



# TECHNOLOGIE BEZWYKOPOWE

## na sześciu kontynentach, cz. 10



tekst: **mgr inż. KATARZYNA BĄBA**, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych

W cyklu *Technologie bezwykopowe na sześciu kontynentach*, przygotowywanym we współpracy z Polską Fundacją Technik Bezwykopowych, przedstawiamy skrót najciekawszych artykułów, które ukazały się w 28. numerze czasopisma „Trenchless International”.

### 1. Pracowite miesiące dla ISTT i jej członków

Minione miesiące dla ISTT oraz jej członków upłynęły pod znakiem promowania technologii bezwykopowych oraz wyróżnienia tych osób, które w sposób szczególnie przyczyniły się do ich rozwoju. Zadania te były realizowane w ramach m.in. konferencji *No-Dig* organizowanych przez poszczególnych członków ISTT.

W stolicy Niemiec od 24 do 27 marca 2015 r. trwała konferencja *No-Dig Berlin*, gdzie rozdano nagrody za realizację z zastosowaniem technologii bezwykopowych. Jedną z nich otrzymała firma Emschergerossenschaft za wybudowanie kolektora kanalizacyjnego o długości 47 km (był to jeden z największych projektów w Europie). W kategorii realizacji zagranicznych nagrodzono Krajowe Przedsiębiorstwo Wodociągowe z Arabii Saudyjskiej za budowę kolektora odprowadzającego ścieki w Meksce.

Kilkanaście dni później, 10–12 kwietnia, w Quingdao (Chiny) odbyła się 19. konferencja *No-Dig* zorganizowana przez stowarzyszenie CSTT, w której wzięli udział m.in. dr Samuel Ariaratnam oraz Enrico Boi, reprezentujący ISTT. Trzydniowemu spotkaniu towarzyszyła także wystawa, podczas której swoje produkty zaprezentowało 60 firm.

Kolejne konferencje przygotowane przez członków ISTT odbyły się na kontynencie europejskim. W kwietniu skandynawskie SSTT zorganizowało zjazd w szwedzkim Malmö (23–24 kwietnia), a UKSTT w brytyjskim Birmingham (24 kwietnia). 2–4 czerwca francuskie stowarzyszenie FSTT zaaranżowało 11. *Salon Ville Sans Tranchee* niedaleko Paryża, gdzie prezentowały się firmy działające w branży technologii bezwykopowych.

W lipcu konferencję zorganizowało japońskie stowarzyszenie JSTT, a w sierpniu entuzjaści technologii bezwykopowych mieli możliwość spotkania się w Ameryce Południowej, w brazylijskim São Paulo, gdzie 26–28 sierpnia ABRATT zorganizował *No-Dig*.

Kalendarium konferencji na wrzesień to: 8–11 września Queensland w Australii, 15–16 września Třeboň w Czechach oraz 28–30 września *International No-Dig* w Stambule w Turcji.

W tym miejscu warto wspomnieć, że już za kilka miesięcy, 12–14 kwietnia 2016 r., w Kielcach odbędzie się konferencja *No-Dig Poland*, połączona z wystawą zewnętrzną i wewnętrzną oraz pokazami technologii, organizowana m.in. przez Polską Fundację Technik Bezwykopowych (PFTT), na którą już teraz serdecznie zapraszamy.

Konferencje *No-Dig* mają na celu upowszechnianie technologii bezwykopowych oraz popularyzowanie wiedzy o korzyściach, jakie wynikają z ich stosowania. Na seminariach omawiane są technologie, przedstawiciele firm wykonawczych dzielą się swym doświadczeniami, przyznawane są nagrody w różnych kategoriach. Organizowane są również wystawy, na których firmy prezentują swoje produkty.

W kwietniu 2015 r. zorganizowano także *No-Dig Manila Summit* na Filipinach. W spotkaniach uczestniczyli przedstawiciele przedsiębiorstw wodociągowych, organizacje rządowe, a także inni słuchacze, w sumie ponad 100 delegatów. Szczyt był sponsorowany przez następujące firmy: Herrenknecht, Naylor, Saertex, Vermeer i Wavin. Uczestnicy spotkania mogli pozyskać wiedzę na temat bezwykopowych technologii, ich zalet, poznać szczegóły wybranych realizacji, a także obejrzeć prezentacje przygotowane przez firmy będące sponsorami tego wydarzenia.

