewodzie wiertniczym i na rurociągu w trakcie instalacji.

Przykrycie. Odległość pomiędzy górną krawędzią rury, osią przewiertu lub nawet odległość pomiędzy górną ścianą otworu wiertniczego a powierzchnią terenu lub dnem rzeki nazywana jest przykryciem. Wymagania dotyczące **minimalnej** głębokości posadowienia rurociągu pod jeziorami lub rzekami dla instalowanych rurociągów powinna wynosić iloczyn średnicy rury i współczynnika od 10 do 15. Np., podczas instalacji rury o średnicy 500mm, **minimalne** przykrycie pod zbiornikiem wodnym powinno wynieść między 5 a 8m. Może być jednak znacząco większe. Rozmiar przykrycia zależy od warunków geologicznych i warstw zalegających powyżej trasy przewiertu, a także co jest niezwykle istotne od długości otworu. Im dłuższy otwór tym większe konieczne przykrycie. Projekt wiercenia powinien zawierać analizę ciśnień wglębnych jakie potencjalnie mogą zostać wytworzone w otworze. Ciśnienia te powinny zostać skonfrontowane z ciśnieniami dopuszczalnymi wynikającymi z miąższości nadkładu i typem gruntu. Na podstawie badań geologicznych ustalany jest gradient ciśnienia szczelinowania. Krytycznym momentem dla procesu jest etap wiercenia pilotowego, kiedy to ze względu na niewielką średnicę otworu, ciśnienia dynamiczne są najwyższe. Podsumowując: im większe jest przykrycie, tym mniejsze jest ryzyko migracji płuczki na powierzchnię i zapadnięć gruntu.

Wymagana średnica otworu. Overcut to stosunek średnicy otworu do średnicy rurociągu. Jako wielkość odniesienia powinna być brana średnica rury w najszerszym miejscu. Odpowiedni stosunek średnic będzie gwarantował sprawną i bezpieczną instalację rury w przygotowanym otworze. Ogólnie akceptowalne

współczynniki do obliczania poprawnego mieszczą pomiędzy 1,2 - 1,3 w gruntach stabilnych, o niskim tarcu, a 1,5 w gruntach niestabilnych. Im niższy wskaźnik overcut tym wyższe są wymagania co do jakości otworu i stopnia jego oczyszczenia ze zwiercin.

Rozdział 6 Płuczka wiertnicza: objętości, produkcja, magazynowanie, separacja faz

Płuczka wiertnicza wykorzystywana dla realizacji projektów HDD to zawsze płyn wodno dyspersyjny. Płuczce powierza się spełnienie funkcji krytycznych z punktu widzenia procesu opartego na bilansie przepływów i ciśnień:

- Dostarczanie mocy hydraulicznej na dno otworu, dzięki czemu odbywa się urabianie formacji miękkich i czyszczone jest czoło narzędzia
- Transport zwiercin przestrzenią pierścieniową na powierzchnię
- Utrzymywanie fazy stałej w suspensji w trakcie cyrkulowania i stanów statycznych
- Stabilizacja ściany otworu przez wywieranie ciśnienia wewnętrznego
- Chłodzenie zestawu wierzącego i obniżanie tarcia w otworze

Płyny wykorzystywane w tej technologii mają specjalną charakterystykę lepkościową pomocną w optymalizacji procesu wiercenia. Podstawowe produkty wykorzystywane w tej technologii to modyfikowane bentonity uzupełniane w razie potrzeby biopolimerami, koloidami ochronnymi, środkami powierzchniowo czynnym. Brak negatywnego wpływu na środowisko potwierdzony jest atestami i innymi dokumentami wydanymi przez uprawnione do tego instytucje.

Płuczka produkowana jest w zbiorniku wyposażonym w mieszalnik strumieniowy ze zwężką Venturi zasilany wydajną pompą wirnikową. Rozważając ekonomiczne i środowiskowe aspekty inżynierii płuczkowej należy wziąć pod uwagę zarówno koszty materiałowe związane z wyprodukowaniem, kontrolą i utrzymaniem jakości płynu jak i koszty jego utylizacji. Otwory dłuższe i / lub o dużych średnicach wiercone są z zastosowaniem urządzeń separujących fazę stałą od fazy rozpraszającej (wodnej), pozwalających na wielokrotne wykorzystanie tej samej płuczki i rozwiązujących w znacznym stopniu problemy z jego utylizacją. Tym niemniej po zakończeniu projektu pozostaje pewna ilość płynnego szlamu i znaczna ilość odseparowanego urobku suchego (lub półsuchego). Urobek powinien zostać zdeponowany w miejscu do tego celu przeznaczonym. Szlam wiertniczy po oczyszczeniu może być przewieziony i wykorzystany z powodzeniem na następnej lokalizacji. Jeśli brak jest takiej lokalizacji, szlam wiertniczy powinien zostać zutyliczowany zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa.



