

Dagmara DŻUGAJ*, Maria NIESOBSKA

PRZEGLĄD RUR STOSOWANYCH W MIKROTUNELOWANIU

Współcześnie wiele prac budowlanych prowadzonych jest na terenach zurbanizowanych z zastosowanie metod bezwykopowych, co często staje się jedyną możliwą technologią. Jednakże wprowadzanie pod powierzchnię ziemi ciągu rur jest złożonym procesem, wymagającym nie tylko przeprowadzenia skomplikowanych obliczeń i prawidłowego zaprojektowania instalacji, ale i doboru odpowiednich materiałów. W pracy przedstawiono ogólne informacje o stosowanych w Polsce materiałach do produkcji rur, wykorzystywanych w mikrotunelowaniu.

1. WSTĘP I CEL PRACY

Pod popularnym określeniem „podziemnego pasa infrastruktury sieciowej” kryje się pojęcie bezpośredniego lub pośredniego układania rurociągów w gruncie, np. pod nawierzchniami ulic lub chodnikami [2]. Z pewnością podczas modernizacji istniejących rurociągów, rozbudowy lub budowy nowych, natkniemy się na utrudnienia związane z zakłóceniem funkcjonowania miasta – komunikacji, handlu, itp. przy stosowaniu metod, które wymagają wykonywania wykopów. Zakłócenia te generują koszty społeczne, które przyczyniły się do rozwoju technologii bezwykopowych, w tym mikrotunelowania.

Mikrotunelowaniem ogólnie określa się jednoetapowy, w dużym stopniu zautomatyzowany i skomputeryzowany przecisk hydrauliczny [8]. Metoda ta polega na wykorzystaniu urządzenia mikrotunelowego, wyposażonej w głowicę posiadającą na swoim czole tarczę skrawającą. Dzięki temu w tym samym czasie wykonywane jest drążenie tunelu oraz przeciskanie rur.

Prace związane z wbudowywaniem rurociągu zaczynają się w wykopie początkowym, inaczej nazywanym szybem startowym, czy komorą startową (rys. 1), kończą natomiast w wykopie końcowym, tzw. wykopie docelowym. Główną stacją przeci-

* Politechnika Wroclawska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, dagmara.dzugaj@pwr.edu.pl

skową umieszcza się w komorze startowej. Znajdują się tam m.in. pierścienie wciskający i siłowniki hydrauliczne. Często stosuje się również pośrednie stacje przeciskowe (rys. 2), dzięki czemu zostaje zmniejszona siła całkowita przecisku. Mają one również zastosowanie przy wykonywaniu kanałów przełazowych, ponieważ łatwo się je demontuje. Przy wykonawstwie kanału nieprzełazowego, trzeba niestety w miejscu stacji utworzyć wykop. Gdy występują stacje pośrednie, długość wbudowywanego rurociągu dzieli się na sekcje, które poprzedzielane są wyżej opisanymi stacjami [2].



Rys. 1. Przykład komory startowej na budowie kanalizacji w okolicach lotniska we Wrocławiu (zdjęcie własne)

