

Przewody betonowe w podziemnej infrastrukturze sieciowej

Beton po raz pierwszy w podziemnej infrastrukturze sieciowej miast zastosowano ponad 160 lat temu. Obecnie beton, beton zbrojony i sprężony są tworzywami powszechnie stosowanymi, zwłaszcza do budowy kolektorów wielkogłębnych.

Beton po raz pierwszy w podziemnej infrastrukturze sieciowej miast zastosowano w USA w 1842 roku, a w Europie w 1843 roku (Hamburg). W tamtych czasach budowano z tego tworzywa głównie kolektory kanalizacyjne i studnie rewizyjne. Nie stosowano konstrukcji żelbetonowych, w związku z czym kształty przekrojów poprzecznych ówczesnych wznoszonych konstrukcji były dostosowane do linii ciśnień ośrodka gruntowego, tak aby w przekrojach nie powstawały naprężenia rozciągające. Dlatego też większość wybudowanych kolektorów betonowych w tamtym okresie ma kształt jajowy, gruszkowy lub dzwonowy. Autorzy referatu wielokrotnie badali wybudowane wtedy kolektory i na tej podstawie mogą stwierdzić, że znaczna ich część pozostaje nadal w zadowalającym stanie technicznym.

Z uwagi na wysokie wymagania w zakresie trwałości konstrukcji żelbetonowych, wynikające z potrzeby ochrony stali zbrojeniowej przed korozją oraz niespełniające tych wymogów dawne betony, znaczący postęp w technologii wytwarzania rur żelbetonowych nastąpił dopiero po II wojnie światowej. Obecnie beton, beton zbrojony i sprężony są tworzywami powszechnie stosowanymi, zwłaszcza do budowy kolektorów wielkogłębnych.

ZAGROŻENIA KOROZYJNE I DOBÓR SKŁADNIKÓW BETONU

W przypadku przewodów sanitarnych i ogólnospławnych beton może być narażony na lekką lub średnią agresywność środowiska, a w przypadku małych spadków, gdzie zachodzić może rozkład osadów przy braku skutecznej wentylacji, agresywność środowiska może wzrosnąć do wysokiej. Zgodnie z normą [10] dla średniej agresywności środowiska wymagana jest materiałowo-strukturalna oraz powierzchniowa ochrona betonu. Przez ochronę materiałowo-strukturalną zgodnie z tą normą rozumie się całość zabiegów zmierzających do podwyższenia odporności betonu na korozję, w przypadku kolektorów ściekowych, zwłaszcza na siarczanową. Podwyższenie odporności na korozję uzyskać można poprzez:

- zmniejszenie nasiąkliwości i podwyższenie wodochłonności betonu
- stosowanie betonu o możliwie niskim stosunku w/c
- stosowanie cementu o podwyższonej odporności na korozję
- stosowanie dobrej jakości kruszywa odpornego na korozję
- stosowanie dodatków i domieszek poprawiających szczelność i odporność betonu na korozję.

Nasiąkliwość betonu nie może być wyższa od 4%, a wodochłonność należy dostosować do przewidywanego zagrożenia korozyjnego.

Analiza powyższych założeń wskazuje, że dla konstrukcji kolektorów kanalizacyjnych nie należy stosować betonów o w/c większym od 0,45. Zmniejszenie stosunku w/c z wartości 0,50 (przeciętny beton) do 0,40 (beton obecnie stosowany do produkcji rur przez uznanych producentów) zmniejsza podatność betonu na ścieranie i przesiąkliwość o około 50%. Beton o stosunku w/c = 0,40 może sprawiać pewne trudności w procesie zagęszczania. Zmniejszenie wskaźnika w/c bez pomniejszenia urabialności uzyskać można przez dodanie do betonu superplastyfikatora, którego działanie polega na dostarczeniu ziarnom cementu ładunku ujemnego. Powoduje to odpychanie się ziaren i ich rozproszenie, co istotnie poprawia urabialność betonu i umożliwia ograniczenie ilości wody w betonie, a więc także redukcję w/c.

Do produkcji betonów dla realizacji kolektorów kanalizacyjnych stosować należy cementy o podwyższonej odporności na korozję. Szczególnie istotna jest zawartość C_3A w cemencie. Przyjmuje się, że cement o zawartości C_3A mniejszej od 8% charakteryzuje się średnią odpornością na korozję siarczanową, a o zawartości mniejszej od 3% wysoką odpornością. Dużą odpornością na korozję siarczanową charakteryzują się cementy hutnicze, zwłaszcza CEM III/B, które dodatkowo pozwalają uzyskać beton o wyższej szczelności.

Poprawę odporności betonu na korozję siarczanową uzyskać można także przez zastosowanie odpowiedniego kruszywa, np. węglanowego. Kruszywo węglanowe do produkcji betonów dla swoich wyrobów (rury i studzienki kanalizacyjne), dostępnych także w naszym kraju, stosuje firma Stein Risse, nieliczny spośród producentów oferujących głównie wyroby betonowe, a nie żelbetowe.