19 maja 2015 r. były przewodniczący ISTT dr Samuel Ariaratnam podczas wizyty na Tajwanie wręczył dr. Tsung-Shen Liao nagrodę ISTT Lifetime Service Award za jego ogromny wkład w działalność stowarzyszenia CSTT oraz promowanie bezwykopowych technologii w Chinach. Tym samym został on czwartą osobą, którą dotąd uhonorowano tą prestiżową nagrodą.



Ryc. 1. Widok północno-zachodniego wybrzeża Australii z zaznaczonym przebiegiem gazociągu [5]

Szczegółowe informacje na temat wyszczególnionych konferencji można znaleźć w czasopiśmie „Trenchless International” oraz na stronach internetowych organizatorów.

## 2. Ciekawe realizacje z zastosowaniem technologii bezwykopowych

### 2.1. Budowa odcinka gazociągu w pobliżu Onslow w regionie Pilbara (Australia) z zastosowaniem technologii mikrotunelowania

Osiem miesięcy trwała budowa odcinka rurociągu o długości 1242 m, transportującego gaz z platformy wiertniczej na ląd. Było to pierwsze przekroczenie brzegu morskiego rurociągiem gazowym zbudowanym w technologii mikrotunelowania i jest to obecnie najdłuższy tunel w południowym Hemisphere. Realizacja odbywała się w ramach projektu *Wheatstone* firmy Chevron, którego zakończenie planowane jest na koniec 2016 r.

Gaz pozyskiwany z czterech złóż znajdujących się pod dnem morza będzie transportowany rurociągami do platformy, gdzie zostanie częściowo oczyszczony, skroplony i przesłany do dalszej obróbki nowo zainstalowanym rurociągiem o długości 225 km o nazwie *Trunkline*. Ostatni odcinek rurociągu, który dostarczy gaz na ląd, zbudowany w technologii mikrotunelowania, został zaznaczony linią przerywaną na rycinie 1.

Do budowy tego odcinka rurociągu rozważano zastosowanie metod wykopowych, technologii HDD oraz mikrotunelowania. Wybór padł na ostatnią metodę budowy, gdyż uznano ją za najbardziej innowacyjną, ekonomiczną i najmniej ingerującą w środowisko naturalne. Dzięki zastosowaniu tej technologii obecność sprzętu towarzyszącego budowie – zarówno na lądzie, jak i na morzu – została ograniczona do minimum. Przy wyborze sposobu wykonania rurociągu głównym czynnikiem decydującym był potencjalny wpływ na deltę rzeki Ashburton, siedliska roślin, a także oddziaływanie na procesy przybrzeżne.

Prace związane z budową mikrotunelu z rur żelbetowych, o średnicy wewnętrznej 2000 mm, rozpoczęły się wiosną 2013 r., a zakończyły w październiku 2013 r. Do mikrotunelowania za-

stosowano głowicę produkcji Herrenknecht. Zaangażowano do tego zadania australijskie firmy, w tym Atteris i Thies Tunnelling (obecnie Leighton Tunnelling). Zespół wykonujący przecisk użył innowacyjnej metody drążenia tunelu, pozwalającej przeciskać jednocześnie trzy rury, redukując czas rozmontowywania i montowania wyposażenia. Ponadto dzięki zastosowaniu najnowszego i najbardziej zaawansowanego systemu sterowania i kontroli wbudowano tunel z dokładnością do 135 mm.

Organizacja placu budowy także wzbudza podziw. Transport rur umożliwił specjalnie zaprojektowany zestaw wideł i dźwigni. Pozwolił on w łatwy sposób przenosić rury, odbierać je i umieszczać w szybie startowym. Do odzyskania głowicy mikrotunelowej z dna morza opracowano nową metodę. Było to bardzo trudne przedsięwzięcie i jednocześnie wyczyn osiągnięty tylko kilkanaście razy na świecie.

Technologia mikrotunelowania nigdy wcześniej nie została zastosowana do budowy rurociągu łączącego ląd z platformą w całej historii Chevronu, a nawet w całym przemyśle naftowym i gazowym w Australii.

