

# TECHNOLOGIE BEZWYKOPOWE

## na sześciu kontynentach, cz. 18



tekst: dr hab. inż. EMILIA KULICZKOWSKA,

prof. PŚk, mgr inż. MICHAŁ SITARSKI,

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska Geomatyki i Energetyki,

zdjęcia: TRENCHLESS INTERNATIONAL

W cyklu *Technologie bezwykopowe na sześciu kontynentach*, przygotowywanym we współpracy z Polską Fundacją Techniki Bezwykopowych, przedstawiamy skrót najciekawszych artykułów zamieszczonych w 36. numerze „Trenchless International”.

### 1. Wydarzenia promujące techniki bezwykopowe

#### 1.1. Trenchless World Congress 2017

Organizowany przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Technologii Bezwykopowych (ISTT) i Kolumbijski Instytut Technologii i Techniki Infrastruktury Podziemnej (CISTT) Światowy Kongres Technologii Bezwykopowych (*Trenchless World Congress*) odbył się 25–27 września 2017 r. w centrum wystawienniczo-konferencyjnym Plaza Mayor w Medellín w Kolumbii. To wydarzenie pozwoliło uczestnikom na zapoznanie się z najnowocześniejszymi ofertami branży bezpośrednio od ekspertów. W ramach kongresu zorganizowano konferencję, kursy szkoleniowe oraz część wystawienniczą, na której prezentowały się firmy z całego świata. Zaproszeni prelegenci z różnych krajów przedstawiali treści związane z technikami bezwykopowymi. Usłyszeć można było informacje na temat bezwykopowej budowy, rehabilitacji, inspekcji, oceny stanu technicznego, a także prac badawczych oraz innowacji w przemyśle. Jedyne polski referat na tym kongresie – *Bezpieczeństwo konstrukcyjne przewodów wodociągowych* – został wygłoszony przez prof. Andrzeja Kuliczkowskiego, prezesa zarządu Polskiej Fundacji Techniki Bezwykopowych, reprezentującego na nim Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej. Referat ten, przygotowany wspólnie z dr hab. inż. Emilią Kuliczkowską, prof. PŚk, i dr inż. Anną Parką, przedstawiał różne konsekwencje najpoważniejszych awarii magistrali wodociągowych, jakie wydarzyły się ostatnio w dużych aglomeracjach miejskich w kilku krajach. Następnie omawiał 16 najważniejszych przyczyn awarii magistrali wodociągowych, a w dalszej części wskazywał na potrzebę wykonywania ekspertyz konstrukcyjnych magistrali wodociągowych oraz na niezbędny ich zakres. W ostatniej części wygłaszanego referatu omówione zostały różne problemy, mające istotny wpływ na prawidłowe wykonywanie obliczeń statyczno-wytrzymałościowych, których celem jest ustalenie

współczynnika bezpieczeństwa konstrukcyjnego rur. Referat zakończył się wskazaniem wpływu uzyskanej wartości współczynnika bezpieczeństwa konstrukcyjnego rur na dobór odpowiednich technologii bezwykopowej rehabilitacji przewodów wodociągowych.

W trakcie trwania kongresu prowadzono również kursy związane z technologiami bezwykopowej budowy, takimi jak mikrotunelowanie, horyzontalne przewiertki sterowane, przeciski hydrauliczne oraz wymiana przewodów w technologii *pipe reaming*. Podczas trwania kongresu w części wystawowej można było zapoznać się z najnowszymi produktami, urządzeniami oraz technologiami prezentowanymi przez firmy z całego świata [2].

#### 1.2. No-Dig Down Under 2017

W dniach 12–15 września 2017 r. w centrum konferencyjno-wystawienniczym Gold Coast w stanie Queensland w Australii odbyła się konferencja i wystawa *No-Dig Down Under 2017*. Wydarzenie to zostało zorganizowane przez Australijskie Stowarzyszenie Technologii Bezwykopowych (ASTT) pod hasłem *Ochrona przeszłości. Wspieranie przyszłości*. Głównymi tematami były bezpieczeństwo, szkolenia, środowisko i zrównoważony rozwój. W otwartej 12 września 2017 r. hali wystawowej zapoznawano się z najnowszymi produktami i innowacjami w branży technologii bezwykopowych. Dzień później rozpoczęto część konferencyjną, w czasie której poruszano zagadnienia związane z projektowaniem, bezwykopową budową i renowacją oraz oceną stanu technicznego i mapowaniem infrastruktury podziemnej. 14 września odbyła się gala wręczenia nagród *ASTT Awards 2017*. Nagrody przyznawano w kategoriach: Człowiek Roku, Młody Człowiek Roku, Nowa Technologia, Projekt Roku – Nowa Instalacja oraz Projekt Roku – Rehabilitacja. Wydarzenie zakończyła sesja promująca współpracę przedsiębiorstw użyteczności publicznej ze specjalistami z branży bezwykopowej [3].