Ochrona materiałowo-strukturalna jest zwykle wystarczająca dla ochrony konstrukcji przewodów betonowych pracujących w typowych warunkach, gdy prędkość przepływu ścieków zapewnia samooczyszczanie, a przewód jest skutecznie wentylowany.

Do ochrony powierzchniowej przy średniej agresywności środowiska zgodnie z [9] stosować należy, poza ochroną materiałowo-strukturalną, powłoki cienkowarstwowe (nakładane metodami malarskimi), a dla wysokiej agresywności, poza ochroną materiałowo-strukturalną, powłoki grubowarstwowe, powłoki zbrojone (laminaty) oraz wykładziny i wymurówki. Powłoki cienkowarstwowe wykonuje się najczęściej z następujących materiałów:

- lepek na gorąco lub zimno
- żywica epoksydowa
- masy bitumiczne modyfikowane tworzywami sztucznymi.

Podłoże betonowe dla izolacji z lepiku powinno być czyste i suche, wilgotność podłoża w zasadzie nie powinna przekraczać 4%. Dla izolacji z lepiku takie podłoże należy najpierw zagruntować emulsją lub roztworem asfaltowym. Aby uzyskać odpowiednią

trwałość izolacji wewnętrznej, należy nałożyć trzy warstwy materiału izolacyjnego. Dla izolacji zewnętrznej przy średniej agresywności środowiska nakłada się zwykle dwie warstwy, tylko w przypadku wód gruntowych o podwyższonej agresywności w stosunku do betonu konieczne okazać się może nałożenie trzech warstw lepiku. Prawidłowo wykonane powłoki z lepiku mają dużą odporność na agresję chemiczną, lecz stosunkowo małą wytrzymałość mechaniczną, dlatego też obecnie ich stosowanie jest ograniczone do izolacji zewnętrznych. W przypadku stosowania betonu spełniającego wymagania ochrony materiałowo-strukturalnej izolacje zewnętrzne cienkowarstwowe potrzebne są tylko, gdy środowisko gruntowo-wodne wykazuje podwyższony stopień agresywności. W tym przypadku cienkowarstwowa powłoka z lepiku powinna być zabezpieczona przed uszkodzeniem w trakcie zasypywania papą lub folią.

Powłoki z żywicy epoksydowych mają wysoką odporność chemiczną i mechaniczną. Pewną wadą tych powłok jest ich stosunkowo mała odporność na zarysowanie. Podłoże betonowe przed nałożeniem żywicy epoksydowej powinno być starannie oczyszczone i wysuszone, wilgotność podłoża nie może przekraczać 4%. Wytrzymałość podłoża betonowego na odrywanie dla izolacji z żywicy epoksydowej nie może być mniejsza od 1,5 MPa. Powłoki te nakładać można tylko przy temperaturze otoczenia i temperaturze podłoża betonowego wyższej od 10°C. Ponadto temperatura podłoża powinna być wyższa o około 3°C od temperatury punktu rosy.

Do modyfikacji mas bitumicznych stosuje się najczęściej lateks oraz żywicę epoksydową. Materiały bitumiczno-epoksydowe charakteryzują się dużą odpornością na korozję, bardzo dobrą przyczepnością do podłoża oraz dobrą odpornością na zarysowanie. Materiały te przenoszą zarysowanie konstrukcji do około 0,3 mm. Należy je nakładać na dobrze oczyszczone podłoże o wytrzymałości na odrywanie nie mniejszej niż 1,5 MPa. Większość materiałów z tej grupy może być nakładana na lekko wilgotne podłoże (do około 7%), lecz przy temperaturze otoczenia i temperaturze podłoża betonowego wyższej od 10°C oraz temperaturze podłoża wyższej o około 3°C od temperatury punktu rosy.

W strefie kinety, dla podwyższenia odporności na ścieranie, izolację wykonuje się z trzech warstw w następującej kolejności:

- pierwsza warstwa materiału izolacyjnego (ewentualnie z materiału rozcieńczonego)
- posypanie tej warstwy (jeszcze lepkiej) drobnym (do 0,3 mm), suchym piaskiem kwarcowym, można także nałożyć materiał izolacyjny wymieszany z takim piaskiem
- nałożenie trzeciej warstwy materiału izolacyjnego po stwardnieniu poprzedniej i starannym usunięciu niezwiązanego piasku.

Na podstawie doświadczeń z badań wielu obiektów na terenie Polski uznać można, że materiały z tej grupy stanowią najlepsze rozwiązanie materiałowe dla izolacji antykorozyjnych kolektorów sanitarnych. Określenie grubości powłoki izolacyjnej na betonie jest trudne, dlatego zwykle przyjmuje się minimalne zużycie materiału izolacyjnego na jednostkę powierzchni betonu. W każdym jednak przypadku nakładać należy co najmniej dwie warstwy materiału izolacyjnego.

