

Technologie bezwykopowe na sześciu kontynentach, cz. 5



tekst: inż. **JOANNA KRÓL**, Politechnika Świętokrzyska
zdjęcia: „**TRENCHLESS INTERNATIONAL**”, **HERRENKNECHT AG**,
PROKASRO MECHATRONIK GmbH, **RISANAMENTO FOGNATURE**
S.p.A., **RS TECHNIK AG**



W cyklu *Technologie bezwykopowe na sześciu kontynentach* wraz z Polską Fundacją Technik Bezwykopowych przedstawiamy zarys problematyki pierwszego w 2014 r. numeru czasopisma „Trenchless International”.

1. Laureat I nagrody No-Dig Award, przyznawanej przez ISTT

Każdego roku ISTT (*International Society for Trenchless Technology*) prezentuje laureatów nagród *No-Dig Award* w różnych kategoriach. Zgłoszenia nadsyłane są z całego świata i dotyczą wszystkich obszarów technologii bezwykopowych. W 2013 r. po raz drugi w ciągu trzech lat nagrodę za projekt roku w kategorii rehabilitacja uzyskała firma Interflow (wcześniej, w 2010 r., nagrodzona za projekt odnowy kolektora kanalizacyjnego na zlecenie Wodociągów w Sydney). Omawiany projekt dotyczył rekonstrukcji kanału metodą powłok zwijanych spiralnie, ponownie na zlecenie Wodociągów w Sydney. Rehabilitacja odcinków sieci kanalizacyjnej na terenie Lindcombe, Auburn i Granville (samorządy lokalne wchodzące w skład aglomeracji Sydney) była jednym z największych wyzwań w historii firmy Interflow. Projekt obejmował odnowę żelbetowego kanału o średnicy 900 mm i łącznej długości ok. 1,2 km, którego zagłębienie dochodziło do 22 m. Rurociąg poddawany odnowie odprowadzał duże ilości ścieków, co oznaczało, że musiał pozostać czynny przez cały okres trwania prac. Ponadto był zlokalizowany w trudnych warunkach, w pobliżu skrzyżowania głównej drogi z magistralą gazociagową. Wybrana metoda musiała także

zapewnić możliwość pełnego powrotu odnawianego kanału do eksploatacji w czasie krótszym niż trzy godziny.

Firma Interflow wykonała zlecenie przy użyciu posiadanych w swoim asortymencie rur Expanda oraz Rotaloc (rury spiralnie zwijane), konieczne jednak było zastosowanie rur o większej sztywności – Sekisui Expanda Pipe. Dodatkowo ukończenie projektu z zachowaniem pełnego przepływu ścieków wymagało budowy bajpasu, a to z kolei wiązało się z wykonaniem głębokiego wykopu ze względu na zagłębienie sięgające 20 m. ISTT uznało, że projekt firmy Interflow przyczynił się do rozwoju metod bezwykopowych na świecie, przy jednoczesnej dbałości o środowisko naturalne i zmniejszeniu poniesionych kosztów finansowych i społecznych.

2. Ciekawe realizacje z zastosowaniem technologii bezwykopowych

2.1. Nowo skonstruowane urządzenie TBM do budowy tunelu drogowego pod cieśniną Bosfor, łączącego Europę i Azję

Na początku czerwca 2013 r. w fabryce niemieckiej firmy Herrenknecht w Schwanau skonstruowano urządzenie do drążenia tuneli TBM (*tunnel boring machine*) o średnicy 13,6 m, które pod koniec roku przetransportowano do azjatyckiej części Stambułu, gdzie roz-

poczęło swoją podziemną misję drążenia kanału pod cieśniną Bosfor (ryc. 1). Kanał ten ma połączyć azjatycką i europejską stronę miasta, a co za tym idzie, będzie również stanowił połączenie dwóch kontynentów. Obecnie jedyną możliwość pokonania drogi pomiędzy dwiema częściami miasta samochodem dają dwa mosty. Stambuł to blisko 14-milionowa aglomeracja, dlatego przejechanie tej trasy w godzinach szczytu może zająć nawet dwie godziny. Aby ułatwić mieszkańcom i licznie odwiedzającym Stambuł turystom tę podróż, podjęto decyzję o budowie podziemnego tunelu drogowego.