Program płuczki dla każdego poważnego projektu powinien być przygotowywany w porozumieniu ze specjalistyczną firmą zajmującą się doradztwem i usługami serwisowymi w tym obszarze. Program uwzględnia

wszystkie dostępne dane geologiczne, zakładany profil wiercenia, docelową średnicę poszerzania otworu oraz możliwości urządzenia wiertniczego. Założone parametry są kontrolowane na wiertni przez wykwalifikowanego technika płuczki, a w przypadku bardziej skomplikowanych przekroczeń przez inżyniera. Założenia i zakres parametrów mogą zostać zmodyfikowane w trakcie realizacji zadania, jeśli okażą się one niewystarczające.

Parametry te znajdują odzwierciedlenie w dziennych raportach płuczki. Program płuczki może zmieniać się wraz z etapami projektu. Jest to związane ze zmieniającą się geometrią otworu (większą średnicą) i zmieniającą się w związku z tym efektywną lepkością. Parametry programu podawane są najczęściej jako zakres (minimum konieczne, maksimum dozwolone). Częstotliwość wykonywania pomiarów polowych jest uzależniona od specyfiki projektu, ale można przyjąć, że podstawowe parametry związane z kontrolą fazy stałej, lepkością płuczki i poziomowi pH powinny być sprawdzane co 3 – 4 godziny.



Procedura wykonania przewiertów kierunkowych wymaga użycia znacznych ilości płuczki wiertniczej. Założone parametry najłatwiej uzyskać używając w tym celu produktów działających w sprawdzonych systemach. Generalnym zaleceniem jest brak szkodliwości dla środowiska naturalnego. Objętość płuczki cyrkulującej w otworze w jednostce czasu zależne są od dostępnych środków technicznych i od przyjętej technologii wiercenia.

Poniżej przedstawiam hipotetyczny przykład dotyczący projektu HDD w kontekście gospodarki płynem wiertniczym. Przykład ten może dotyczyć także przekroczenia jeziora Trupel, w którym długość odcinka wierconego pod dnem wynosi 190 m.

Dane wejściowe:

Długość przekroczenia: 300 m

Rurociąg: HDPE 500 mm

Wymagana średnica otworu: 710 mm

Pojemność jednostkowa docelowego otworu: 400 l/m

Całkowita pojemność otworu: 120 m³

Technologia wiercenia (zakłada się wykorzystanie urządzenia wiertniczego klasy 400 – 600 kN siły ciągnięcia)

Faza robót	Narzędzie	Piasek	Glina / ił
Wiercenie pilotowe	Świder 210 mm	500 - 600 l/min	600 – 700 l/min
Poszerzanie	Poszerzacz 710 mm	1200 l/min	1200 – 1400 l/min
Kalibracja	Poszerzacz 610 mm	1200 l/min	1200 l/min
Instalacja	Poszerzacz 610 mm	600 l/min	600 l/min
Objętości płuczki wiertniczej			
Objętość płuczki wymaganej do przecyrkulowania przez otwór w trakcie wiercenia		$(8 - 12) \times 120 \text{ m}^3 = 960 - 1440 \text{ m}^3$	$(10 - 15) \times 120 \text{ m}^3 = 1200 - 1800 \text{ m}^3$

Wymagana objętość płuczki do wyprodukowana w związku z założoną geometrią i strategią wiercenia	$(2,5 - 4) \times 120 \text{ m}^3 = 300 - 480 \text{ m}^3$
Spodziewana konsumpcja wody	$300 - 480 \text{ m}^3$
Spodziewana konsumpcja bentonitu	$(300 - 480 \text{ m}^3) \times 50 \text{ kg/m}^3 = 15.000 - 24.000 \text{ kg}$

Wszystkie zastosowane w procesie materiały powinny posiadać wymagane prawem atesty i dopuszczenia.