Dla środowiska o silnym stopniu agresywności wykonuje się najczęściej powłoki w postaci:

- laminatów epoksydowo-szklanych o grubości około 1 mm, dla konstrukcji narażonych na nieznaczne zarysowanie
- laminatów bitumiczno-epoksydowo-szklanych o grubości 3 mm, dla konstrukcji narażonych na większe zarysowanie.

Bardzo dobre wyniki w przypadku konieczności wykonania izolacji dla środowiska o silnej agresywności daje wykonanie kotwionych w konstrukcji przewodu okładzin z płyt polietylenowych łączonych przez spawanie. Można także wykonać okładziny z cegły i kształtek klinkierowych osadzanych na zaprawie chemooodpornej.

Do zbrojenia rur i innych elementów do budowy sieci kanalizacyjnej stosuje się stal zbrojeniową zgodnie z normą [9]. Stosować można wszystkie rodzaje stali zbrojeniowej o niepodwyższonej wytrzymałości (Q, do 340 MPa), dobierając możliwie duże średnice zbrojenia. Nie należy stosować zbrojenia o średnicy mniejszej niż 8 mm. Powierzchnia zbrojenia powinna być czysta, najwyżej pokryta lekkim nalotem rdzy.

Wymagania dotyczące produkcji rur betonowych i żelbetowych zawarto między innymi w normach branżowych [2, 3, 4]. Zgodnie z tymi wymogami rury niesprężone należy produkować z betonu szczelnego o klasie nie niższej niż B25, a rury sprężone z betonu o klasie nie niższej niż B45.

Do produkcji betonu dla rur niesprężonych normy zalecają stosowanie cementu portlandzkiego CEM I, także szybkosprawnego (oznaczonego literą R) oraz cementu z dodatkami CEM II, a dla sprężonych cementu portlandzkiego lub specjalnego odmiany II (nie ma odpowiednika w obecnej normie) marki nie niższej niż 45 (według obecnie obowiązującej normy nie niższej niż 42,5).

Do rur niesprężonych stosować należy kruszywo spełniające wymagania określone w normie [12], naturalne lub łamane. Zgodnie z tą normą nie można stosować kruszyw ze skał węglanowych oraz piaskowca. Natomiast dla rur sprężonych stosować należy piasek o ściśle określonym uziarnieniu (zawartość pyłów nie może przekraczać 2%), oraz kruszywo grube w postaci grysłu 4÷8 mm [12]. Maksymalna dopuszczalna wielkość ziaren nie może przekraczać 12,5 mm, zawartość ziaren

Fot. 1. Maszyna do mikrotunelowania z otwartą tarczą



nieforemnych nie powinna przekraczać 15%. Dopuszcza się dodatek naturalnego żwiru 4÷8 mm w ilości nie większej niż 30% masy kruszywa grubego. Mimo ograniczenia normowego dla rur przeznaczonych do stosowania w kanalizacji sanitarnej lub ogólnospławnej szczególnie przydatne jest kruszywo węglanowe.

Jak już napisano, z uwagi na zagrożenia korozyjne rury przeznaczone do stosowania w kanalizacji ogólnospławnej i sanitarnej powinny być produkowane z wykorzystaniem cementu o podwyższonej odporności na siarczany. Cementy szybkosprawnie zawierające znaczne ilości C_3A nie powinny być stosowane do produkcji rur przeznaczonych do budowy przewodów kanalizacji sanitarnej i ogólnospławnej.

PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE

Rurociągi

Jak już napisano, przy kształtowaniu przekroju poprzecznego kolektorów uwzględnia się cechy wytrzymałościowe betonu (dużą wytrzymałość na ściskanie i małą na rozciąganie) oraz wymogi hydrauliczne. Początkowo kolektory betonowe, tak jak murowane, realizowano przede wszystkim w sieciach ogólnospławnych charakteryzujących się bardzo dużymi wahaniami przepływu ścieków. Najkorzystniejszym rozwiązaniem w takiej sytuacji jest przekrój o kształcie jajowym, zapewniający w okresach niskich przepływów minimalną dla samoczyszczania kanału prędkość przepływu. Takie kształty jak dzwonowy, gruszkowy, jajowy i kołowy są dobrze dostosowane do linii ciśnień, co powoduje, że naprężenia rozciągające w przekrojach tych konstrukcji są zminimalizowane.

Mała wytrzymałość betonu na rozciąganie stwarza ograniczenia w kształtowaniu przekroju poprzecznego oraz trudności realizacyjne związane z konieczną dużą grubością ścianek. Rozwiązaniem eliminującym te ograniczenia było wprowadzenie do betonu zbrojenia przenoszącego naprężenia rozciągające. Umożliwiło to realizację kolektorów o większych przekrojach oraz kształtach przekroju poprzecznego, w którym występują znaczne naprężenia rozciągające.