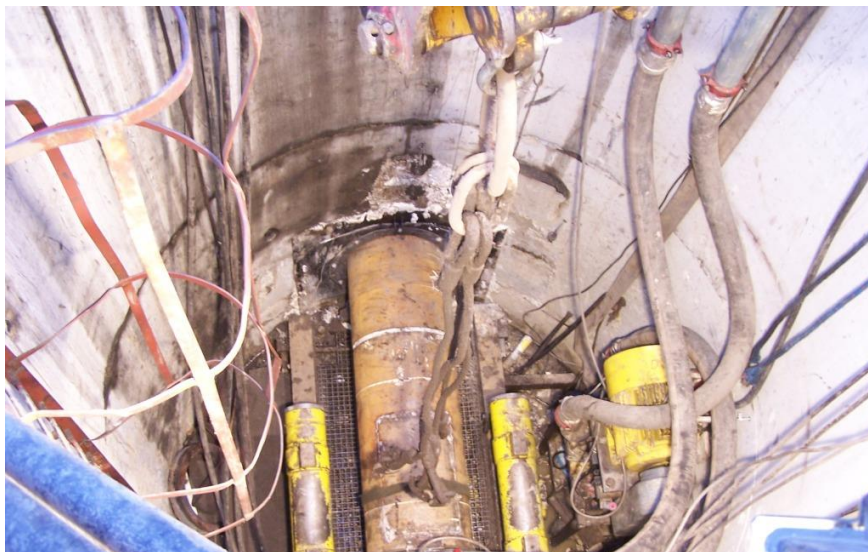
Istnieją cztery typy rur, które znajdują zastosowanie w mikrotunelowaniu (podział ten wynika z ich usytuowania w tunelu) [3]: rury standardowe, będące podstawowym segmentem instalacji; rury czołowe, pełniące funkcje dodatkowego wzmocnienia; rury międzystacyjne oraz rury z otworami, służące do wstrzykiwania płynu smarnego. W pracy Madryasa i Rolnika można znaleźć podstawową charakterystykę wybranych typów rur stosowanych w mikrotunelowaniu, które są dostępne na polskim rynku budowlanym [6].

Celem pracy jest przedstawienie najpopularniejszych materiałów stosowanych do wykonawstwa rurociągów metodą mikrotunelowania oraz ukazanie ich wad i zalet. Informacje o materiałach rur pochodzą głównie z czasopisma *Inżynieria Bezwykopowa* oraz z katalogów i stron internetowych producentów [9].

2. RURY STOSOWANE W MIKROTUNELOWANIU

Podczas projektowania i wykonawstwa rurociągów technologią mikrotunelowania można w pewien sposób zoptymalizować cechy tej budowli dzięki odpowiedniemu doborowi rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych (dąży się do jak największej trwałości rurociągu). W praktyce projektanci i wykonawcy mają za zadanie zapewnienie niezawodności działania przewodu, przy możliwie jak najniższych kosztach jego wykonania oraz eksploatacji [6].

Rury stosowane w metodzie mikrotunelowania są tzw. rurami przeciskowymi. Obecnie najczęściej stosowanymi rurami w metodach bezwykopowych są rury stalowe, bazaltowe, żelbetowe, kompozytowe, kamionkowe oraz z betonu polimerowego.



Rys. 2. Przykład pośredniej stacji przeciskowej na budowie kanalizacji w okolicach lotniska we Wrocławiu (zdjęcie własne)

Materiały, z których wykonuje się rurociągi technologią mikrotunelowania, dobiera się w zależności od: przeznaczenia przewodu, wytrzymałości mechanicznej jaka jest wymagana dla określonego rurociągu, odporności chemicznej i biologicznej, opcji dostosowywania połączeń do określonej technologii transportu medium, środowiska gruntowo-wodnego i nośności konstrukcji [4]. W zależności od tych czynników, dobiera się odpowiednie parametry materiału wymagane na danej budowie.

Parametrami, które najczęściej uwzględnia się przy wyborze materiału rur są [5, 9]: koszt, wytrzymałość zmęczeniowa i na obciążenia osiowe, odkształcalność, odporność na reakcje chemiczne (w tym korozję), odporność na ścieranie, odporność na udary, chropowatość powierzchni zewnętrznej, ciężar jednostkowy, szczelność

połączeń między rurami oraz powtarzalność wymiarów prefabrykowanych elementów. Natomiast sam typ i średnicę rury dopiera się już na podstawie skomplikowanych obliczeń wytrzymałościowych, uwzględniających obciążenia zarówno przy wykonawstwie, jak i eksploatacji rurociągu. Rury posiadające wysokie parametry wytrzymałościowe mogą zostać wykorzystane do układania metodą mikrotunelowania na znacznych dystansach, często nawet bez użycia stacji pośrednich. Jednakże dużym ograniczeniem jest ich znaczny koszt.