Rozdział 7 Wpływ płuczki i działalności wiertniczej na środowisko naturalne

Jak wspomniano już we wcześniejszych rozdziałach technika HDD jest bezpieczną i przyjazną dla środowiska metodą instalacji rurociągów pod naturalnymi i sztucznymi przeszkodami. Metoda ta, o ile jest prawidłowo zastosowana, nie niesie za sobą nadmiernych ryzyk. W związku z powyższym bardzo istotną kwestią jest wybór wykonawcy, który daje gwarancję wykonania całego procesu zgodnie z zasadami sztuki inżynierskiej. Spółka powinna się wykazać referencjami dotyczącymi instalacji rurociągów o średnicy co najmniej 400 mm, na dystansie co najmniej 400 m. W proponowanym zestawie wiertniczym powinny się znaleźć oprócz wiertnicy (klasy co najmniej 400 kN), także wydajne elementy zamkniętego obiegu płuczki wiertniczej: zbiornik aktywny z funkcją mieszania i kondycjonowania płynu, pompa wysokociśnieniowa oraz system separacji faz o wydajności dostosowanej do założonego strumienia płuczki tłoczzonej do otworu.

Dostawcy materiałów płuczkowych dla technologii wyposażają swoje produkty w certyfikaty higieniczne dopuszczające je do prac wiertniczych na niedużych głębokościach. Płyn wiertniczy składając się wyłącznie z wody, certyfikowanego materiału oraz gruntu nie budzi wątpliwości co do swojej neutralności wobec środowiska naturalnego. Autorowi znane są analizy przeprowadzone przez renomowane laboratoria, które potwierdzają, że poziom metali ciężkich w bentonitach wiertniczych jest niższy niż w gruntach służących do działalności rolniczej. Biorąc ponadto pod uwagę, że koncentracja bentonitu w płuczce wiertniczej nie przekracza 5 proc., potencjalne stężenie metali ciężkich w płynie jest wielokrotnie niższe niż przewidują to normy środowiskowe.

Płuczka wiertnicza powinna cyrkulować tylko pomiędzy wyznaczonymi dla niej punktami: zbiornik ziemny wejściowy, zbiornik ziemny wyjściowy, rurociąg transferowy, zbiornik systemu separacji faz, zbiornik aktywny. Rozmiary zbiorników ziemnych powinny być dostosowane do przewidywanego wydatku pompy płuczkowej. Dodatkowa objętość w zbiornikach ziemnych będzie potrzebna do przyjęcia płuczki wypartej z otworu przez rurociąg (dla rury HDPE 500 mm będzie to około 190 l na każdy metr bieżący otworu. Odpowiednie wykopy na płuczkę muszą być przygotowane wcześniej, a obieg płuczki musi być pod kontrolą przez cały czas wierceń. Prawidłowy obieg płuczki jest uwarunkowany geometrią i profilem otworu. Przed rozpoczęciem robót należy przeprowadzić analizę spodziewanych ciśnień wgłębnych (suma ciśnienia hydrostatycznego i ciśnienia wynikającego z cyrkulacji lepkiego płynu) i porównać ze spodziewanymi gradientami szczelinowania formacji. Należy przyjąć taką głębokość profilu pod dnem zbiornika wodnego, która zapewni nam bezpieczeństwo prowadzonych prac. W przypadku stwierdzenia częściowych lub całkowitych zaników głębnych do formacji chłonnej należy wdrożyć procedury zaradcze, które przywrócą prawidłowy obieg. Na placu budowy powinno się znaleźć wydzielone miejsce na laboratorium płuczkowe, które powinno być wyposażone w podstawowe sprzęty do pomiaru parametrów fizycznych i chemicznych płuczki wiertniczej. Rekomenduje się wykorzystanie wielozakresowego lepkościomierza obrotowego dla kontroli programu płuczkowego.

Pod systemem separacji należy przewidzieć miejsce na urobek. Objętość odseparowanego urobku dla otworów wierconych w piasku jest w przybliżeniu równa lub nieznacznie większa od pojemności wewnętrznej wywierconego otworu.

Układanie rurociągów metodą horyzontalnych wierceń kierunkowych (HDD) powoduje mniej zniszczeń w środowisku niż wykop otwarty. Jeżeli plac budowy znajduje się na terenach wrażliwych, należy wykonać drogi

dojazdowe i plac montażowy bezpieczny dla sprzętu ciężkiego i pojazdów. W przypadku gruntów niestabilnych należy zastosować specjalne procedury. Podczas kopania dołów na płuczkę należy zachować ostrożność co do typu gruntu w warstwie stropowej i każdej kolejnej warstwie.