Wymagania określone w polskich normach branżowych [2, 3, 4] nie odpowiadają aktualnym tendencjom ani też obecnemu poziomowi technologii betonu. Niemieckie Zrzeszenie Producentów Rur FBS na zasadzie dobrowolności przyjęło wyższe wymagania od określonych w obowiązującej w RFN normie państwowej. Do produkcji rur zgodnie z tymi wytycznymi stosować można tylko beton o następujących parametrach:

- wytrzymałość na ściskanie ≥ 45 MPa
- wytrzymałość przy zginaniu ≥ 6 MPa
- moduł sprężystości $E \geq 3700$ MPa
- wskaźnik $w/c \leq 0,40$.

Na podstawie własnych doświadczeń autorzy uważają za celowe stosowanie do produkcji rur dla kanalizacji ogólnospławnej i sanitarnej cementu odpornego na siarczany. Wymagania takie spełnia cement CEM I o zawartości siarczanów do 3%, oznaczony jako HSR (w normie niemieckiej HS), a w przypadku niewielkiego zagrożenia korozją siarczanową cement o zawartości C_3A nie większej od 8%. Wymagania w zakresie odporności na korozję siarczanową spełniają także cementy CEM III (zwłaszcza CEM III B) i CEM II B-V. Beton spełniający wymagania FBS jest tworzywem o zdecydowanie wyższej trwałości i odporności na korozję od betonów spełniających wymagania określone w normach branżowych [2, 3].

Do produkcji rur niesprężonych według normy [2, 9] stosować należy zbrojenie ze stali zgodnej z normą [13] dopuszczalnej do zgrzewania punktowego lub innej dopuszczalnej w trybie świadectwa ITB, a do rur sprężonych stali zgodnych z normą [7].

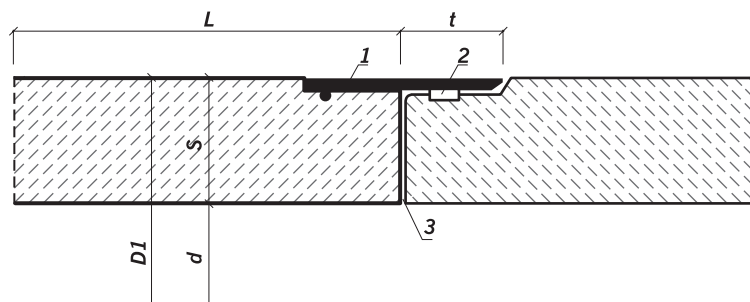
W polskich normach branżowych nie określono wymagań dotyczących uszczeltek. W przewodach kanalizacji grawitacyjnej z rur betonowych i żelbetowych stosowano do niedawna głównie uszczelnienia wykonywane na budowie (kity, sznury smołowane, opaski betonowe i inne). Rury z betonu sprężonego Betras, przeznaczone przede wszystkim do kanalizacji ciśnieniowej, uszczelniano uszczelkami typu O-ring, dla których nie określono jednak wymagań materiałowych. Do połączeń rur obecnie produkowanych za standardowe należy uznać uszczelki zintegrowane (wbetonowane w procesie produkcyjnym). Uszczelki te wykonuje się z elastycznych elastomerów o szczelnej strukturze i dużej odporności na agresję chemiczną. Podstawowym materiałem do produkcji uszczeltek jest EPDM (kauczuk etylenowo-propylenowy) oraz SBR (kauczuk styrenowy) i NBR (kauczuk nitylowo-butadienowy). Ponadto uszczelki produkuje się jeszcze z następujących materiałów: NR (kauczuk naturalny), IR (kauczuk isoprenowy), BR (kauczuk butadienowy), CR (kauczuk chloroprenowy), ACM (kauczuk akrylowy), FPM (kauczuk fluorowany), Q (kauczuk silikonowy), AU/EU (kauczuk uretanowy) oraz CO/ECO (kauczuk epichlorowy). Materiał uszczelki należy dobrać stosownie do przewidywanej agresji chemicznej.

Obecnie coraz częściej sieci infrastruktury podziemnej wykonywane są technologiami bezwykopowymi – głównie technologią mikrotunelowania. Rury wykonane z betonu doskonale nadają się do aplikacji w tej technologii. Dlatego też poniżej opisano podstawowe cechy żelbetowych rur do mikrotunelowania produkowanych w kraju.

Rury betonowe w tej technologii mogą być stosowane do budowy kanalizacji oraz jako rury osłonowe dla innych przewodów. Pierwszym polskim producentem rur betonowych do mikrotunelowania jest firma PPBW Betras z Ostrowa Wielkopolskiego. Obecnie rury z tego tworzywa produkowane są na terenie naszego kraju także przez firmę Prefabet Kluczbork P.V.[1].