## 2. Wybrane inwestycje zrealizowane przy użyciu technologii bezwykopowych

### 2.1. Rurociąg Dakota Access otwarty dla biznesu

Po długim okresie niepewności i wstrząsów politycznych przez rurociąg Dakota Access zaczęła płynąć ropa naftowa. Prace nad projektem, w którym do kilku przekroczeń przeszkód wodnych wykorzystywane były horyzontalne przewiertki sterowane (HDD) [4], wznowione zostały dzięki jednej z pierwszych decyzji Donalda Trumpa po objęciu przez niego urzędu prezydenta.

Jeden z najbardziej kontrowersyjnych projektów rurociągów w Stanach Zjednoczonych w ostatnim czasie został zakończony z pewnymi opóźnieniami. Projekt wart 3,78 mld USD zakładał budowę 1875 km rurociągu transportującego ropę naftową z Bakken w Dakocie Północnej przez Dakotę Południową i Iowa do Patoka w stanie Illinois (ryc. 1). Ukończony w kwietniu 2017 r. rurociąg ma przepustowość na poziomie 90 630 m<sup>3</sup>/d (570 tys. baryłek ropy na dobę) i zapewnia 12 tys. miejsc pracy w regionie. Budowa postępowała zgodnie z zaplanowanym harmonogramem i budżetem, dopóki nie została oprotestowana przez lokalną i międzynarodową społeczność. Protesty te pojawiły się ze względu na sąsiedztwo Dakota Access z wodociągiem zaopatrującym rezerwat Indian w Dakocie Północnej. Ostatecznie inwestycja utknęła w martwym punkcie, gdy Korpus Inżynieryjny Armii Stanów Zjednoczonych (U.S. Army Corps of Engineers) zakwestionował pozwolenie na przewiert pod rzeką Missouri. Decyzję Korpusu uchylił Donald Trump pod koniec 2016 r., przesądzając o kontynuacji budowy rurociągu Dakota Access.

Część inwestycji znajdująca się w Dakocie Północnej składa się z ok. 576 km rurociągu ropy naftowej, który stopniowo zwiększa średnicę od 304,8 do 508 oraz 609,6 i 762 mm (odpowiednio 12, 20, 24 i 30"). Ambitnie przewidziano wykonanie przewiertu HDD, a konkretnie kilku przejść wodnych. W tym celu jako materiał wykorzystano stalowe rury o grubości ścianki o 50% większej niż stanowią wymagania prawne. Rurociąg został zbudowany tak, aby przetrwać próbę czasu, ekstremalne warunki pogodowe czy katastrofy naturalne. Zaprojektowano go w taki sposób, by sprostął lub przekroczył wymagania konstrukcyjne i środowiskowe. Rurociąg został zainstalowany całkowicie pod ziemią, a wysokość przykrycia przekracza 1 m dla większości trasy. Przejścia technologią HDD wykonano na znacznie większych głębokościach, sięgających nawet 35 m pod jeziorem Oahe.

Poprowadzenie przewiertu HDD pod jeziorem Oahe wiązało się z wierceniem przez warstwy piasku znajdujące się przy powierzchni oraz warstwy gliny i łupków ilastych w najgłębszym punkcie. Ze względu na obecność w tym miejscu działających od ponad 30 lat siedmiu rurociągów zadanie to okazało się najbardziej wymagające.

Podczas opracowywania trasy rurociągu Dakota Access Korpus Inżynieryjny Armii Stanów Zjednoczonych przeprowadził 389 spotkań dotyczących projektu z 55 plemionami. W sumie odbyło się 559 spotkań z przywódcami społeczności, plemionami, przedsiębiorstwami, organizacjami rolnymi i obywatelskimi oraz wybranymi urzędnikami na szczeblu lokalnym, a także setki spotkań z agencjami regulacyjnymi i wydającymi zezwolenia na szczeblu lokalnym, stanowym i federalnym,

które trwały 2,5 roku przed opracowaniem końcowej trasy inwestycji. Przebieg rurociągu został zaprojektowany tak, aby transportować ropę w jak najbezpieczniejszy i najbardziej wydajny sposób. Zespół budowlany przeprowadził badania na miejscu proponowanej trasy, chcąc upewnić się, że uwzględniono każdy aspekt jakiegokolwiek ryzyka. Około 99,98% rurociągu zbudowano na gruntach prywatnych, przez które w wielu przypadkach przebiegały już inne rurociągi.

W trakcie projektowania dokonano wielu zmian trasy, aby ominąć obszary wrażliwe pod względem środowiskowym lub kulturowym. Tylko w samej Dakocie Północnej w trakcie procesu planowania wprowadzono 140 poprawek trasy rurociągu, w tym 17 uwzględniających obawy zainteresowanych stron.



Ryc. 1. Trasa rurociągu Dakota Access [1]

### 2.2. HDD w australijskich tropikach

W Cairns w stanie Queensland zrealizowano jeden z najdłuższych w Australii horyzontalnych przewiertów sterowanych [4] o średnicy 1 m. Do wykonania prac prowadzonych w ograniczonym obszarze, znajdującym się w sąsiedztwie popularnych obiektów sportowych i drogi głównej, wykorzystano technologię bezwykopową. Cairns jest miastem tropikalnym, położonym na północnym wybrzeżu Queensland, na skraju Morza Koralowego, w pobliżu Wielkiej Rafy Koralowej. Jest to popularny cel turystyczny, przyciągający każdego roku ponad 2 mln turystów.