Przewidziano dwa pasy ruchu w każdym kierunku, znajdujące się na dwóch poziomach, stąd średnica wewnętrzna tunelu wyniesie 12 m. W najniższym punkcie zagłębienie będzie dochodziło nawet do 100 m. Całkowita długość drążonego tunelu to 5,4 km, z czego 3,34 km zostanie wydrążone za pomocą urządzenia TBM firmy Herrenknecht. Ze względu na trudne warunki prac wynikające z dużych głębokości oraz wysokiego ciśnienia wody, dochodzącego nawet do 12 barów, turecko-koreańskie konsorcjum YMSK, które jest odpowiedzialne za realizację projektu, zamówiło w firmie Herrenknecht specjalnie skonstruowane urządzenie.

Projekt jest zdecydowanie jedną z najtrudniejszych operacji drążenia tunelu spośród wykonywanych obecnie na świecie. Nawet jeśli w tunelu panuje ekstremalnie wysokie ciśnienie, konstrukcja urządzenia musi zapewniać możliwość wymiany elementów tnących w jak najkrótszym czasie i przy zachowaniu bezpieczeństwa. W efekcie powstało urządzenie do tunelowania, w którym ograniczono czas przeprowadzania prac konserwacyjnych. Dostęp do tarczy wiertniczej jest możliwy od tylnej części urządzenia, gdzie panuje ciśnienie atmosferyczne, stąd wszystkie rolki tnące oraz większość zębów skrawających można w bezpieczny sposób wymienić, jeśli tylko zajdzie taka potrzeba. Dodatkowo, w urządzeniu zastosowano zintegrowane czujniki zużycia narzędzi skrawających. Ponadto dyski tnące wyposażone są w system monitoringu obrotu dysków, dzięki czemu do kontenera sterowniczego dostarczane są w czasie rzeczywistym dane dotyczące parametrów pracy tarczy, m.in. wysokość temperatury dysków tnących. Na ich podstawie analizuje się i ocenia stan narzędzi i ewentualnie planuje ich wymianę.



Ryc. 1. Urządzenie TBM o średnicy 13,6 m niemieckiej firmy Herrenknecht [2]

2.2. Rekonstrukcja 56-letniego gazociągu w Dniepropetrowsku na Ukrainie z zastosowaniem technologii ciasnopasowanej Primus Line

Eksploatację gazociągu o średnicy 500 mm rozpoczęto w 1957 r. Jego całkowita długość wynosi 1205 m, zbudowany jest z rur stalowych o długości 5,0–5,5 m, łączonych za pomocą spawania. Po ponad 50 latach użytkowania, kiedy przepływ gazu osiągał wartość nawet 90 tys. m³/h, połączenia spawane zaczęły stwarzać zagrożenie dla bezpieczeństwa znajdującej się w pobliżu infrastruktury. Inżynierowie PAO DneproGAS zdecydowali się na jego rekonstrukcję.

Wykonawcą prac była ukraińska firma DneprRemont. Odcinek o długości

1137 m został poddany odnowie przy użyciu metody ciasnopasowanej Primus Line; była to pierwsza tego typu realizacja na Ukrainie. Na rycinie 2 pokazano przeciąganie nowej rury przez gazociąg. Pozostała część rurociągu, o długości 68 m, została wymieniona tradycyjnymi metodami. W przypadku technologii ciasnopasowanych wewnętrzne powierzchnie ścian odnawianego rurociągu muszą być całkowicie gładkie i pozbawione ostrych krawędzi. Jednak stalowy rurociąg był wykonany z pojedynczych rur, połączonych za pomocą 220 wewnętrznych pierścieni stalowych o wysokości 7–12 mm (grubość) i szerokości 35–45 mm. Prace związane z oczyszczeniem wnętrza rurociągu przeprowadzono przy użyciu robota KASRO 3.6. Urządzenie to jest jednostką samobiezną, napędzaną przez cztery silniki elektryczne (jeden dla każdej osi), które zapewniają dużą siłę ucięcia we wnętrzu rurociągu. Robot może być również przymocowany do ścian przewodu za pomocą próżniowych przysawek, w przypadku przeprowadzania prac wymagających dużej precyzji.