Rury produkowane przez firmę Betras wykonywane są z betonu klasy B50 ze zbrojeniem zapewniającym przenoszenie sił niezbędnych do przeciskania na odcinkach o różnych długościach. Każda rura zawiera pierścień będący elementem kołnierzego połączenia rur, który wykonany jest ze stali zwykłej

Rys. 1. Schemat połączenia rur produkowanych przez firmę PPBW Betras
1 – pierścień stalowy,
2 – uszczelka gumowa,
3 – przekładka drewniana (pierzścieniowa)
pozostałe wymiary zależą od średnicy rury



Material		Żelbet
Zakres średnic (możliwości produkcyjne)	mm	300-3000
Zakres długości pojedynczych rur	mm	1000-3000
Grubość ścianki/średnica rury	mm	od 175 do 250 mm (wg katalogu)
Gęstość materiału	kg/m ³	2500
Rodzaj połączeń		łącznik stalowy z systemem uszczelnień gumowych
Dopuszczalna siła pchająca	kN	2136 – 18091
Szywność obwodowa SN	N/m ²	rury szywane
Wytrzymałość na temperatury stałe	°C	40
Dopuszczalny zakres pH transportowanego płynu		2-12
Wodoszczelność uszczelzek przy zadanym ciśnieniu	MPa	zewewnętrzne – 0,2 wewnętrzne – 0,05
Chropowatość ścian	mm	0,5
Ścieralność	mm	0,7 – 0,9
Prostoliniowość	mm/m	-

Tabela 1. Podstawowe parametry rur do mikrotunelowania produkowanych przez firmę PPBW Betras [5]

lub kwasoodpornej. Przekładki drewniane pozwalają na niwelację punktowych obciążeń czołowych elementów, a także na możliwość ułożenia rur w łuku. Szczelność zapewniają uszczelki z kauczuku syntetycznego dobierane w zależności od stopnia agresywności medium. Do produkcji rur przeciskowych stosuje się zwykły cement portlandzki (CEM I), kruszywa łamane, hydroklastyfikowane o uziarnieniu od 4 do 12,5 mm; żwiry hydroklastyfikowane o uziarnieniu od 2 do 8 mm i od 8 do 16 mm; piasek hydroklastyfikowany o uziarnieniu od 0 do 2 mm; stal zbrojeniową gatunku St3S-b-500. Rury produkowane są w formach stalowych metodą odlewania, co zapewnia wyrobom wymagane wymiary i gładkość powierzchni. Beton w formie zagęszczany jest metodą wibrowania. Produkcja obejmuje trzy rodzaje rur: RS – rury standardowe, RC – rury czołowe, RM – rury międzystacyjne. Dodanie litery L w oznaczeniu rury oznacza obecność otworów do wprowadzenia lubrykatu. Jednym z ważniejszych elementów w osiągnięciu wymaganej jakości dla rur żelbetowych i betonowych do mikrotunelowania jest rozwiązanie systemu łączenia rur. Duże znaczenie miało zatem opracowanie dobrych i pewnych systemów uszczelniania rur oraz poprawa systemu ochrony antykorozyjnej. Szczelność rur produkowa-

Fot. 2. Widok montażu rury żelbetowej technologią mikrotunelowania



nych w Ostrowie Wielkopolskim zapewnia uszczelka z tworzywa sztucznego przenosząca standardowo ciśnienie 2 bar. W wykonaniach specjalnych stosuje się uszczelki o podwyższonych parametrach oraz uszczelki od strony wewnętrznej rury. Schemat konstrukcji połączenia przedstawiono na rys.1 [16].

Zbrojenie rury składa się z dwóch siatek wykonanych w formie spirali o zmiennym skoku oraz prętów zbrojenia wzdłużnego. Minimalna grubość otuliny betonowej wynosi 40 mm, co zapewnia skuteczną ochronę zbrojenia, zwłaszcza że rury wykonane w omawianym przypadku, charakteryzują się wystarczającą odpornością na agresję chemiczną transportowanych w nich ścieków. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe informacje o rurach Betras. Przykład zastosowania rur żelbetowych do realizacji kolektora ogólnospławnego technologią mikrotunelowania w jednym z polskich miast przedstawiono na fot. 2.