Rada Regionalna miasta Cairns (CRC) skutecznie przeprowadziła rozbudowę głównych rurociągów kanalizacyjnych przy użyciu różnych technologii bezwykopowych. Do zbudowania 465-metrowego odcinka rurociągu o średnicy 1 m zaangażowano lokalnego kontrahenta. Prace związane z projektem obejmującym na kwotę 3,23 mln AUD (2,4 mln USD), obejmujące rozbudowę kanalizacji, były prowadzone w sposób pozwalający zminimalizować wszelkie zakłócenia przez nie spowodowane

#### 2.2.1. Przygotowania

Ścieki z Cairns trafiają do pompowni ścieków, która tłoczy je przez główny kanał o długości 4,3 km do oczyszczalni ścieków Marlin Coast. Kanał ten został zbudowany w 1970 r. z rur o średnicach od DN 660 do DN 1000 i zapewnił przepustowość na poziomie 600 dm<sup>3</sup>/s. W ciągu ostatnich 45 lat odcinki głównego kanału były stopniowo wymieniane. Z uwagi na wiek kanału zdecydowano również wymienić 465 m odcinka kanału głównego, biegnącego równolegle do najważniejszej sportowej dzielnicy miasta, w której odbywają się różne ważne wydarzenia sportowe. Na terenie ośrodka sportowego znajduje

się wiele cennych drzew, które dodają miastu tropikalnego charakteru oraz zapewniają cień widzom i przechodniom. Ośrodek ten zlokalizowany jest na obszarze depresyjnym osuszonego bagna, a pod powierzchnią terenu znajduje się muł morski i piasek.

Wzdłuż trasy rurociągu będzie również autostrada zapewniająca połączenie Cairns z jej północnymi plażami. Podczas planowania trasy przebiegu nowego rurociągu zdecydowano, że będzie on poprowadzony w miejscu istniejącego przewodu, po wschodniej stronie autostrady. Kluczem do wyboru metody budowy było zminimalizowanie zakłóceń dla mieszkańców, ochrona zabytkowych budynków oraz dużych drzew.

### 2.2.2. Budowa

Ograniczenia powodowane przez obiekty sportowe, autostradę oraz walory przyrodnicze spowodowały zastosowanie kombinacji technologii bezwykopowych, a mianowicie przecisku hydraulicznego (*pipe jacking*) [4] oraz horyzontalnego przewiertu sterowanego, które ograniczyły do minimum roboty ziemne. Prace obejmowały budowę odcinka o długości 35 m i średnicy DN 1219 przy użyciu przecisku hydraulicznego, 340 m rurociągu DN 1000 w technologii HDD oraz montaż 90 m rurociągu DN 813 w wykopie.

Trasa przebiegu rurociągu była równoległa do biegnącej tam autostrady. Punkt wejścia zlokalizowano przy jej skrzyżowaniu z Lily Street, a punkt wyjścia przy skrzyżowaniu z Rutherford Street (ryc. 2). Przygotowany do wciągania rurociąg polietylenowy ułożony był wzdłuż Lake Street, skręcał w Lily Street, z której kierowano go równoległe do autostrady (por. ryc. 2). Zagłębienie rurociągu sięgające 15,8 m pozwoliło na ominięcie istniejącej infrastruktury podziemnej. Budowa odcinka o długości 340 m i średnicy DN 1000 została zakończona w ciągu 29 dni, wliczając w to wciąganie i testowanie przewodu. Trudny w realizacji przewiert przez warstwy mułu morskiego i piasku wykonano z odchyleniem poziomym nieprzekraczającym 500 mm od planowanej osi trasy.

Przecisk hydrauliczny rur osłonowych DN 1219 o długości 35 m pod Rutherford Street został zrealizowany dzięki porozumieniu z właścicielami terenów prywatnych, gdzie wykonano otwory startowy i końcowy, które są niezbędne do budowy w tej technologii. Prace związane z przeciskiem prowadzono poza zasięgiem dróg, co zminimalizowało utrudnienia dla uczestników ruchu ulicznego.



Ryc. 2. Budowa w sąsiedztwie popularnych obiektów rekreacyjnych i ruchliwej głównej drogi [1]

Wykorzystanie technologii HDD pozwoliło na uzyskanie rezultatów, które nie byłyby możliwe przy użyciu innych metod. Prace nie zakłóciły użytkowania centrum tenisowego, pól hokejowych czy basenu Tobruk Memorial, gdzie w trakcie trwania budowy odbywały się ważne wydarzenia sportowe. Prace budowlane nie spowodowały usunięcia czy uszkodzenia ważnych drzew, a zakłócenia w środowisku były ograniczone do minimum. Technologia budowy nie wpłynęła również negatywnie na obiekty zabytkowe.

Główny Inżynier Rady Regionalnej miasta Cairns podkreśla, że największy wpływ na odniesiony sukces mają odpowiednio zorganizowana praca zespołowa oraz duże zaangażowanie głównego wykonawcy, podwykonawców, zespołów operacyjnych i inspektorów Rady Regionalnej.