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie zakresu średnic i typu materiałów stosowanych do produkcji rur przeciskowych przez polskich producentów [3, 9].

Tabela 1. Zestawienie zakresu średnic i typu materiałów stosowanych do produkcji rur przeciskowych przez polskich producentów [3, 9]

Producent/ dostawca	Lokalizacja	Materiały i średnice produkowanych rur [mm]					Uwagi
		Kamionka	Beton/ żelbet	Polimerobeton	Żywica poliestrowa GRP	Bazalt	
Amiantit Amitech	Arabia Saudyjska, Polska	-	300-3000	150-3000	400-3200	-	
Betonstal	Polska	-	-	800-2000	-	-	
Consolis	Polska	-	300-2600	300-2600 PCC	-	-	Rury dostępne także z wewnętrzną wykładziną z żywic epoksydowych, wkładką kamionkową lub PE-HD
EUTIT s.r.o./ EUTIT Polska	Czechy, Polska	-	-	-	-	150-500	
Haba-Beton	Niemcy, Polska	-	300-3400	-	-	-	Firma produkuje również rury żelbetowe z wkładką poliestrową PE-HD o grubości 4 mm oraz rury z wkładką kamionkową zespolone
Hobas	Austria, Polska	-	-	-	150-2900 (3500)	-	Od 2009 r. dostępne średnice do 3500 mm
Keramo- Steinzeug	Niemcy, Polska	100-1400	300-400	-	-	-	Rury przeciskowe żelbetowo-kamionkowe
P.V. Prefabet Kluczborg	Polska	-	500-2400	150-400	-	-	

2.1. RURY BAZALTOWE

Rury bazaltowe na polskim rynku występują od niedawna. Bazalt jest materiałem, który warto wykorzystywać w mikrotunelowaniu ze względu na wytrzymałość na duże obciążenia statyczne i dynamiczne oraz odporność na trudne warunki środowiskowe. Wytrzymałość na ściskanie tego materiału waha się w granicach

300÷400 MPa, a na zginanie 45 MPa. Rury bazaltowe mają znaczną odporność chemiczną (3÷10 pH) i całkowitą odporność na korozję. Brak nasiąkliwości i perfekcyjna gładkość powierzchni wpływa znacząco na redukcję sił przeciskowych. Największą zaletą rur bazaltowych jest ich odporność na ścieranie, która nie występuje w większym stopniu w żadnym innym materiale stosowanym w budowie tego typu rur. Dodatkowo, rury bazaltowe są w stanie przenosić duże siły przeciskowe, dzięki czemu można zmniejszyć znacznie grubość ich ścianek, a co za tym idzie koszty inwestycji. Obecnie na terenie Polski rury te produkowane są jako rury bezkielichowe [3, 9].

Rury bazaltowe wykorzystuje się najczęściej do układania przewodów kanalizacyjnych.

2.2. RURY Z BETONU POLIMEROWEGO

Beton żywiczy ma dużą odporność chemiczną (1÷10 pH). Maksymalna stała dopuszczalna temperatura, w której rury z betonu polimerowego zachowują swoje właściwości, wynosi aż 80°C. Rury polimerobetonowe zalicza się do rur sztywnych (w nieznacznym stopniu ulegają one ugięciu). Rurą sztywną nazywamy rurę, która ma zdolność ograniczania pęknięć lub przekroczeń dopuszczalnych naprężeń, bez wyraźnej deformacji jej przekroju poprzecznego [3, 9]. Możliwe jest szerokie zastosowanie tych rur do produkcji prefabrykatów o znacznie mniejszych grubościach ścianek, aniżeli w przypadku rur betonowych. Produkcja rur polimerobetonowych daje gwarancję powtarzalności wymiarów, dzięki stalowym formom, które są precyzyjnie wykonywane.