Rury produkowane przez firmę Prefabet Kluczbork P.V. wykonywane są z betonów klasy od B50 do B85 w stalowych formach metodą odlewania. Przewidziano stosowanie domieszek do masy betonowej, tak aby stopień wodoszczelności utrzymywał się na poziomie W12, co zapewnia nasiąkliwość mniejszą od 4%. Produkowane są rury standardowe, czołowe i zastacyjne oraz przedstacyjne. Rury standardowe różnią się od rur czołowych zbrojeniem, a rury zastacyjne i przedstacyjne wymiarami, które są ściśle dopasowane do sprzętu drążącego i produkowane w uzgodnieniu z wykonawcą mikrotunelu. System łączenia rur opracowano z myślą o wykonywaniu mikrotuneli w łukach oraz cofaniu się obudowy w czasie jej rozprężania spowodowanego przestojami technologicznymi lub awaryjnymi. Stąd też, na bosym końcu wyprofilowana jest kieszeń na uszczelkę umożliwiającą jej przemieszczanie się w czasie przeciskania. Uszczelka typu LK wykonywana jest z kauczuku etylenowo-propylenowego (EPDM), co powoduje, że jest odporna na większość substancji chemicznych zawartych w ściekach i wodach gruntowych. Uszczelka gwarantuje szczelność do ciśnienia 2,0 bar. Mufa połączeniowa (kołnierzy) wykonywana jest, w zależności od potrzeb, ze stali ocynkowanej lub ze stali kwasoodpornej i kotwiona w rurze przy użyciu bolców stalowych. Dla zapewnienia równomiernego rozkładu naprężeń normalnych na czołach rur przewidziano zastosowanie przekładek drewnianych.

Wytwarza się także rury dwuwarstwowe, w których częścią nośną jest rura betonowa lub żelbetowa, a do transportu ścieków służy wewnętrzna, trwale zespolona z rurą zewnętrzną, rura z tworzywa sztucznego lub kamionki. Rury wewnętrzne wykonuje się najczęściej z PCW lub PEHD. Takie rozwiązanie bardzo dobrze wykorzystuje właściwości materiałów konstrukcyjnych. Beton zapewnia odpowiednią nośność przy stosunkowo niskiej cenie, a tworzywo sztuczne lub kamionka zapewnia bardzo dużą trwałość na agresję chemiczną. Zgodnie z normami [2, 4] rury i kształtki betonowe i żelbetowe dzieli się na:

- odmiany w zależności od zastosowanej klasy betonu, np. 25 dla rur wykonanych z betonu klasy B25

- klasy w zależności od zastosowanego zbrojenia, dopuszcza się stosowanie trzech klas dla danego asortymentu i typu rur
- gatunki w zależności od cech geometrycznych
 - rury kielichowe mogą być produkowane w dwóch gatunkach.

Zarówno rury betonowe, jak i żelbetowe (kołowe i jajowe) produkowane są w bardzo szerokim zakresie wymiarów nominalnych, dostępne są rury o średnicy do 3600 mm. Obserwuje się tendencję do produkcji rur nawet o znacznych średnicach z betonu niezbrojonego. Podstawową zaletą takich rur jest większa trwałość. Trwałość rury żelbetowej jest równoznaczna z trwałością zbrojenia. Początek jego korozji (na znacznej powierzchni) wyznacza koniec okresu eksploatacji lub konieczność bardzo kosztownego remontu. Tak więc korozja lub tylko spadek wskaźnika pH betonu poniżej wartości 9,5 (bez utraty parametrów wytrzymałościowych), w stosunkowo cienkiej otulinie zbrojenia oznaczać może koniec okresu eksploatacji rury. Tempo korozji zbrojenia, które nie jest chronione betonową otuliną, jest bardzo szybkie. Natomiast w przypadku rur betonowych neutralizacja betonu (bez utraty parametrów wytrzymałościowych) nie ma żadnego wpływu na skrócenie okresu eksploatacji. Skorodowanie warstwy betonu w rurze niezbrojonej (o grubości równej grubości otuliny w rurze żelbetowej) zwykle także nie stwarza zagrożenia dla bezpieczeństwa. Na skutek konsolidacji gruntu poprawia się rozkład obciążeń (zmniejsza się różnica pomiędzy wielkością obciążeń pionowych i poziomych) oraz następuje zmniejszenie wielkości obciążeń. Na rurę o zmniejszonej na skutek korozji nośności działa więc będzie mniejsze obciążenie i rura zazwyczaj może być dalej bezpiecznie eksploatowana.

Obecnie produkuje się w Polsce rury spełniające znacznie wyższe wymagania niż określono w normach branżowych. Dostępne są także rury produkowane w innych krajach dopuszczone do stosowania na rynku polskim na podstawie aprobat COBRTI, rury te zwykle spełniają wymagania FBS, zarówno w zakresie jakości betonu jak i gotowego wyrobu.

Produkowane są jeszcze rury o tradycyjnym (na sznur smotowany lub kit) sposobie uszczelniania połączeń. Na podstawie doświadczeń autorów, wynikających z badań wielu eksploatowanych kolektorów, rury takie powinny być całkowicie wycofane, gdyż ich połączenia nie są w stanie spełnić wymogów szczelności w dłuższym okresie eksploatacji. Rozwiązaniem zapewniającym łatwy i szybki montaż oraz wymaganą szczelność przewodu są uszczelki z tworzyw sztucznych, najlepiej zintegrowane z konstrukcją rur.

Studzienki rewizyjne

Wymagania w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji studzienek kanalizacyjnych określone są w normie [6]. Zgodnie z tą normą studzienki podzielić można na:

- włazowe, są to studzienki o średnicy co najmniej 1,0 m, przystosowane do wchodzenia i wychodzenia
- niewłazowe, są to studzienki o średnicy mniejszej niż 1,0 m, przystosowane do wykonywania czynności eksploatacyjnych
- bezwłazowe, są to studzienki bez otworu włazowego, przykryte stropem pod powierzchnią ter-

renu, pełniące funkcję studzienki połączeniowej lub rozgałęźnej.

Studzienki w zależności od przeznaczenia i wielkości mają różne kształty przekroju poprzecznego, najczęściej kołowe, rzadziej prostokątne lub wielokątne. Stosowane są różne rozwiązania konstrukcyjne studzienek:

- studzienki monolityczne, są to studzienki, w których co najmniej komora robocza wykonana jest w konstrukcji monolitycznej
- studzienki prefabrykowane, są to studzienki, w których co najmniej zasadnicza część komory roboczej i komin włazowy są wykonane z prefabrykatów
- studzienki murowane, są to studzienki, w których co najmniej zasadnicza część komory roboczej jest wykonana z cegły.

Zgodnie z normą [6] do budowy studzienek kanalizacyjnych mogą być stosowane następujące materiały:

- beton hydrotechniczny wraz z domieszkami uszczelniającymi
- kręgi betonowe i żelbetowe łączone na zaprawę cementową lub na uszczelki
- cegła kanalizacyjna wg normy [8]
- tworzywa sztuczne takie jak PCW, PP, PE, GRP i inne.

Dla najczęściej stosowanych obecnie studzienek betonowych i żelbetowych wymagania określone w normie są niewystarczające. Nie każdy beton hydrotechniczny może być stosowany bez ograniczeń do budowy studzienek. Domieszki uszczelniające nie są niezbędnym składnikiem betonu hydrotechnicznego oraz betonu do budowy studzienek. Studzienka jest integralną częścią przewodu kanalizacyjnego i ta sama norma określa warunki odbioru technicznego obu elementów całego systemu [6,15]. Dlatego też studzienki powinny być wykonane z betonu spełniającego omówione wymagania dla przewodów kanalizacyjnych.

PODSUMOWANIE

Z betonu cementowego produkuje się szeroki asortyment rur i kształtek obejmujący: rury kielichowe bez stopki, rury kielichowe ze stopką, rury kielichowe bez stopki z wykształconą kinetą, rury kielichowe ze stopką z wykształconą kinetą, rury łączone na zakład bez stopki i ze stopką, rury łączone na styk bez stopki i ze stopką, rury jajowe łączone na zakład, ze stopką o profilu normalnym i podwyższonym, rury jajowe łączone na styk ze stopką, trójniki i rury z otworem.

Produkcja rur odbywa się zwykle w formach pionowych, chociaż produkowane są również przewody w formach poziomych (np. rury Wipro na licencji firmy Mc Cracken). Zapewnienie odpowiedniej jakości wymaga, aby beton przygotowywany był na podstawie szczegółowo opracowanych receptur. Każdy etap produkcji, zwłaszcza parametry betonu, powinny być kontrolowane komputerowo. Szczególnie dokładnie przestrzegać należy wartości wskaźnika w/c określonego w recepturze. Często stosowaną technologią produkcji rur jest technologia firmy Prinzig Pegasus. Do produkcji rur używa się betonu o konsystencji wilgotnej. W technologii tej beton dostarczany jest do pionowej formy od góry. Wewnętrzny rdzeń formy jest równocześnie urządzeniem rozdzielająco-zagęszczającym, zapewniającym optymalne wypełnienie formy.

Zagęszczanie odbywa się za pomocą regulowanego centralnego wibratora. Kształtowanie bosego końca odbywa się z dokładnym zachowaniem tolerancji wymiarowych. Tuż przed zakończeniem cyklu napełnienia redukowana jest prędkość podnoszenia rdzenia, a zespół zagęszczający wlewa beton do bosego końca przy jednoczesnym wibrowaniu. Następnie rozpoczyna się prasowanie. Część kielichowa obniża się dokładnie do wymierzonej długości. Beton, który jest w nadmiarze, wypierany jest na rdzeń formy. Rdzeń przechodzi przez kielich i zespół zagęszczający odwiruje nadmiar betonu na stół. Gotowa rura wywożona jest w formie do hali dojrzewania, gdzie jest rozformowywana. Rozformowywanie następuje po uzyskaniu przez beton wytrzymałości minimalnej. W okresie wstępnego dojrzewania beton utrzymywany jest w stałej wysokiej wilgotności i temperaturze około 20°C. Rury są rozformowywane po uzyskaniu przez beton pewnej minimalnej wytrzymałości na ściskanie, zwykle nie mniejszej niż 40% wytrzymałości 28-dniowej.

Wytrzymałość na ściskanie betonu w rurach przeznaczonych do transportu powinna wynosić co najmniej 0,7 wytrzymałości charakterystycznej.

Produkowane obecnie rury betonowe odznaczają się bardzo dobrymi parametrami technicznymi wynikającymi z ogromnego postępu w technologii betonu, jakości produkcji oraz zwiększającym się rygorom kontroli wyrobów. Dobrym przykładem programu badań przewodów jest program opracowany przez Niemieckie Zrzeszenie Producentów Rur (FBS), które przyjęło dla polecanych przez siebie wyrobów następujące wymagania:

- pomiary geometrii oraz próby szczelności muszą być wykonane dla każdej wyprodukowanej rury. Odchyłki wymiarów nie mogą przekraczać wartości dopuszczalnych. Próbę szczelności wykonuje się przy ciśnieniu 0,1 MPa. Ciśnienie to jest dwukrotnie wyższe od wymagań określonych w normach niemieckich DIN, a także polskich [2, 3, 15]
- nośność określona na podstawie badań niszczących dla losowo wybranej liczby rur z każdej partii powinna być o około 50% wyższa od wymagań określonych w normach DIN
- wodoszczelność odcinka próbnego wykonanego z trzech losowo wybranych (z danej partii) rur powinna być zapewniona przy ciśnieniu 0,25 MPa. Ciśnienie to jest 5-krotnie wyższe od wymaganego dla próby wodoszczelności według

normy DIN, a także normy polskiej [14,15]

- zapewnienie wodoszczelności dla próbnego odcinka zmontowanego z trzech losowo wybranych rur przy jednoczesnym wzajemnym obrocie dwóch sąsiadujących rur, a także przy jednoczesnym wzajemnym przesunięciu poprzecznym dwóch sąsiadujących rur
- odchyłki wymiarów geometrycznych uszczelnień nie mogą być większe od określonych w wymaganiach.

Rury spełniające wymagania FBS produkuje się także z przeznaczeniem do stosowania na terenach szkód górniczych. Szczelność złącza tych rur zapewniona jest przez stosowanie odpowiednich uszczelnień oraz wydłużenie kielicha.

Reasumując, na podstawie wieloletnich badań przewodów infrastruktury sieciowej wykonanych z betonu, stwierdzamy znakomitą przydatność tego tworzywa do jej budowy zarówno technologiami bezwykopowymi jak i w wykopach otwartych.

prof. Cezary Madryas
dr Leszek Wysocki
Politechnika Wrocławska
Instytut Inżynierii Lądowej

Niniejszy artykuł powstał dzięki środkom na badania przyznanych autorowi przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej w ramach subsydiów profesorskich

Literatura

- 1 W. Bartusiak, B. Kulczycki, Żelbetowe rury przeciwskowe do mikrotunelowania, „Inżynieria Bezwykopowa” 1/2005, s. 42-43
- 2 BN-83/8971-06.00 Prefabrykaty budowlane z betonu. Rury i kształtki beczciśnieniowe. Ogólne wymagania i badania
- 3 BN-83/8971-06.01 Prefabrykaty budowlane z betonu. Rury beczciśnieniowe. Kielichowe rury betonowe i żelbetowe WIPRO
- 4 BN-83/8971-06.02 Prefabrykaty budowlane z betonu. Rury beczciśnieniowe. Rury betonowe i żelbetowe typów O, O_g, C i C_s
- 5 C. Madryas, A. Rolnik, Rury do mikrotunelowania, „Inżynieria Bezwykopowa” 4/2003, s. 36-43
- 6 PN-B-10729 Kanalizacja. Studzienki kanalizacyjne
- 7 PN-71/M-80014 Druty stalowe gładkie do konstrukcji sprężonych
- 8 PN-76/B-12037 Cegła pełna wypalana z gliny – kanalizacyjna
- 9 PN-82/B-01801 Antykorozyjne zabezpieczenie w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Podstawowe zasady projektowania
- 10 PN-85/B-01805 Antykorozyjne zabezpieczenie w budownictwie. Ogólne zasady ochrony
- 11 PN-86/B-01811 Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Ochrona materiałowo-strukturalna. Wymagania.
- 12 PN-86/B-06712 Kruszywa mineralne do betonu zwykłego
- 13 PN-82/H-93215 Walcówka i pręty stalowe do zbrojenia betonu
- 14 PN-92/B-10727 Kanalizacja. Przewody kanalizacyjne na terenach górniczych. Wymagania i badania przy odbiorze
- 15 PN-92/B-10735 Kanalizacja. Przewody kanalizacyjne. Wymagania i badania przy odbiorze
- 16 PPBW Betras, Sp.z o.o., Materiały informacyjne

Fot. 3. Montaż głowicy do mikrotunelowania