### 2.2. Przecisk hydrauliczny rur CC-GRP pod torami kolejowymi w Cikowicach (Polska)

Tereny południowej części Polski są szczególnie narażone na wystąpienie powodzi ze względu na to, że znajdują się w obszarze dorzecza Wisły. Jedną z miejscowości, która ucierpiała w 2010 r. na skutek powodzi, były Cikowice w województwie małopolskim. Ukształtowanie terenu oraz nasyp kolejowy odgradzający miejscowość od strony północnej powodowały, że woda zamiast odpływać, gromadziła się, podtapiając Cikowice i okoliczne wioski.

W roku 2014 trwała modernizacja linii kolejowej E30/C-E30 przebiegającej przez nasyp. W ramach tego projektu za pomocą technologii przecisków hydraulicznych pod torami kolejowymi zainstalowano cztery przepusty o średnicy 3000 mm i długości 34 m każdy. Dostawcą rur CC-GRP była firma HOBAS System Polska Sp. z o.o.

Wybudowanie przepustów przyczyniło się do ochrony przeciwpowodziowej Cikowic i sąsiednich miejscowości.



Ryc. 2. Rurociąg ze zgrzewanego PVC przed zainstalowaniem [5]

W przypadku, gdy wystąpią obfite opady deszczu i poziom wody w Rabie (przepływającej w okolicach Cikowic) będzie się gwałtownie podnosił, nadmiar wody zostanie odprowadzony przepustami na drugą stronę nasypu kolejowego, chroniąc gospodarstwa przed zalaniem.

Budowa przepustów w Cikowicach trwała ok. dwóch miesięcy. Więcej na temat tej realizacji można przeczytać w numerze 4. „Nowoczesnego Budownictwa Inżynieryjnego” z 2015 r.

### **2.3. Zastosowanie horyzontalnych przewiertów sterowanych (HDD) do budowy magistrali wodociągowej dostarczającej wodę z Wahiaiwā do Pearl Harbor (USA)**

Dostarczenie wody pitnej z Wahiaiwā do Pearl Harbor stało się dla Amerykanów jednym ze sztandarowych celów. Pod koniec 2014 r. ukończono prace związane z zastąpieniem istniejącej magistrali wodociągowej o długości 1158 m (3800 stóp) i średnicy 609 mm (24") wykonanej z rur żeliwnych na odcinku pomiędzy Pearl City a Ford Island.

Wybudowanie magistrali wodociągowej z Ford Island do Pearl Harbor było poważnym przedsięwzięciem z uwagi na wiele czynników, jakie należało uwzględnić w projekcie. Przede wszystkim konieczne było wyznaczenie przebiegu rurociągu, tak aby zapewnić odpowiednie zagłębienie, ominąć istniejącą infrastrukturę podziemną, magazyny, elementy konstrukcyjne, a także umożliwić późniejsze połączenie z istniejącą magistralą. Do bezwykopowej budowy wybrano technologię horyzontalnych przewiertów sterowanych (HDD), ponieważ umożliwiała m.in. zainstalowanie rurociągu w niejednorodnych warunkach gruntowych, a także wielokrotnie stosowano ją w poprzednich realizacjach i wszystkie zakończyły się sukcesem. Jednym z czynników, który wpłynął na wybór tej technologii, była również możliwość budowy magistrali ze zgrzewanego PVC. Należało zatem przewidzieć lokalizację tzw. punktu wejścia do wciągnięcia rurociągu oraz miejsce, gdzie miał być on przygotowany, poddany próbom ciśnienia i oczekiwał na zainstalowanie.

Nowa magistrala wodociągowa o długości 1066 m (3500 stóp) i średnicy 609,6 mm (24") z powodzeniem została wybudowana w technologii HDD. W ciągu jednego dnia udało się wykonać przewiert. Głowica wierząca pracowała w różnorodnych warun-

kach geologicznych, w tym osadach wapiennych czy aluwialnych. Precyzyjnie zaprojektowana trajektoria przewiertu przebiegała pod Naval Special Warfare i Pearl Harbor. Głowica osiągnęła punkt wyjścia na Ford Island, następnie otwór rozwiercono do odpowiedniej wielkości, po czym rozpoczęto wciąganie rur. Rurociąg przygotowany do wciągnięcia przedstawia rycina 2.

Zastosowane do budowy rury ze zgrzewanego PVC charakteryzują się m.in. niewielkim ciężarem oraz dużą odpornością na korozję. Ich wykorzystanie ułatwiło dopasowanie odpowiedniej siły wciągania i promienia gięcia. Przedstawiciele firmy realizującej projekt – Healy Tibbitts – byli bardzo zadowoleni ze współpracy z dostawcą rur, firmą UGSI. Dzięki temu, że układała się ona tak dobrze, projekt został zrealizowany w tak szybkim tempie.

### **2.4. Bezwykopowa budowa odcinka kanalizacji sanitarnej w Moline w stanie Iowa (USA) z zastosowaniem technologii wbijania rur stalowych**

Wybór technologii przecisku hydraulicznego z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym do budowy odcinka kanalizacji sanitarnej miasta Moline pod autostradą 280 okazał się niewłaściwy, gdyż nie udało się zainstalować rurociągu o średnicy 406 mm (16") i długości 91,4 m (300 stóp). Badania geotechniczne wykonane wzdłuż projektowanej trajektorii wykazały, że na tym obszarze występują grunty piaszczyste, gliniaste oraz kamienie. Podczas wykonywania wykopów początkowego i końcowego odsłonięto kamienie rzeczne, otoczaki i głazy o różnej średnicy, od ok. 7 cm (3") do więcej niż 90 cm (3 stopy). Próby zastosowania wspomnianej technologii zakończyły się niepowodzeniem.

Początkowo planowano, aby zmienić projektowaną lokalizację kanału, jednak ze względu na to, że konieczne byłoby uzyskanie nowych pozwoleń na przewiert pod autostradą 280, co z kolei opóźniłoby ukończenie prac, zdecydowano o zmianie metody budowy. Wybór padł na technologię wbijania rur stalowych.

Wbijanie rur stalowych z większą obudową – o średnicy 914 mm (36") i wzmocnioną ścianką – powodowało, że była ona mniej podatna na odkształcenia powstające przy pokonywaniu głazów i otczaków. Wbijanie umożliwiał przebijak o średnicy



Ryc. 3. Odnowa kanału prostokątnego z wykorzystaniem technologii SPR Spiral-Wound [5]

609 mm (24") firmy Hammer Head Trenchless Equipment, zasilany przez dwie sprężarki o wydajności 2718 m<sup>3</sup>/h (1600 cfm).

Podczas realizacji występowały trudności. Ekipa budowlana musiała wykonywać prace z dużą ostrożnością, gdyż nad instalowanym kanałem przebiegał wodociąg. Pomimo że panowała mroźna zima, woda gruntowa także utrudniała realizację. Prace trzeba było przerywać, aby odpompować wodę. Ponadto mieszanina wody z gruntem powodowała „przyklejanie się” rur, co spowalniało wbijanie.

Po wbudowaniu rurociągu o długości 66,9 m (219 stóp i 6") prace zatrzymano, gdyż na trasie wbijania znalazł się duży głaz. Pracownicy musieli wycofywać ślimak transportujący urobek i ręcznie usuwać odłamki skalne. W trakcie dalszych prac kilkakrotnie zdarzały się tego typu przypadki.

Realizacja, której podjęła się firma wykonawcza Iowa Trenchless LC, zakończyła się zgodnie z przyjętym harmonogramem.

### 2.5. Rehabilitacja kanału o przekroju prostokątnym w Hongkongu (Chiny) za pomocą technologii SPR Spiral-Wound

Dwukomorowy, prostokątny, grawitacyjny kanał o szerokości 2500 mm i wysokości 4000 mm jest największym kanałem w Hongkongu. Zbudowany z rur żelbetowych o łącznej długości 380 m, po wielu latach eksploatacji został poddany rehabilitacji.

Przedsiębiorstwo Hong Kong Drainage Services Department (DSD), które zarządza siecią w tym mieście, zleciło prace firmie Sekisui Asia Pipe Solution. Wykonawca musiał być przygotowany na trudności, jakie mogły wystąpić podczas tej realizacji. Oprócz imponującej wielkości kanału wyzwaniem był także wysoki poziom wody, sięgający nawet 2,5 m podczas obfitych opadów deszczu. Jedna z komór kanału odprowadzała wodę deszczową do morza, a druga w stronę rzeki.

Do odnowy kanału wybrano technologię SPR Spiral-Wound, ponieważ w sposób szczególny pasowała do tak dużego i na dodatek niestandardowego przekroju kanału. Również przepływ medium nie powodował znacznego utrudnienia prac. Wysoka jakość stosowanych materiałów oraz właściwe wykonanie mogą zapewnić eksploatację przez nawet 50 lat.

Trzy miesiące trwała rehabilitacja kanału. Powłokę utworzono łącznie na odcinku o długości 160 m (po 80 m w każdej komorze). Do instalowania taśm użyto specjalnego urządzenia nawijającego. Maszyna tworząca powłokę przesuwała się wzdłuż całej sekcji o długości 80 m, formując mechanicznie blokujący profil SPR i tworząc wodoszczelną rurę. Profil ten był w sposób ciągły wprowadzany z bębna. Kiedy proces nawijania został

zakończony, użyto specjalnego systemu usztywniającego, by zapewnić wsparcie dla kolejnego kroku rehabilitacji, czyli procesu wypełniania wolnej przestrzeni.

Powłoka SPR została zainstalowana, pozostawiając dokładnie określoną szczelinę pomiędzy powłoką rehabilitacyjną a ścianami kanału. Przestrzeń wypełniono wysokiej wytrzymałości iniektem. Prace zostały pomyślnie zakończone przez przycięcie końców nowej rury do starej rury szybkowiązującym cementem. Zdjęcie wykonane podczas realizacji odnowy kanału przedstawia rycina 3.

## 2.6. Odnowa kolektora kanalizacyjnego w mieście Fortaleza (Brazylia) za pomocą powłoki CIPP

Eksploatowany od ponad 30 lat brazylijski kolektor kanalizacyjny przebiegający nieopodal miasta Fortaleza musiał zostać poddany odnowie. Wewnętrzne ściany kanału o średnicy 1750 mm i długości ponad 6 km na skutek oddziaływania gazów kanalizacyjnych skorodowały. Rurociąg zbudowany był z rur żelbetowych o długości 2,5 m. Inspekcja kanału wykazała, że połączenia rur także są uszkodzone, co powodowało infiltrację wód gruntowych oraz eksfiltrację ścieków. Zdecydowano zatem o konieczności odnowy kolektora, wybierając technologię CIPP.

W listopadzie 2014 r. poddano rehabilitacji prawie 1000 m kanału, który przebiegał pod ruchliwymi trasami miasta Fortaleza. Powłoka została wprowadzona do kanału przez studnię rewizyjną. Jej zainstalowanie sprawiło, że pomimo niewielkiej redukcji przekroju poprzecznego poprawiły się warunki hydrauliczne w kanale. Zastosowanie bezwykopowej technologii odnowy nie powodowało większych utrudnień w komunikacji.

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

### 3.1. Trelit, Qualitex-Liner

Firma Trelit oferuje dwa rodzaje powłok CIPP. Pierwszą z nich jest Qualitex-Liner GP, przeznaczona do instalowania w kanałach sanitarnych i deszczowych, poddawanych odnowie. Stosowana jest, gdy w kanałach występuje infiltracja i eksfiltracja. Qualitex-Liner DW to drugi rodzaj powłoki oferowanej przez tę firmę do odnowy przewodów ciśnieniowych, w których występuje m.in. korozja. Przeznaczona jest głównie do instalowania w przewodach wodociągowych, wody gorącej oraz chłodniczej. Powłoki są dostępne w zakresie średnic DN 150–1600 mm (GP) oraz DN 150–1400 mm (DW), a także wykonywane na zamówienie dla przekrojów jajowych. Grubość powłok wynosi od 3 do 26 mm.

### 3.2. Rädlinger Primus Line GmbH, renowacja rurociągów metodą Primus Line

Bezwykopowa metoda odnowy Primus Line jest przeznaczona do renowacji rurociągów ciśnieniowych stalowych, żeliwnych, kamionkowych, betonowych, z tworzyw sztucznych lub TWS (ryc. 4). Rękaw ma budowę wielowarstwową, a jednocześnie niewielką grubość, co sprawia, że jest elastyczny i wytrzymały. Jego warstwa zewnętrzna została wykonana z PE odpornego na ścieranie. Warstwa wewnętrzna, w zależności od transportowanego medium, na bazie PE lub TPU. Pomiędzy tymi powłokami znajduje się bezszwowa tkanina z włókien aramidowych. Primus Line jest wciągany do odnawianego rurociągu przez wykop i na obu końcach przewodu mocowany za pomocą specjalnych

łączników. Między rurą a rękawem pozostaje wolna przestrzeń. Dostępny w zakresie średnic DN 150–500 mm. Wśród wielu zalet bardzo istotne są m.in.: szybkie tempo wykonywania prac (do 200 m/h), możliwość instalowania w łukach nawet do 45°, realizacja dostaw powłoki nawet o długości 2500 m na bębnie.



Ryc. 4. Powłoka Primus Line nawinięta na bęben [3]

### 3.3. Ring-O-Matic, Vacuum Excavator

Firma Ring-O-Matic oferuje maszynę Vacuum Excavator, która wykorzystuje wodę pod wysokim ciśnieniem, a także podciśnienie wody dla szerokiej gamy zastosowań (ryc. 5). Zastosowania te obejmują np. udrożnianie sieci, czyszczenie przewodów kanalizacyjnych, studzienek, zbiorników, wypompowywanie wody, porządkowanie placów budowy itp. Ring-O-Matic produkuje maszyny, których wyposażenie zamontowane jest na przyczepach, a także pojazdy asenizacyjne. Dostępne są cztery modele w zależności od pojemności zbiornika: 275, 550, 850 i 1300 galonów (1,04, 2,08, 3,22 i 4,92 m<sup>3</sup>). W zależności od modelu napędzane są silnikami Diesla lub benzynowymi.



Ryc. 5. Vacuum Excavator model 850, Ring-O-Matic [5]

### 3.4. mts Perforator

Firma mts Perforator jest jednym z czołowych dostawców urządzeń do mikrotunelowania i tunelowania. Oferuje m.in. urządzenia Auger Systems do przecisków hydraulicznych w gruntach miękkich (tj. piaski, iły, gliny), przy niskim poziomie wód gruntowych. Maszyny dostępne są w zakresie średnic 200–1600 mm, a długość jednorazowo wbudowywanego odcinka to nawet powyżej 120 m.

W asortymencie mts Perforator posiada także głowice do mikrotunelowania wyposażone w system EPB, przeznaczone do drążenia w gruntach piaszczystych, ilastych, gliniastych, z napływem wód gruntowych. Zakres średnic urządzeń to 1200–3000 mm, długość standardowo wbudowywanego odcinka to nawet 1000 m.



Ryc. 6. Głowica TBM Slurry Systems, mts Perforator [2]



Ryc. 7. Maszyna do przecisków hydraulicznych PBA 125, mts Perforator [5]

Firma produkuje też głowice do tunelowania wyposażone w system EPB, przeznaczone do pracy w takich samych warunkach hydrogeologicznych, jak te do mikrotunelowania. Dostępny zakres średnic to 2400–3000 mm. Do tunelowania w każdego rodzaju warunkach hydrogeologicznych oferowana jest głowica TBM Slurry Systems, mogąca pracować w czterech różnych trybach w zależności od warunków gruntowych (ryc. 6).

Oprócz wymienionych urządzeń mts Perforator dostarcza również inne elementy wyposażenia systemu, np. systemy do separacji płuczki, urządzenia systemów sterowania i kontroli, pośrednie stacje przeciskowe.

Testom praktycznym poddawana jest także skonstruowana przez firmę maszyna do przecisków hydraulicznych PBA 125, będąca unowocześnioną wersją urządzeń PBA 85 i PBA 95 (ryc. 7). Maksymalna siła wciśnięcia to 1250 kN, a moment obrotowy – 18 000 Nm. Maksymalna średnica wbudowywanych rur wynosi 630 mm. Jeżeli testy praktyczne zakończą się powodzeniem, już wkrótce maszyna będzie znajdowała się w ofercie firmy.

### Literatura

- [1] HOBAS System Polska Sp. z o.o.: *Przeciskanie rur HOBAS CC-GRP DN 3000 pod torami kolejowymi w Cikowicach*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2015, nr 4 (60), s. 72–73.
- [2] [www.mts-p.de](http://www.mts-p.de)
- [3] [www.primusline.com](http://www.primusline.com)
- [4] [www.trelit.de](http://www.trelit.de)
- [5] „Trenchless International” 2015, nr 28.