Rury kanalizacyjne z betonu polimerowego układane metodą mikrotunelowania łączone są pierścieniami ze stali nierdzewnej lub ze stali posiadającej podwyższoną jakość. Pierścienie te umieszcza się na jednym końcu rury i uszczelnia przy pomocy gumowej uszczelki, szpachli ekspozytywnej lub kitu ekspozytywnego (uwarunkowane to jest średnicą rury). W praktyce rury te często stosowane są do grawitacyjnego odprowadzania ścieków komunalnych i przemysłowych.

Rury z betonu polimerowego są elastyczne, wytrzymałe na rozerwanie i ściskanie oraz odporne na korozję. Posiadają dużą wytrzymałość na ściskanie, zaś nieco mniejszą na zginanie i rozciąganie, przy gęstości materiału zbliżonej do betonu (ok. 2,3 g/cm³). Rury z betonu polimerowego mają gładką powierzchnię, dzięki czemu tarcie powierzchniowe jest niewielkie. Charakterystykę parametrów wytrzymałościowych tych rur przedstawiono w tabeli 2 [6, 9]. Jak widać, parametry te są wysokie, co wskazuje na ich przydatność do przeciskania dużymi siłami na znaczne odległości.

Tabela 2. Charakterystyka parametrów wytrzymałościowych rur z betonu polimerowego

Wytrzymałość na ściskanie	90÷130	N/mm ²
Wytrzymałość na zginanie	18÷23	N/mm ²
Wytrzymałość na rozciąganie	10	N/mm ²
Współczynnik sprężystości wzdłużnej (dla rur kanalizacyjnych)	28 000	N/mm ²
Wytrzymałość pierścieniowa na rozciąganie przy zginaniu	16	N/mm ²
Wytrzymałość zmęczeniowa przy obciążeniach dynamicznych	6	N/mm ²
Wytrzymałość na ścieranie (po 100 tys. obciążeń)	0,2	mm

2.3. RURY KOMPOZYTOWE GRP

Rury kompozytowe najczęściej wykonuje się z żywicy, włókna szklanego oraz różnego rodzaju wypełniaczy (m.in. piasku kwarcowego, węgla wapnia-kredy). Posiadają wysoką odporność na wpływy chemiczne. Dodatkowo nie są podatne na korozję elektrolityczną w warunkach szkodliwych dla innych materiałów i nie wymagają stosowania ochrony katodowej.

W produkcji stosuje się żywicę standardową lub winylestrową. Rury wyprodukowane z żywicy standardowej stosowane są dla ścieków i posiadają odporność w zakresie pH = 1÷11 i temperatury do 35°C [6, 9]. Przy bardziej agresywnych mediach czy też wyższych temperaturach, wykorzystuje się żywicę winylestrową posiadającą podwyższoną odporność. Ze względu na niski współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej i wysokie moduł sprężystości podłużnej, wytrzymałość rur kompozytowych GRP na ściskanie wynosi ok. 90 MPa [3, 9].

Wysokie parametry przepływu hydraulicznego są wynikiem gładkiej wewnętrznej powierzchni rur, która nie jest podatna na odkładanie się (tzw. inkrustację) czy też tworzenie się osadowych powłok. Powierzchnia rur nie absorbuje wilgoci, dzięki czemu dobra skuteczność smarowania jest stale utrzymana.

Dodatkową zaletą tego typu rur jest nieznaczny ciężar, co ułatwia ich transport i wbudowywanie i wpływa na obniżenie kosztów inwestycyjnych. Niestety w przypadku, gdy ośrodek gruntowy jest elementem systemu nośnego, rury te, pod względem sztywności, zaliczają się do rur podatnych.

Łączenie rur w technologii mikrotunelowania odbywa się przy pomocy specjalnych łączników z uszczelkami, mającymi identyczną średnicę zewnętrzną jak średnica rury, co umożliwia ich bezproblemowe przeciskanie. Najczęściej łączniki wykonywane są ze stali bądź materiału zbliżonego do kompozytu rur.

Rury kompozytowe GRP cechują się odpornością na wysokociśnieniowe czyszczenie kanalizacji i stałością parametrów w czasie [7]. Stosowane są przede wszystkim w sieciach kanalizacyjnych i wodociągowych, przy transporcie substancji półpłynnych oraz w instalacjach odpływowych i przemysłowych.

2.4. RURY KAMIONKOWE

Pośród wielu zalet rur kamionkowych (rys. 3) należy wymieć: odporność na ścieranie, wysoki stopień twardości, spójną budowę materiału ścianek, odporność biologiczną i chemiczną, szczelność, dużą wytrzymałość na ściskanie wzdłużne, dokładność wymiarów na złączu i długotrwałość użytkowania. Dodatkowym atutem jest ich odporność na korozję czasową w zakresie $\text{pH} = 0,4\div 13$ i to zarówno poprzez bezpośrednie zetknięcie się z medium, jak i pośredni kontakt z kwaśnymi oparami, nawet w warunkach zmiennej temperatury. Glazura zaś stosowana jest tylko i wyłącznie w celu ograniczenia nasiąkliwości rury i poprawienia parametrów hydraulicznych, co przekłada się na jej wyjątkową gładkość.



Rys. 3. Rury kamionkowe stosowane w mikrotunelowaniu przy budowie kanalizacji w okolicach lotniska we Wrocławiu (zdjęcie własne)

Kamionka posiada także dobrą odporność na płukanie oraz czyszczenie pod wysokim ciśnieniem. Główną wadą kamionki jest jednak jej wysoka cena i dość spora waga, co znacznie utrudnia transport oraz wbudowywanie, a co najważniejsze znacznie podwyższa koszty inwestycji.

Dzięki swym właściwościom, kamionka stosowana jest na odcinkach kanałów o dużych spadkach oraz przy rurociągach, gdzie wymagane ciśnienie kontrolne wody wynosi do 0,5 Bara [7, 9]. Rury kamionkowe najczęściej stosowane są przy wbudowywaniu przewodów kanalizacyjnych.

2.5. RURY ŻELBETOWE

Żelbet, z którego wykonuje się te rury jest odporny na agresywność środowiska, cechuje się mrozoodpornością, ograniczonym skurczem i wysokim stopniem wodoszczelności. Rury żelbetowe wykonuje się z betonu klasy B50 ze zbrojeniem, które zapewnia przenoszenie sił występujących podczas przeciskania rur na różnych długościach. Główną zaletą produkcji rur żelbetowych jest fakt, iż daje ona możliwości uzyskiwania jakichkolwiek przekrojów poprzecznych. Z tego względu, w praktyce tego rodzaju rury są oddzielnie wymiarowane, zbrojone oraz produkowane odrębnie dla każdej inwestycji.

Rury żelbetowe posiadają pierścienie, tzw. „kielichy”, które wykonuje się ze stali zwykłej lub kwasoodpornej. Dodatkowo, istnieje możliwość układania rur po łuku oraz niwelacji obciążeń punktowych. Uszczelki wykonywane są z kauczuku syntetycznego dobieranego pod względem agresywności przesyłanego medium. Na skutek stosowania metody odlewu w formach stalowych, w produkcji rur żelbetowych możliwe jest uzyskanie każdych, wymaganych wymiarów i gładkości powierzchni.

Wyróżnia się trzy rodzaje rur żelbetowych: rury standardowe (RS), czołowe (RC) oraz międzystacyjny (RM). Niestety, pod względem ochrony antykorozyjnej rury te są mało konkurencyjne. Posiadają co prawda wymaganą odporność na agresję chemiczną ścieków, jednak daleko im do rur kompozytowych czy kamionkowych. Wśród zalet, które wyliczają producenci, można wymienić [3]: długowieczność, niską energochłonność podczas produkcji, zgodność produkcji z zasadami ochrony środowiska i dużą wytrzymałość na zewnętrzne obciążenia. Najczęściej rury te wykorzystywane są do wbudowywania rurociągów kanalizacyjnych i wodociągowych.