### 2.3. Rehabilitacja magistrali wodociągowej przy ryzyku awarii

Ograniczone zasoby finansowe przedsiębiorstw wodociągowych sprawiają, że operatorzy sieci muszą decydować, czy dany odcinek sieci wodociągowej przeznaczyć do renowacji, czy też nie. Podczas podejmowania decyzji pod uwagę należy wziąć m.in. wpływ ewentualnej awarii na mieszkańców oraz prawdopodobieństwo jej wystąpienia. W ostatnim czasie w dwóch niemieckich przedsiębiorstwach wodociągowych do rehabilitacji przewodów magistralnych zastosowano system Primus Liner, który pozwala na znaczące wydłużenie czasu ich eksploatacji.

Przedsiębiorstwo Stadtwerke Flensburg, znajdujące się w północnych Niemczech, podjęło decyzję o poddaniu renowacji magistrali wodociągowej o średnicy 300 mm, wykonanej z polietylenu PE 80 w postaci odwróconego syfonu. Konsekwencje awarii tego fragmentu sieci wodociągowej, która funkcjonuje już od ok. 50 lat, dotknęłyby znaczącą część mieszkańców miasta. Rurociąg o długości 1240 m został zatopiony na dnie fiordu Flensburg w latach 70. XX w. (ryc. 3). Przebieg trasy przewodu po wydłużonym łuku oraz jego lokalizacja w dnie morskim uniemożliwiła budowę nowego wodociągu. Aby zapewnić dostawy wody pitnej, zdecydowano się na rehabilitację przy użyciu systemu Primus Liner [4], który spełniał postawione warunki (pokonywanie łuków do 30°, ciśnienie robocze do 10 b).

Technologia ta wykorzystuje elastyczną wykładzinę (liner), zdolną do pracy pod wysokim ciśnieniem. Jej wielowarstwowa struktura i bardzo mała grubość ścianki wpływają na wysoką elastyczność i wytrzymałość materiału. Warstwa zewnętrzna wykonana jest z odpornego na ścieranie polietylenu, a warstwa nośna z tkaniny kevlar®, bez szwu pomiędzy warstwami. Elastyczność wykładziny pozwala na pokonywanie łuków do 45° na długości do 2500 m. Do renowacji we Flensburgu został wybrany Primus Line® dopuszczony do kontaktu z wodą pitną, którego średnica wynosiła 250 mm. Posiada on hybrydową strukturę jednowarstwową i może być stosowany przy ciśnieniach roboczych do 1,5 MPa.

W celu zebrania informacji na temat stanu rurociągu poddano go inspekcji za pomocą kamery. Inspekcja wykazała przetarcia oraz niewielkie ilości osadów na ścianie rury. Przewód oczyszczono metodą tłokową i wysokociśnieniową. Wykładzina została uformowana w fabryce na kształt litery U, zwinięta w rolkę i dostarczona na miejsce budowy. Powłokę o długości

1240 m zainstalowano w ciągu 3 godzin przy użyciu wciągarki linowej podczas jednoetapowego przeciągania. Technika składania wykładziny pozwala na znaczną redukcję siły potrzebnej do wciągania. Do uzyskania przez linerżądanego, okrągłego i trwałego kształtu użyto wody, a następnie sprawdzono jego szczelność. Trwająca osiem dni roboczych rehabilitacja rurociągu wydłużyła czas jego eksploatacji o kolejne dziesięciolecia.



Ryc. 3. Trasa instalacji 1240-metrowej powłoki Primus Line® [1]

Realizacja z użyciem systemu Primus Line® miała miejsce również w Passau (Pasawa) w południowych Niemczech. Renowacji poddano tam 220-metrowy odcinek stalowego wodociągu o średnicy 400 mm, który znajduje się w korpusie mostu Marienbrücke. Rurociąg ten został zbudowany w 1977 r. i zawierał kompensator zapobiegający negatywnym skutkom zjawiska rozszerzalności materiałów. Renowacja wykonana po 40 latach jego eksploatacji miała na celu zagwarantowanie dostaw wody pitnej dla mieszkańców miasta. Do renowacji zastosowano system Primus Line®, który może przechodzić przez kompensator, zachowując jego właściwości, oraz spełnia warunek ciśnienia roboczego na poziomie 1 MPa.

Inspekcja za pomocą kamery wykazała ubytki w powłoce cementowej rurociągu, brak powłoki na kompensatorze, osady oraz inkrustację. Rurociąg został poddany czyszczeniu mechanicznemu przy użyciu tarcz gumowych, skrobaków oraz frezu. Również w tym przypadku wykładzinę wprowadzono za pomocą wciągarki linowej, natomiast do jej kalibracji użyto sprężonego powietrza. Rehabilitację zakończył test szczelności. Całość robót została wykonana w ciągu pięciu dni i nie zakłóciła lokalnego ruchu.

#### 2.4. Wielkowymiarowy relining w Chicago

Podczas prac przygotowawczych do odbudowy stacji kolejowej Wilson w Chicago napotkano na ogromnych rozmiarów kanał ściekowy, znajdujący się bezpośrednio pod torami kolejowymi. Ocena stanu technicznego kanału wykazała liczne uszkodzenia w postaci rys i pęknięć, które kwalifikowały go do naprawy. W kanale znajdowały się również wymagające usunięcia osady. Po przeanalizowaniu wielu czynników i różnych możliwości do zastosowania technologii renowacji wybrano utwardzane na miejscu powłoki żywiczne (CIPP) [4].