2.3. Rekonstrukcja kanału w Albanii z wykorzystaniem metody reliningu oraz bezwykopowa naprawa metodą Part-Liner

Włoska firma zobowiązała się wybudować system sieci kanalizacyjnej, który będzie odprowadzał ścieki z miasta Golem i hoteli położonych wzdłuż wybrzeża do oczyszczalni ścieków w Kavajë. W sumie projekt obejmował 6 km rurociągów kanalizacji grawitacyjnej z PE o średnicach nominalnych 400–700 mm i ok. 120 studzienek również wykonanych z PE o głębokościach od 3 m do nawet 6 m. Na terenie projektowanych prac zidentyfikowano grunty piaszczyste i gliny, wysokość zwierciadła wód podziemnych kształtowała się na poziomie 1 m p.p.t. Odległość od linii brzegowej wynosiła ok. 120 m. Rycina 3 pokazuje, z jak trudnymi



Ryc. 3. Warunki gruntowo-wodne na placu budowy, Albania [4]



Ryc. 2. Wprowadzanie nowej rury do istniejącego gazociągu [1]

warunkami gruntowo-wodnymi zmagają się ekipa pracownicza.

W połowie 2012 r. wykonawca zwrócił się o pomoc do firmy Risanamento Fognature. Prośba dotyczyła przeprowadzenia inspekcji rurociągu, ponieważ chociaż prace zostały dopiero co zakończone, już zmagano się z infiltracją wód gruntowych i piasku do wnętrza przewodu na złączach oraz deformacją studzienek rewizyjnych. Po przeprowadzeniu inspekcji CCTV opracowano projekt odnowy kanału. Ponad 2 km rurociągu o średnicy DN 500 zostało poddanych rekonstrukcji metodą reliningu, przeprowadzono ok. 300 napraw punktowych z zastosowaniem metody Part-Liner w miejscach, gdzie zidentyfikowano nieszczelności, oraz wymieniono 70 zdeformowanych studzienek rewizyjnych.

Całkowity koszt inwestycji wyniósł kilka milionów €. Prace rozpoczęte w październiku 2012 r., zostały zakończone zgodnie z terminem w czerwcu 2013 r. Projekt stanowił duże wyzwanie dla wykonawcy, którego inne firmy nie chciały się podjąć ze względu na złożoność prac, krótki termin wykonania i komplikacje logistyczne na miejscu budowy.

2.4. Przekroczenie rzeki Beaver w Kanadzie z wykorzystaniem metody Direct Pipe

Firma Michels Canada ukończyła budowę rurociągu pod rzeką Beaver o długości 342 m (ryc. 4). Była to pierwsza tego typu realizacja w Kanadzie z wy-



Ryc. 4. Rury gotowe do wprowadzenia [1]

korzystaniem metody Direct Pipe. Wykonany odcinek jest częścią programu *Inter Pipeline Cold Lake and Polaris Expansion*, który obejmuje 560 km podziemnych rurociągów do transportu bitumu (uzyskiwanego z piasków roponośnych) pomiędzy Edmonton a Fort McMurray. Wykonawca wykorzystał różne metody bezwykopowej budowy na czterech prześściach o średnicy 1067 mm (42"), których długości wahały się od 342 m do 1297 m.

Firma Michels i partner projektowy *Inter Pipeline* rozpoczęli wstępny projekt i planowanie przekroczenia rzeki Beaver niemal rok przed rozpoczęciem projektu w sierpniu. Instalację ukończono w ciągu ok. dwóch tygodni. Firma wykorzystwała technologię system *Direct Pipe*, która stanowiła kombinację systemu *Pipe Thruster* firmy *Herrenknecht* i mikrotunelowania, z głowicą do mikrotunelowania również firmy *Herrenknecht*.

Metodę po raz pierwszy zastosowano w 2007 r. do przekroczenia *Renu* w Niemczech, w pobliżu miejscowości *Worms*. W przeciwieństwie do metody horyzontalnych przewiertów sterowanych (HDD) w metodzie *Direct Pipe* rurociąg został wykonany w jednym etapie. Dodatkową zaletą jest fakt, że z powodzeniem może być ona stosowana w przypadku trudnych warunków gruntowych (luźne piaski, żwir,



Ryc. 5. Wiertnica Coe Drilling's Prime PD500 w czasie pracy [1]

grunty skalne) lub gdy dostęp do punktu wejścia i wyjścia jest mocno ograniczony, a więc kiedy stosowanie metody HDD jest utrudnione.

2.5. Przekroczenie rzeki Maroochy w Queensland w Australii z zastosowaniem technologii HDD

Na początku 2013 r. firma *Coe Drilling* przyjęła zlecenie wykonania kolektora kanalizacyjnego metodą HDD pod rzeką *Maroochy*. Przekroczenie stanowiło jeden z etapów zamknięcia i przeniesienia oczyszczalni ścieków *Suncoast*, które zaplanowano na połowę 2014 r.