Lokalne instytucje środowiskowe powinny zaakceptować sposób końcowej utylizacji płuczki i urobku. Projekt jest zakończony po akceptacji zrehabilitowanego terenu robót przez właściciela i zarząd odnośnych gruntów.

Rozdział 8 Organizacja budowy, place maszynowe, drogi dojazdowe, logistyka



Plan placu budowy powinien zawierać przynajmniej:

- pozycję i rozmiar głównych komponentów systemu do wierzeń horyzontalnych, jak wiertnica, system płuczki, pompy, generatory, biuro budowy, zaplecze socjalne i warsztatowe
- pozycję i rozmiar wykopów na płuczkę i zwierciny po stronie maszynowej i rurowej
- pozycję miejsc składowania (bentonit, przewód wiertniczy, narzędzia, rurowe)
- drogi dojazdowe
- wielkość wymaganych placów maszynowych jest zależna od konfiguracji sprzętu wiertniczego, zaprezentowane na zdjęciu urządzenie klasy 600 kN wymaga planu o powierzchni około 1200 m². Do powierzchni planu nie są wliczane zbiorniki ziemne na płuczkę lub zbiorniki na zwierciny. Po stronie rurowej szerokość pasa montażowego powinna być nie mniejsza niż 5 m i powinna umożliwić dojazd ciężarówek ze sprzętem lub koparkami.

Należy uzgodnić sposób dojazdu do strony maszynowej i strony rurowej. Dokładny dojazd zostaje określony na etapie projektu budowlano – wykonawczego. W razie konieczności należy przygotować utwardzoną drogę do transportu sprzętu wiertniczego, materiałów płuczki, urobku czy płuczki wiertniczej. Ustawienie i zorganizowanie placu budowy dla aplikacji wiertniczych przebiega na podstawie planu instalacji budowy i

uzyskanych pozwoleń na użytkowanie mediów i dróg. Regułą jest zaangażowanie mobilnego dźwigu o odpowiednim udźwigu dla ustawienia cięższego sprzętu. Dogodny dostęp i miejsca bezpieczne dla pracy dźwigu są więc warunkiem wstępnym przed rozpoczęciem prac konstrukcyjnych. Ziemne zbiorniki płuczkowe powinny być wykopane koparką i zabezpieczone barierkami. Elementy systemu separacji powinny zostać rozplanowane przed rozpoczęciem prac konstrukcyjnych.

Po zakończeniu prac HDD, niezwłocznie należy przystąpić do oczyszczenia placu budowy a teren objęty pracami musi zostać przewrócony do akceptowalnych i/lub zrehabilitowanych warunków.

Rozdział 9 Geologia

Aby ocenić wykonalność projektu HDD niezbędna jest podstawowa dokumentacja. Informacje te zwykle dostarczane są przez inwestora. Nadrzędne znaczenie dla rozważanego projektu ma dokumentacja związana z topografią i geologią na obszarze wzdłuż trasy przewiertu. Wszystkie szczegółowe informacje dodatkowe, ważne dla projektu, powinny zostać włączone do oceny końcowej.

Do określenia dróg dojazdowych, placów montażowych strony rurowej i maszynowej, miejsca składowania rur, miejsca montażu rurociągu i miejsca dla innych urządzeń montażowych, konieczny jest odpowiedni plan w odpowiedniej skali. Zostaje on określony na etapie projektu budowlano – wykonawczego.

W przypadku zaplanowanych przekroczeń rzek, jezior i innych zbiorników wodnych, najpierw powinno zostać przeprowadzone sondowanie głębokości, w celu ustalenia poziomu dna. Jest to jedyna metoda dająca możliwość takiego bezpiecznego zaprojektowania, by zapewnić wystarczające zagłębienie osi otworu.

Zanim rozpoczniemy realizację wiercenia techniką HDD wzdłuż trasy przewiertu powinny być wykonane i przeanalizowane odpowiednie badania geologiczne. Ma to na celu przeprowadzenia studium wykonalności i uniknięcie możliwych ryzyk geologicznych.