3. PODSUMOWANIE

Technologie budowy bezwykopowej przewodów posiadają liczne zalety techniczne, ekonomiczne oraz ekologiczne [1]. Ważną zaletą tego typu robót jest brak uzależnienia prac od pór roku, czy też warunków atmosferycznych. Mimo skomplikowanego projektowania i wykonawstwa rurociągów metodami bezwykopowymi, technologie te cały czas się rozwijają i zdobywają coraz to większe zainteresowanie. Czasami są one właściwie jedynym możliwym rozwiązaniem, jak np. przy budowie rurociągu pod przeszkodami terenowymi (rzekami, autostradami, lotniskami, torami kolejowymi, ulicami o dużym natężeniu ruchu komunikacyjnego czy wąskimi uliczkami miejskich starówek).

Rozkwit technologii bezwykopowych przyczynił się również do rozwoju materiałów stosowanych do budowy rur przeciskowych. Jakość wykonania i właściwości obecnie dostępnych na rynku rur odpowiada wymaganiom stawianym przez różnego

rodzaju budowy. Rozwój technik produkcji jak i samych materiałów znacznie wpłynął na zwiększenie różnorodności dostępnych rur w krajach wysoko rozwiniętych, takich jak USA, Japonia czy Niemcy. W Polsce jednak technologia mikrotunelowania dopiero się rozwija, a firmy produkujące rury przeciskowe pozostają niszą na rynku budowlanym. Należy jednak pamiętać, że metody bezwykopowe w wielu przypadkach, szczególnie przy prowadzeniu prac na obszarach zurbanizowanych, są znacznie tańszym rozwiązaniem aniżeli tradycyjne technologie wykopowe.

LITERATURA

- [1] BĘBEN D., 2009: *Metody bezwykopowe – alternatywa dla tradycyjnych wykopów otwartych*, Inżynieria Bezwykopowa, nr 27 (3/2009), s. 80-87.
- [2] KOLONKO A., MADRYAS C., WYSOCKI L., 2002: *Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych*, Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [3] KOŚMIDER P., OSIPOWICZ R., 2009: *Rury w technologiach przeciskowych i mikrotunelowych*, Inżynieria Bezwykopowa, nr 29 (5/2009), s. 32-38.
- [4] KOŚMIDER P., OSIPOWICZ R., SUMARA A., 2008: *Przegląd rynku mikrotunelowego*, Inżynieria Bezwykopowa, nr 23 (3/2008), s. 92-110.
- [5] KULICZKOWSKI A., 2003: *Dobór rur do technologii bezwykopowych*, Inżynieria Bezwykopowa, nr 04 (4/2003), s. 30-35.
- [6] MADRYAS C., ROLNIK A., 2003: *Rury do mikrotunelowania*, Inżynieria Bezwykopowa, nr 04 (4/2003), s. 36-43.
- [7] ROSZKOWSKI A., 2009: *Rury dla technologii bezwykopowych*, Inżynieria Bezwykopowa, nr 25 (1/2009), s. 64-71.
- [8] ZWIERZCHOWSKA A., 2009: *Technologie bezwykopowej budowy sieci gazowych, wodociągowych i kanalizacyjnych*, Kielce, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej.
- [9] Katalogi i strony internetowe producentów i dystrybutorów rur przeciskowych [www.amiantit.com, www.betonstal.com.pl, www.consolis.pl, www.eutit.pl, www.haba-beton.pl, www.hobas.com.pl, www.hobas.com.pl, www.ketamo-steinzeug.pl, www.pv-prefabet.com.pl].

A REVIEW OF THE PIPES USED IN MICROTUNNELING PROCESS

Nowadays lot of construction works are carried out in urban areas. In these areas the trenchless methods are often the only technology possible. However, the placing pipes under the ground is a complex process which requires not only carrying out the complex calculations and correctly designing of plants, but also the selection of appropriate materials. This paper presents an overview of the materials used in Poland for the production of pipes used in microtunneling.