Ze względu na dużą średnicę kanału, wynoszącą 3,05 m (120"), niezbędne było skrupulatne podejście do każdego z aspektów renowacji. Projekt obejmował budowę dwóch szybów dostępowych dla instalacji powłoki CIPP oraz trzeciego

szybu dla bajpasu zrzucającego 150 tys. m<sup>3</sup> ścieków na dobę. Rozmiar wykładziny, ruchliwe otoczenie, przepływ ścieków oraz potrzeba koordynacji logistyki w celu minimalizacji zakłóceń dla mieszkańców, biznesu i innych prac budowlanych przesądziły o znacznej trudności wykonania projektu. Rozmiary powłoki CIPP spowodowały, że konieczne stało się zaprojektowanie specjalnych urządzeń pracujących na placu budowy, służących do jej przenoszenia czy nasączenia (ryc. 4). Projekt z powodzeniem zakończono przed terminem w marcu 2016 r. Realizacja inwestycji nie spowodowała zakłóceń w pracującym systemie kolei podmiejskich. Ze względu na bezwykopolą charakterystykę wybranej technologii renowacja ogromnego kanału nie wpłynęła negatywnie na projekt odbudowy stacji kolejowej. Nie zgłoszono też żadnych zdarzeń dotyczących bezpieczeństwa oraz wpływu na społeczność lokalną i ruch uliczny.



Ryc. 4. Przygotowywanie powłoki CIPP [1]

#### 2.5. Nowe przedsięwzięcie Elona Muska

Pod koniec 2016 r. Elon Musk, założyciel SpaceX i Tesla Inc. powołał nowy podmiot, The Boring Company, który ma zajmować się budową maszyn do tunelowania. Jak twierdzi pomysłodawca projektu, przedsięwzięcie było reakcją na korki uliczne w Los Angeles. W kwietniu 2017 r. pojawiły się pierwsze prezentacje maszyny do tunelowania z logiem firmy (ryc. 5). Po tych wydarzeniach Elon Musk przedstawił również swoją wizję skomplikowanych tuneli podziemnych, ułatwiających transport pojazdów, towarów i (lub) ludzi przy użyciu elektrycznych łyżew (sanek), które mogłyby osiągać prędkość powyżej 200 km/h.

The Boring Company podjęło próby wykonania tunelu pod Los Angeles, aby rozpocząć to, co – jak uważa firma – w przyszłości stanie się oczywiste. Zauważa również, że sieć takich tuneli może być wykonywana na wielu poziomach, a każda kolejna warstwa tuneli może rozładowywać narastający ruch w okolicy. Na stronie internetowej firmy można znaleźć informacje dotyczące wykorzystania silników elektrycznych do zasilania maszyn do tunelowania, które umożliwiłyby zmniejszenie kosztów budowy tuneli. The Boring Company poszukuje też możliwości wykorzystania urobku powstającego w trakcie prac wiertniczych.

Elon Musk oraz The Boring Company pracują nad rozwiązaniem, które znacznie zmniejszyłoby koszty wykonywania tuneli. Pierwszy krok do tego celu to zmniejszenie średnicy

z wymaganych obecnie 8,5 do 4,5 lub nawet 3,6 m. Na takie zmniejszenie średnicy pozwoliłoby wykorzystanie elektrycznych sanek, które transportowałyby samochody, produkty i ludzi w sposób szybki i bezpieczny, eliminując przy tym wytwarzanie spalin przez samochody. Wyłączenie z ruchu pojazdów spalinowych pozwoliłoby również na zmniejszenie kosztów wentylacji. Zmniejszając dwukrotnie średnicę tunelu, uzyskuje się czterokrotną redukcję powierzchni jego przekroju poprzecznego, co w oczywisty sposób znacząco wpływa na koszty budowy. Rozwiązania mające doprowadzić do szybkiej budowy tanich tuneli mogłyby przyczynić się do urzeczywistnienia projektu Hyperloop, który zakłada transport z prędkościami przekraczającymi 1000 km/h na znaczne odległości z zachowaniem bezpieczeństwa.

Aby poprawić wydajność maszyn do tunelowania, planuje się wzrost ich mocy, zwiększenie automatyzacji, użycie energii elektrycznej oraz zastosowanie systemów do ciągłego tunelowania. Rozwiązania te, w połączeniu ze zmniejszeniem średnicy tunelu, mogłyby zmniejszyć koszt tunelowania nawet ośmiokrotnie.

Pierwszy tunel firmy będzie przebiegał z międzynarodowego lotniska w Los Angeles (LAX) do Culver City, Santa Monica, Westwood i Sherman Oaks. Przejazd 18 km z LAX do Westwood, ułatwiony przez elektryczne sanki w tunelach, skróciłby czas podróży do 5 minut.

## 2.6. Mikrotunelowanie w Paisley

Projekt kanalizacji w mieście Paisley w Szkocji przewiduje budowę kolektorów ściekowych o dużej średnicy oraz przelewów burzowych w centrum miasta, które mają zredukować częstotliwość podtopień podczas nawałnic. Kanały, o których mowa, mają być zbudowane w technologii mikrotunelowania [4] na głębokości od 4 do 20 m przez zmienne warstwy geologiczne. Technologia mikrotunelowania została wybrana ze



Ryc. 5. Segmenty maszyny do tunelowania firmy The Boring Company w szybie startowym [1]



Ryc. 6. Opuszczanie MTBM do szybu startowego [1]

względu na minimalizację wpływu na mieszkańców, okoliczne firmy oraz ruch uliczny.

W kwietniu 2017 r. na plac budowy przybyła pierwsza z trzech maszyn do miktrotunelowania (MTBM; ryc. 6). Maszyna ma drążyć kanał o średnicy 1200 mm z zakładaną prędkością 8 m na dzień, urabiając przy tym ok. 45–50 t gruntu. MTBM sterowany jest zdalnie z centrum sterowania ponad szybem startowym. Maszyna ta zainstaluje pierwszy odcinek kolektora ściekowego, a dwie kolejne – kanały o średnicy 1500 i 1000 mm. Projekt kanalizacji w Paisley jest największym tego rodzaju przedsięwzięciem, jakie dotychczas realizowano w tym regionie. Jest częścią pięcioletniego programu wartego 250 mln GBP (321,8 mln USD), służącego poprawie jakości wód rzecznych, środowiska naturalnego i zabezpieczenia przeciwpowodziowego regionu Glasgow. Projekt został rozpoczęty w 2016 r. i szacuje się, że będzie ukończony w ciągu dwóch lat.

## 2.7. Przygotowania podziemnej infrastruktury w Katarze

W ramach przygotowań do Mistrzostw Świata w piłce nożnej w 2022 r., które odbędą się w Katarze, prowadzone są tam inwestycje na niespotykaną do tej pory skalę. Szacuje się, że wydatki na inwestycje sięgają 500 mln USD na tydzień.

Po wyborze Kataru na organizatora mistrzostw w kraju zapadły decyzje rozpoczynające ogromne inwestycje. Głównym projektem w Doha, stolicy Kataru, jest metro. System metra ma zostać zbudowany w dwóch etapach: pierwsza faza obejmuje budowę trzech linii metra – czerwonej, żółtej i zielonej, złożonych z 37 stacji. W drugiej fazie ma powstać niebieska linia metra i kolejne 72 stacje. Główne prace tunelowe i budowa metra przebiegają podobnie jak na całym świecie, natomiast pewne prace są dużym wyzwaniem dla wykonawcy. Do takich prac należy zaliczyć budowę tuneli dostępowych do stacji metra. Ze względu na duże natężenie ruchu tunele te muszą być wykonywane w technologii bezwykopowej. Podczas budowy czerwonej linii powstało osiem takich tuneli dla pieszych, realizowanych w skałach wapiennych, na jakich leży Doha. Przykrycie tunelu nie było wystarczająco duże, aby możliwe było wykonanie prac bez dodatkowych podpór. Główny wykonawca zaproponował wykonanie odciążenia w postaci łuków rurowych o długości od 56 do 88 m, które pozwoliłyby na przejście do dalszego etapu prac. Do realizacji wspomnianych łuków rurowych użyto rur stalowych o średnicy 508 mm. Przyjęto dopuszczalne odchylenie na poziomie 90 mm ( $\pm 45$  mm w każdym kierunku). Pierwszy podwykonawca, który podjął się tego zadania, nie

sprostą zachowaniu wymaganej dokładności w budowaniu. Z tego powodu główny wykonawca zdecydował się na zmianę podwykonawcy na bardziej doświadczonego.

Do wiercenia w skałach wapiennych użyto wiertnic sprawdzonych przy wierceniu w skałach granitowych w Hongkongu. Do budowy początkowo użyto dostępnego na rynku urządzenia firmy Bohrtec (ryc. 7) z płaską głowicą nożową oraz urządzenia stworzonego specjalnie dla tego projektu, wyposażonego w płaską głowicę nożową i młot udarowy (DTH).

Po pierwszych problemach ze zużyciem się głowicy wiertniczej zdecydowano się przenieść urządzenie do innego szybu startowego. Zastosowano wówczas głowicę ślimakową, zgodnie z zaleceniami firmy Bohrtec. Pierwsze wiercenie trwało sześć dni i było wykonane z zachowaniem dopuszczalnego odchylenia. Kolejne wiercenia pozwoliły na optymalizację doboru głowicy i parametrów wiercenia, tak aby proces stawał się coraz bardziej wydajny. W rezultacie kolejne wiercenia były wykonywane w ciągu czterech, pięciu dni. Gdy na plac budowy dotarło urządzenie wyposażone w młot udarowy DTH, ekipa przystąpiła do wierzeń z jego wykorzystaniem. Pierwsze marsze trwały ok. pięciu dni, zachowując wydajność na poziomie 14 m na dobę. Podczas kolejnych wierzeń załoga zdobywała doświadczenie, co w rezultacie sprawiło, że kolejne wiercenia trwały dwa dni. Wszystkie wiercenia wykonane były z imponującą dokładnością. W kolejnych wierceniach pojawił się problem związany z obecnością wody gruntowej na trasie przewiertów. Aby wilgotne, lepkie partie gruntu nie zapchały głowicy urabiającej, do wnętrza otworu wtłaczano wodę pod wysokim ciśnieniem. Postęp prac ciągle zwiększał umiejętności załogi, co skutkowało wzrostem tempa robót. Większość wierzeń wykonywana była w mniej niż 30 godzin, a najszybsze wiercenie w 18,5 godziny. Wydajność ta obejmuje czas potrzebny do wiercenia, spawania i ustawiania wiertnicy. Po zakończeniu wierzeń rozpoczęły się prace wykopaliskowe dla tuneli znajdujących się pod osłoną łuków ze stalowych rur.

## 2.8. Wydłużenie czasu eksploatacji ceglanych kanałów w Kalkucie

Kalkuta w Indiach, będąca pod panowaniem brytyjskim do 1947 r., obecnie jest jednym z najbardziej zatłoczonych miast świata i liczy ponad 4,5 mln mieszkańców. Problemem skanalizowania miasta zajęto się w drugiej połowie XIX w. Wiktoriańskie kanały służyły miastu przez ponad 100 lat,



Ryc. 7. Wiertnica firmy Bohrtec pracująca nad łukiem rurowym w Doha [1]



Ryc. 8. 130-letni kanał ceglany w Kalkucie wymagający pilnej rehabilitacji [1]

lecz pod koniec XX w. ich stan techniczny wskazywał na konieczność przeprowadzenia gruntownego remontu (ryc. 8).

Jako pierwsze do renowacji wytypowano trzy główne kolektory ściekowe o łącznej długości 12 km. Projekt opiewający na 32 mln GBP (41 mln USD), realizowany w latach 2007–2011, przewidywał rehabilitację ceglanych kanałów przy użyciu technologii *slip-lining* oraz modułów rur żywicznych wzmocnianych włóknem szklanym (GRP) [4]. Ze względu na brak możliwości zmiany przepływu strumienia ścieków prace prowadzone były w godzinach nocnych (od 23 do 5), podczas ich najmniejszych przepływów. Zamiast wyłączenia z użytkowania kanałów, operacje wspomagano przepompowywaniem ścieków. Znaczne utrudnienia powstawały również podczas sezonów monsunowych występujących w tym regionie. Powodowały one zwiększone przepływy ścieków przez kanały, co skutkowało zakłóceniami w pracy przez trzy, cztery miesiące w roku. W projekcie uwzględniono takie kwestie, jak zdolności retencyjne kanału, przepustowość, przywrócenie wymaganej nośności, ograniczenie lokalnych podtopień, zapewnienie ochrony antykorozyjnej, możliwości czyszczenia i utrzymania oraz korzyści społeczno-środowiskowe. Projekt ten uznaje się za jeden z najbardziej udanych projektów rehabilitacji kanałów ceglanych przy użyciu modułów GRP.

## 3. Prezentacja ofert wybranych firm promujących się w „Trenchless International”

### 3.1. Aqua-Pipe do renowacji magistrali wodociągowych

System renowacji Aqua-Pipe® został opracowany przez zespół inżynierów firmy Sanexen. Aqua-Pipe to powłoka konstrukcyjna, zaprojektowana i wykonana zgodnie z wymogami dla wody pitnej. Ten kompozytowy materiał składający się z tkaniny poliestrowej (z wewnętrzną membraną polimerową zapewniającą wodoszczelność), nasączony specjalną żywicą epoksydową, dedykowany jest do renowacji starych magistrali wodociągowych w złym stanie technicznym. Produkt dostępny jest w średnicach od 150 do 600 mm (6–24”) i może stanowić konstrukcję, która jest w stanie samodzielnie

nie przenosić wszelkie obciążenia oraz ciśnienie wewnętrzne w rurociągu bez wsparcia starego, odnawianego przewodu. Wykładzina Aqua-Pipe jest nasączana żywicą epoksydową na miejscu wbudowania oraz przeciągana przez istniejący rurociąg. Kształt powłoki uzyskuje się przez ciśnieniowe przepchnięcie specjalnego tłoka, a jej utwardzenie wspomaga cyrkulacja gorącej wody. Rozwiązanie jest znacząco tańsze w porównaniu z tradycyjną, wykopową metodą wymiany rurociągu. Więcej informacji o tej technologii można znaleźć na stronie [www.aqua-pipe.com](http://www.aqua-pipe.com).

### 3.2. Wiertnice HDD od Forward Group

Forward Group jest międzynarodową firmą zajmującą się projektowaniem i produkcją urządzeń wiertniczych. Misją firmy jest zapewnienie wysokiej jakości urządzeń wiertniczych, które posiadają korzystny współczynnik jakości do ceny i pomagają klientom zwiększyć ich zyski. W ofercie znaleźć można różnego rodzaju wiertnice oraz niezbędne narzędzia i części zamienne. Forward Group posiada zespoły projektantów i inżynierów w Niemczech, Australii, Rosji i Chinach. Wiertnice HDD produkowane przez Forward z powodzeniem sprawdziły się w Rosji oraz byłych republikach Związku Radzieckiego. Pracuje tam ponad 200 urządzeń o sile uciągu od 11 do 550 t. Firma ciągle się rozwija, jest obecna na rynkach Europy, Azji i Afryki. Szczegółowe informacje na jej temat można znaleźć pod adresem [www.forwardrill.com](http://www.forwardrill.com).

### 3.3. HammerHead R200 – młot pneumatyczny zaprojektowany do wierceń kierunkowych (HDD)

Firma HammerHead Trenchless Equipment wprowadziła na rynek nowy młot pneumatyczny Roughneck R200, zaprojektowany do zastosowań w technologii horyzontalnych przewiertów sterowanych (ryc. 9). Jest to najmniejsze urządzenie z linii HammerHead Roughneck, mające rozszerzyć możliwości małych wiertnic, tak aby mogły skutecznie pokonywać skały oraz inne trudne warunki gruntowe. Urządzenie może być używane przez wykonawców zajmujących się branżą komunikacyjną, gazową, elektryczną i wodociągową. Głowica R200 wierce otwory pilotażowe o średnicy ok. 80 mm (3,125"). Stosowanie R200 pozwala na uzyskanie oszczędności związanych z możliwością wykorzystania niewielkich wiertnic w pracach, w których do tej pory sobie nie radziły (np. wiercenie w skałach). W omawianym urządzeniu sterowanie przepływem powietrza, które go zasila, odbywa się drogą elektroniczną. Operator ma możliwość regulacji przepływu powietrza od otwartego do zamkniętego w każdym momencie pracy, co ma duże znaczenie w przypadku zmiennych warunków gruntowych. Firma oferuje również większe modele młotów udarowych: R400, R500 i R 600. Wszystkie cztery modele są w stanie wiercić z prędkością 47,5 m/h z możliwością sterowania oraz są wyposażone w system marszu wstecznego *pullback kit*.



Ryc. 9. Młot pneumatyczny Roughneck R200 [1]

### 3.4. Wuxi Double Horse Drilling Tools (DHDT)

Firma Wuxi Double Horse Drilling Tools (DHDT) jest producentem akcesoriów wiertniczych do horyzontalnych przewiertów sterowanych. Fabryka firmy znajduje się w mieście Wixu w prowincji Jiangsu w Chinach, 130 km od Szanghaju, zajmuje powierzchnię 20 tys. m<sup>2</sup> i zatrudnia ponad 120 osób. DHDT produkuje przede wszystkim narzędzia podstawowe, kotwiące i wiertnicze. Do produkcji wszystkich produktów firmy używany jest specjalnie opracowany stop stali o wysokiej wytrzymałości, idealny do zastosowań naftowych i gazowych. Wytwarzane przez fabrykę żerdzie wiertnicze poddawane są badaniom nieniszczącym przy użyciu ultradźwięków, co gwarantuje ich wysoką jakość. Posiadają one również specjalnie zaprojektowane końcówki redukujące koncentrację naprężeń i zwiększające ich trwałość. Produkty firmy stosowane są na całym świecie, a zwłaszcza na rynkach Rosji, Australii, Azji Południowo-Wschodniej i Bliskiego Wschodu. Celem firmy jest ciągły rozwój procesów produkcyjnych i pracowników, aby zapewniać możliwie najwyższą jakość produktu i wsparcie techniczne dla klientów.

### 3.5. Hot Sleeve – płaszcz elektryczny do napraw punktowych pakerami

Firma Aussie Trenchless Supplies zaprezentowała autorskie rozwiązanie przyspieszające proces utwardzania termoutwardzalnych powłok żywicznych przy naprawach punktowych pakerami. Hot Sleeve to elektryczny płaszcz grzewczy, który jest elastyczny i ściśle dopasowany do istniejących, rozprężanych powietrzem pakerów naprawczych (ryc. 10). Pakery te transportują na miejsce uszkodzenia kanału powłokę naprawczą, a następnie dociskają ją do wewnętrznej powierzchni przewodu (zwiększając swoją objętość przy użyciu sprężonego powietrza), po czym następuje utwardzanie powłoki, wypuszczenie powietrza z pakera i wyciągnięcie go z przewodu. Urządzenie Hot Sleeve wykorzystuje do nagrzewania prąd stały, co prowadzi do biernego, ale szybkiego utwardzania żywicy. Proces może być ciągle kontrolowany, a redukcja czasu utwardzania wynosi ok. 60%. Fakt ten pozwala na znaczące zwiększenie wydajności ekip montażowych, a co za tym idzie – wzrost opłacalności. Właściciel firmy zapewnia, że system będzie ciągle rozwijany i dostępny w wielu krajach.



Ryc. 10. Płaszcz grzewczy Hot Sleeve o różnych długościach [1]

### Literatura

- [1] „Trenchless International” 2017, Issue 36.
- [2] [www.nodigcolombia.com](http://www.nodigcolombia.com)
- [3] [www.trenchless-australasia.com](http://www.trenchless-australasia.com)
- [4] *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska*. Red. nauk. A. Kuliczkowski. Wydawnictwo Seidel – Przywecki. Warszawa 2010.