Planowanie niezbędnych badań, profesjonalny monitoring terenu i badania laboratoryjne oraz przygotowanie raportu badań geologicznych powinno zostać sporządzone przez geologa, który powinien posiadać doświadczenie w podobnych projektach i stosowną wiedzę nt metod pracy i specyfiki technologii HDD. Głębokość odwiertów badawczych powinna sięgać 5m poniżej poziomu planowanego profilu przewiertu stosownie do specyfiki warunków gruntowych. Odwierty powinny być prawidłowo wypełnione i zlikwidowane, by nie dopuścić do strat cyrkulacji lub powierzchniowych wybić płuczki.

Na podstawie rzetelnie przeprowadzonych badań geologicznych możliwe jest wykreślenie profilu wiercenia, uwzględniającego wszystkie podane wcześniej parametry: odległości, kąty, promień krzywizny, zagłębienie od powierzchni terenu i od dna przeszkody.

Rozdział 10 Wymagania sprzętowe

Wykonawca robót wiertniczych powinien zaproponować do realizacji projektu urządzenie wiertnicze, które spełnia wymagania dotyczące tej instalacji. Na żadnym z etapów prowadzonych robót krytyczne elementy systemu, a więc wiertnica, elementy przewodu wiertniczego oraz zaplecze płuczkowe nie powinny zostać obciążone powyżej 80 proc. swoich parametrów nominalnych. Sugeruje się zastosować urządzenie klasy 400 – 600 kN. Poniżej zestawiono parametry techniczne dwóch obecnych na polskim rynku urządzeń klasy średniej:

Urządzenie / parametry	Wiertnica klasy 60T	Wiertnica klasy 45T
Producent	Prime Drilling	Ditch Witch
Siła ciągnięcia / pchania	600 kN	450 kN
Moment obrotowy	33 kNm	18 kNm

Pompa płuczka	zewnętrzna 1600 l/min	zintegrowana 750 l/min
Przewód wiertniczy	3 1/2" / 5"	3 1/2" / 4 1/4"
Połączenie gwintowe	3 1/2" IF	2 7/8" IF
Długość pojedynczego odcinka żerdzi	5 m	4,5 m
System separacji	1500 l/min	750 l/min
System przygotowania płuczki	20 m ³	10 m ³
Wydajność systemu w kontekście projektu	wysoka	Dobra

Rozdział 11 Czas trwania operacji wiertniczych projektu

Na podstawie dotychczasowych doświadczeń spółek wiertniczych zdobytych w trakcie realizacji podobnych projektów można spróbować oszacować czas niezbędny na realizowanie kolejnych etapów (kamieni milowych) inwestycji. Zgodnie z założeniami proces może zostać zrealizowany w następujących etapach:

- Mobilizacja i montaż sprzętu na placu budowy
- Wiercenie pilotowe z użyciem świdra o średnicy 6 3/4" - 8 3/8" z wykorzystaniem magnetycznego systemu sterowania Tensor lub Paratrack.
- Poszerzanie z wykorzystaniem narzędzia skrawającego o średnicy 28". Jednostopniowe poszerzanie ma ustabilizować cyrkulację w otworze i znacząco obniżyć ciśnienie denne.
- Kalibracja otworu z użyciem dwóch narzędzia baryłkowego o średnicach 24"
- Instalacja rurociągu polietylenowego o średnicy 500 mm (opcjonalnie balastowanego wodą)
- Demontaż urządzeń, zagospodarowanie odpadów stałych i płynnych
- Demobilizacja

Czas trwania poszczególnych faz nie jest możliwy do precyzyjnego określenia, ze względu na brak oficjalnych badań geologicznych. Tym niemniej można założyć pewien czas niezbędny do wykonania poszczególnych etapów działań wiertniczych (dla formacji miękkich):

Przewidywany hipotetyczny harmonogram prac wiertniczych pod dnem jeziora Trupel, dla przypadku otworu o długości 300 m i średnicy rurociągu HDPE 500 mm (wariant prawdopodobny)

Etap	Średnica narzędzia	Teoretyczna pojemność wierzonego otworu	Czas trwania	Uwagi
	In	m ³	Dni	
Przygotowanie placu budowy i dróg dojazdowych			Po stronie inwestora	
Mobilizacja			3	
Pomiary i skręcanie zestawu pilotowego			1	
Wiercenie pilotowe	8 3/8	12	4	Wartością nadrzędną jest jakość cyrkulacji
Zmiana narzędzi			1/2	
Poszerzanie	28	108	4	Dopuszcza się zastosowanie narzędzi baryłkowych
Zmiana narzędzi			1/2	

Kalibracja otworu	24		1	Sprawdzone są obciążenia przewodu przy niskich obrotach i szybkim posuwie
Przygotowanie rurociągu			1	
Instalacja DN 500	24		1	
Demobilizacja			5	
RAZEM		120 m³	21	

Rozdział 12 Przypadki zastosowania technologii HDD przy przekraczaniu rzek, jezior, terenów chronionych w Polsce

Lista najciekawszych projektów zrealizowanych w latach 2010 – 2013 przez polskie spółki HDD

Rok	Firma	Średnica Aplikacja	Projekt	Lokalizacja	Długość	Wiertnica
2012	Nawitel	DN 160 Kable	Wisła	Włocławek	1351 m	2.500 kN
2013	Nawitel	DN 700 Gaz	Wisła	Włocławek	1342 m	2500 kN
2012	Albrehta	DN 280 Energetyka	Dziwna	Kamień Pomorski	1300 m	2500 kN
2011	Nawitel	DN 300 Gaz	Warta	Gorzów Wlkp.	1160 m	2500 kN
2013	Atma	DN 200 Gaz	Bagna	Kostrzyn	1160 m	600 kN
2011	Nawitel	DN 300 Gaz	Natura 2000	Dobrojewo	1017 m	2500 kN
2011	Nawitel	DN 300 Gaz	Warta	Borek	1001 m	2500 kN
2013	Nawitel	DN 700 Gaz	Las, linia kolejowa	Wieliszew	710 m	2500 kN
2010	Albrehta	DN 500 Gaz	łąki na kopcach	Cieszyn	620 m	2500 kN
2013	Hoster	DN 700 Gaz	Zgłowiączka	Lubraniec	465 m	600 kN



Fot. Przekroczenie rzeki Warty i terenów chronionych w rejonie Gorzowa Wielkopolskiego. Długość otworu 1001 m. (Fot. Nawitel)

Rozdział 13 Podsumowanie i wnioski

Na podstawie lektury przedłożonych danych, dostępnych analiz i artykułów, a także doświadczenia autora możemy stwierdzić:

- Technika HDD jest najnowocześniejszą i najbardziej uniwersalną z metod bezwykopowych.
- Jej przewaga nad rozwiązaniami konwencjonalnymi, ale także nad innymi metodami bezwykopowymi uwidacznia się zwłaszcza przy przekraczaniu przeszkód wodnych.
- Długość dyskretnie wykonanej instalacji jest zawsze znacząco krótsza niż poprowadzenie rurociągów czy kabli wokół zbiornika wodnego. Ilość prac wykopowych jest bez porównania mniejsza. Niższy jest też wskaźnik zaangażowania sprzętu budowlanego w realizację projektu. W większości przypadków także koszty inwestycji realizowanej metodą HDD są niższe niż dla metod alternatywnych. Tradycyjne metody wykopowe powinny być przy tym oceniane nie tylko pod względem kosztów bezpośrednich, ale także pod względem kosztów środowiskowych i społecznych jakie trzeba ponieść przy realizacji inwestycji.
- Wykonawca na ogół zakłada, że przedkładany mu projekt został rzetelnie przygotowany na podstawie udokumentowanych danych. Projektanci i przedstawiciele inwestora powinni mieć pełne przekonanie, że jest on technicznie wykonalny. Jeśli warunkują oni wykonalność projektu dodatkowymi wymaganiami technicznymi jakie musi spełniać wykonawca, powinno to być wyraźnie zaznaczone w umowie. Dobrą praktyką jest konsultowanie zagadnień technicznych ze spółką wiertniczą, która posiada większe doświadczenie w praktycznych aplikacjach niż projektanci.
- Instalacja pod zbiornikami wodnymi o rozciągłości ponad 200 m, należy do zadań wymagających wcześniejszego planowania i zastosowania sprawdzonych procedur wiertniczych. Rekomendowane jest zastosowanie adekwatnego sprzętu wiertniczego wyposażonego w system płuczki umożliwiający krążenie płynu w zamkniętym obiegu.
- Rekomenduje się przygotowanie szczegółowych rozwiązań technicznych dla każdego z etapów prowadzonych prac. W instrukcji wiercenia należy zapisać metody oceny jakości otworu.
- W trakcie prowadzenia robót wymagane jest szacowanie ciśnień dennych, bilansowanie objętości zatłaczanej i odbieranej płuczki, bilansowanie fazy stałej powstałej w trakcie wiercenia.
- Nie jest rzeczą właściwą wyceniać projekty wiertnicze, charakteryzujące się znaczącym stopniem złożoności, w sposób ryczałtowy (za odcinek długości wykonanej instalacji). Oferty składane na wykonanie prac wiertniczych powinny zawierać opis możliwości technicznych jakimi dysponuje spółka. Proponowana cena powinna być tylko jednym z kryteriów oceny złożonej oferty.
- Czynniki ryzyka powinien znaleźć swoje odzwierciedlenie w zakładanym przez wykonawcę poziomie marży.
- Podana przez autora lista referencyjnych projektów przeprowadzonych przez polskie spółki wiertnicze wskazuje, że rozważany projekt wiercenia pod dnem jeziora Trupel mieści się w zakresie możliwości wykonawczych polskich kontraktorów. Rozciągłość jeziora wynosząca blisko 200 m oraz projektowane parametry rurociągu wskazują na konieczność zastosowania urządzeń klasy średniej (powyżej 400 kN)