Po wyłączeniu z eksploatacji oczyszczalni, ścieki z tych obszarów będą pompowane za pomocą nowej stacji pompowej przez nowo powstały odcinek pod rzeką *Maroochy* do oczyszczalni *Finland Road*. Biorąc pod uwagę lokalizację oraz warunki gruntowe, szczegółowy projekt uwzględniał minimalizację ryzyka powstawania szczelin w podłożu gruntowym na skutek działania wody. Rurociąg został wykonany w warstwie gruntów aluwialnych, co zminimalizowało ryzyko powstawania szczelin w podłożu gruntowym. Budowę kolektora o średnicy DN 500 i długości 820 m, wykonanego z PEHD, rozpoczęto na początku sierpnia 2013 r. Wiercenie otworu pilotażowego wykonano od południowej strony rzeki, używając do tego wiertnicy *Coe Drilling's Prime PD500* (ryc. 5).

Podczas tego etapu ciśnienie w wierconym otworze było stale monitorowane za pomocą czujnika ciśnienia w celu zmniejszenia ryzyka powstawania spękań w warstwie podłoża gruntowego. Otwór pilotażowy o średnicy 311 mm (12,25") został wykonany bez żadnych komplikacji w połowie sierpnia 2013 r. Po pomyślnym zakończeniu pierwszego etapu przeprowadzono dwukrotne rozwiercanie, które

stanowiło ostatni etap przygotowywania otworu przed wprowadzeniem rurociągu. Przygotowany na powierzchni terenu rurociąg znajdował się po północnej stronie rzeki. Jego montaż pomyślnie ukończono w połowie września 2013 r. Prace trwały ok. półtora miesiąca.

2.6. Wykonanie odcinka kanalizacji ogólnospławnej w Portland w Oregon (USA) z zastosowaniem metody mikrotunelowania

Podczas ulewnych deszczy w Portland dochodziło do przepełnienia kanalizacji ogólnospławnej i część zanieczyszczeń spływała do rzeki *Willamette*. Aby temu zapobiec, podjęto budowę nowego odcinka kanalizacji, za pomocą którego część ścieków będzie odprowadzana do stacji *Swan Island*. Projekt obejmował budowę rurociągu żelbetowego o średnicy 2133 mm (84") i długości 2103 m (odcinek wykonano w pięciu etapach) oraz odcinka o średnicy 1371 mm (54") i długości 290 m (odcinek wykonany w jednym etapie).

Oba odcinki zrealizowano metodą mikrotunelowania. Jednym z utrudnień była obecność gruntów miękkoplastycznych, które nie zapewniały odpowiedniej nośności, wymaganej do prawidłowej obsługi głowicy do mikrotunelowania. Eliminacja tej przeszkody wiązała się z wymianą gruntu w obszarze występowania gruntów o słabej nośności w celu wsparcia urządzenia podczas jego przemieszczania się. Wykorzystano sprzęt *CSM* (frez składający się z dwóch bębnow skrawająco-mieszających, *cutter soil mixing*) umożliwiającą wykonanie paneli tworzących ciągłą ścianę wodoszczelną. Urządzenie wykorzystano też do budowy szybu startowego (ryc. 6) i szybu docelowego, osiągających głębokość od 10,67 m do 22,86 m.

Opierając się na zaleceniach zespołu projektowego, miasto i wykonawca nabyli nowe urządzenie do mikrotunelowania firmy *Herrenknecht AVND 2000*, zdolne wykonać rurociąg o średnicy 2133 mm (84") i całkowitej długości 2103 m, zbudowany z rur przeciskowych żelbetowych. Głowica do mikrotunelowania o długości 12,19 m z powodzeniem wydrążyła tunel przez wykonaną przegrodę wodoszczelną w gruntach o słabej nośności, jak również przez żwiry, gruz i kamienie. Po wykonaniu odcinka tunelu o długości 274,32 m przeprowadzono kontrolę w celu oceny stanu tarczy urabiającej i ewentualnej wymiany zużytych elementów tnących.