Rozdział 14 Literatura

Cannadian Association of Petroleum Producers - Planning Horizontal Directional Drilling for Pipeline Construction. *September 2004*

Drilling Contractors Association (DCA): Wytyczne techniczne. Wydanie 3 – Aachen 2009

Horizontal Directional Drilling Quality Assurance / Quality Control – Wytyczne North American Society for Trenchless Technology przedstawione na No-dig 2006 w Nashville, USA w dniach 27 – 29 marca 2006.

Osikowicz R. – Instalacje rur o dużych średnicach w technologii HDD. Artykuł przedstawiony na I konferencji Inżynierii Bezwykopowej w Tomaszowicach we wrześniu 2003

Osikowicz R. – Rola płynu w procesie wiercenia długiego otworu kierunkowego. Artykuł zaprezentowany w trakcie konferencji Inżynierii Bezwykopowej w Tomaszowicach w czerwcu 2005. Strona | 15

Osikowicz R.: Zarządzanie jakością otworu kierunkowego. Referat wygłoszony w trakcie II Konferencji Inżynierii Bezwykopowej w Tomaszowicach 23 czerwca 2004.

Osikowicz R. – Po River HDD Crossing. Drilling Fluid Management. Analiza projektu HDD dla firmy LMR Drilling – sierpień 2007.

Osikowicz R. – Przegląd rynku HDD 2011. Inżynieria Bezwykopowa 1/2011

Osikowicz R.: XX lat technologii HDD w Polsce. Inżynieria Bezwykopowa 3/2012

Skonberg E., Caspary T. i inni: Guidelines for Successful Directional Crossing Survey Standards. Wytyczne DCCA Drilling Crossing Contractors Association 1999

Rozdział 15 Informacja o autorze

Robert Osikowicz (1966) - Absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Ma za sobą pracę w spółkach naftowych i firmach zajmujących się doradztwem w obszarze wiertnictwa i technik pokrewnych. Od 1996 roku związany z branżą wierceń kierunkowych HDD. Brał udział w realizacji kilkudziesięciu złożonych projektów wiertniczych w 14 krajach Europy. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Publikuje na łamach magazynów: Inżynieria Bezwykopowa, Geoinżynieria drogi tunele mosty, Baltic Transport Journal, Paliwa i Energetyka (jako redaktor naczelny). Jest autorem kilkunastu referatów wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach technicznych. Od wielu lat prowadzi seminaria szkoleniowe dla firm wiertniczych. Jest członkiem organizacji DCA Drilling Contractors Association, zrzeszającej firmy wiertnicze, firmy projektowe oraz producentów sprzętu i dostawców technologii związanych z branżą wierceń kierunkowych. Prowadził szereg programów badawczych dotyczących technologii płynów wiertniczych i wierceń kierunkowych. Na zlecenie Polskiego Stowarzyszenia Technologii Bezwykopowych opracowuje dokument mający zawierać rekomendacje i wytyczne dla projektantów i wykonawców HDD. Posiada uprawnienia wyższego dozoru górniczego w zakresie wierceń obrotowych poszukiwawczych za ropą i gazem. Certyfikat uzyskany został w Okręgowym Urzędzie Górniczym w Krośnie w roku 1997.

Kontakt: roe@robertosikowicz.com

Sporządził:

Robert Osikowicz
mgr inż. wiertnik