Ryc. 6. Szyb startowy urządzenia TBM [1]

Każdy z pięciu wykonanych odcinków 84-calowego rurociągu miał ponad 335,28 m długości, rekordowo długi odcinek liczył 515,11 m i przechodził pod ruchliwą trasą US Route 30. Jeden z odcinków drążonego tunelu wymagał użycia dużej siły ze względu na obecność gruntów skalnych. Natychmiastowa analiza zapisów dotyczących użytej siły przeciskowej oraz płuczki bentonitowej umożliwiła wykonawcy kontynuowanie prac po dostosowaniu ilości podawanej płuczki bentonitowej do zmieniających się warunków gruntowych. Projekt został zakończony w terminie.

3. Wybrane firmy promujące się w czasopiśmie „Trenchless International”

3.1. Technologia MaxLiner

Szwajcarska firma RS Technik oferuje metodę MaxLiner, która opiera się na odnowie przewodów z użyciem utwardzanych powłok żywicznych. To, co wyróżnia tę technologię na tle pozostałych metod CIPP, jest zakres średnic, dla których może być ona stosowana: 50–400 mm. Stąd możliwa jest tu odnowa wewnętrznych



Ryc. 7. Wprowadzenie powłoki do wnętrza przykanalika [5]

instalacji kanalizacyjnych, tj. pionów kanalizacyjnych, pionowych rur spustowych, a także przykanalików (ryc. 7). Maksymalna długość jednorazowo wykonanego odcinka wynosi 100 m. Powłoka swobodnie pokonuje łuki do 90°, może być też stosowana do wykonywania syfonów. Metoda nie posiada także ograniczeń związanych z materiałem odnawianych przewodów. Instalacja odbywa się przez istniejącą studzienkę lub np. otwór rewizyjny w pionowej rurze spustowej. Ostatnią czynność, tj. otwarcie przewodów bocznych, których wejście zostało zaślepienie przez nowo powstałą rurę, może być przeprowadzona przy użyciu robotów, które firma RS Technik również posiada w swojej ofercie. Mogą być one wykorzystywane w rurach o średnicy od 80 mm do 600 mm.

3.2. Urządzenia do tunelowania firmy Robbins

Firma Robbins z siedzibą w Solon w USA posiada w swojej ofercie urządzenia do drążenia tuneli o dużych średnicach (TBM) oraz głowice do mikrotunelowania. Produkowane przez firmę urządzenia TBM wykonywane są w czterech wariantach konstrukcyjnych, w zależności od warunków gruntowych i wymagań projektowych. Średnice dostosowywane są każdorazowo do wielkości drążonego tunelu i osiągają wartości od 1,6 m do 15 m. Urządzenia TBM Robbins wykorzystano m.in. przy budowie metra w Moskwie (średnica 6,6 m) czy budowie trzeciej linii metra w Nankin we wschodnich Chinach (średnica 6,5 m). Ponadto firma oferuje systemy do usuwania urobku

gruntowego, zapewniające dużą prędkość jego odprowadzania – ponad 1000 t/h. Urobek może być odprowadzany z głębokości nawet 200 m i na odległość kilku kilometrów. Dodatkowo w miejscu składowania urobku, w pobliżu placu budowy, montowane są osłony chroniące przed opadami atmosferycznymi, zamrażaniem oraz przed rozprzestrzenianiem się pyłu.

3.3. Roboty kanalizacyjne firmy ProKASRO

Firma ProKASRO jest producentem robotów kanalizacyjnych, które w zależności od typu urządzenia mogą być stosowane dla średnic od 100 mm do 1000 mm, istnieje również możliwość połączenia kilku urządzeń. Mogą być one wykorzystywane m.in. do frezowania, szlifowania, napraw miejscowych, otwierania i uszczelniania przykanalików. Najnowszym produktem firmy jest robot przeznaczony do stosowania w przykanalich (ryc. 8); zakres obsługiwanych średnic to 100–200 mm. Wyposażony jest w trzy kamery, które umożliwiają podgląd obszaru prac w perspektywie 360°. Jego elastyczna budowa pozwala na pokonywanie łuków 90°, co umożliwia jego łatwe wprowadzenie w sytuacji, gdy dostęp do punktu wejścia jest mocno ograniczony. Długość przewodu, a co za tym idzie maksymalna możliwa odległość, na jaką można wprowadzić urządzenie, wynosi 30 m.



Ryc. 8. Najnowszy robot kanalizacyjny firmy ProKASRO [3]

Literatura

- [1] „Trenchless International” 2014, Issue 22
- [2] www.herrenknecht.com
- [3] www.prokasro.de
- [4] www.risanamentofognature.it
- [5] www.rstechnik.com

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW.