

Technologie bezwykopowe stosowane przez Metropolitan Water Reclamation District of Greater Chicago

■ Joanna Jacobs PE, Metropolitan Water Reclamation District of Greater Chicago, Chicago, Illinois, USA



Oczyszczalnie ścieków zarządzane przez Metropolitan Water Reclamation District of Greater Chicago (dalej: District) obsługują obszar 2288 km² powiatu Cook w stanie Illinois. Ścieki zbierane są przez 1422 km kolektorów. Kanalizacja należąca do District średnio transportuje w ciągu dnia 5701 mln l ścieków pochodzących od 168 lokalnych właścicieli infrastruktury kanalizacyjnej. Część systemu kanalizacyjnego należącego do District znajduje się na obszarze obsługiwanym przez kanalizację ogólnospławną, odprowadzającą ścieki bytowo-gospodarcze i opadowe. W tych rejonach, aby odciążać kanalizację ogólnospławną i ochronić te tereny oraz rzeki i jezioro Michigan od zalewania ściekami, w 1972 r. District opracował *Plan tuneli i zbiorników (TARP)*.

Wstęp

Najstarszy kolektor został wybudowany w 1910 r. Wielkość zainstalowanych rurociągów waha się od średnicy 203,2 mm dla rur kamionkowych do 8230/7315 mm dla rur betonowych o przekroju dzwonowym. Średnica systemu tuneli TARP mieści się w granicach od 2743 mm do 10 058 mm.

Historycznie District do wymiany zniszczonych rur o małej średnicy stosował metody wykopowe. W 1991 r. po raz pierwszy wykorzystano technologię bezwykopową do odnowy rur o średnicy 381 mm i 457 mm. Rehabilitację tego odcinka rurociągu przeprowadzono metodą tzw. rękawa (*cured-in-place pipe* – CIPP).

District stosuje obecnie następujące technologie rehabilitacji zniszczonych rurociągów:

- rehabilitacja rurą utwardzaną na miejscu, tzw. rękawem (*cured-in-place pipe* – CIPP)
- rehabilitacja z zastosowaniem ciągu długich rur (*sliplining*)
- rehabilitacja segmentami rurowymi (*channeline*)
- renowacja metodą betonu natryskowego (*shotcrete*) oraz renowacja poprzez natrysk żywicy epoksydowej (*epoxy*)

Do budowy nowych rurociągów i systemu tunelowego TARP stosuje się następujące technologie:

- horyzontalne przewiertki sterowane (*horizontal directional drilling*)
- tunelowanie (*tunneling*) i przeciski hydrauliczne (*pipe jacking*).

Ocena stanu technicznego kolektorów

W 1992 r. District opracował pięcioletni *Program inspekcji kolektorów i ich renowacji (IIRP)*. W trakcie tego programu, w cyklu pięcioletnim, przeprowadzane są inspekcje kolektorów pod względem hydrauliki przewodu, stanu technicznego oraz infiltracji i przepływu. Ocena stanu technicznego jest przeprowadzana przy użyciu kamer CCTV,



Ryc. 1. Uszkodzony kolektor o wymiarach 2134/2134 mm

inspekcji z obchodem, wykrywaniem pustych przestrzeni nad kolektorem oraz monitorowania przepływu w sieci (ryc. 1).

Wybór technologii rehabilitacji poprzedza ocena takich czynników, jak stan techniczny kolektora, jego wielkość i zagłębienie, możliwość kolizji z innymi rurociągami, lokalizacja, koszty renowacji, uciążliwość dla mieszkańców.

Cured-in-place

Technologia rehabilitacji rękawem utwardzanym na miejscu (CIPP) pozwala na bezwykopowe przywrócenie właściwości użytkowych odnawianego przewodu. Nasączony żywicą rękaw jest inwersyjnie wprowadzony do rurociągu przy użyciu sprężonego powietrza lub wody, albo jest wciągany. Utwardzanie następuje poprzez recyrkulację gorącej wody lub pary wodnej. Ściśle przylegająca do ścianki odnawianego przewodu bezszwowa powłoka jest odporna na korozję.

Przed montażem nasączonego rękawa odnawiany przewód musi być oczyszczony i osuszony, co wymaga zatrzymania przepływu ścieków. W wielu przypadkach wykonawca jest w stanie skierować ścieki do pobliskiego systemu tunelowego TARP, natomiast tam gdzie nie jest to możliwe, ścieki są przepompowywane. Na rycinie 2 pokazano przepompownię komunalnych ścieków pochodzących z rury o średnicy



Ryc. 2. Przepompownia



Ryc. 3. Montaż rękawa

1829 mm. W tym przypadku wykonawca zainstalował trzy pompy: dwie pracujące i jedną zapasową.

Pompy zostały podłączone do jednej rury PEHD o średnicy 457,2 mm. Rurę położono przy krawężniku, a w miejscach przejść przez ulicę lub przy wjazdach do domów zakopano.

Większość kolektorów jest zlokalizowana w aglomeracjach miejskich, ciasno zabudowanych. Wyzwaniem dla wykonawcy jest zminimalizowanie miejsca potrzebnego na urządzenie i materiał, tak by część ulicy była otwarta dla ruchu. Rycina 3 przedstawia jeden pas ulicy zamkniętej dla ruchu w śródmieściu Evanston w miejscu wykopu startowego. W tym przypadku rękaw był nasączany żywicą w miejscu montażu, co oznaczało, że wykonawca potrzebował placu na cysternę z żywicą. Rycina 4 przed-



Ryc. 4. Rozprowadzanie żywicy

stawia wprowadzanie żywicy do rękawa i jej równomierne rozprowadzenie w rękawie tuż przed montażem.

W zależności od wielkości rury District pozwala wykonawcy na montaż nasączonego rękawa przez istniejącą studzienkę albo przez wykop startowy. Rycina 5 przedstawia wprowadzanie rękawa o średnicy 1753 mm przez wykop o średnicy 1,83 m i głębokości 13,1 m. Wykop został zabezpieczony rurą stalową karbowaną, a 15-centymetrową przestrzeń między rurą a wykopem wypełniono betonem. Wejście do istniejącego kolektora zostało utworzone przez wycięcie powierzchni górnej rury. Po montażu rękawa w obu kierunkach otwór został zabudowany betonem, a wykop wypełniony lekkim betonem (689,5 kPa). Nieodnowiona przestrzeń między dwoma rękawami została wypełniona żywicą epoksydową.



Ryc. 5. Montaż CIPP

Sliplining

Technologia *sliplining* polega na wciągnięciu do poddanego odnowie przewodu jednej długiej rury z powierzchni terenu lub ciągu długich rur łączonych ze sobą w wykopie początkowym. Technolo-

Ryc. 6. Wykop początkowy dla metody *sliplining*

gię tę zastosowano do rehabilitacji 2134 m kolektora o przekroju dzwonowym i wymiarach 3048/3048 mm. Został on zbudowany w 1918 r. Jest to najdłuższa i największa rehabilitacja kanału technologią *sliplining* przeprowadzona przez District. Ten wielki kolektor znajduje się na obszarze sieci kanalizacji ogólnospławnej w miejscowości Evanston. Aby poprawić parametry wytrzymałościowe i hydrauliczkie przewodu, wykonawca wybrał rurę o średnicy zewnętrznej 2896 mm, zbudowaną z tworzywa sztucznego odlewane go odśrodkowo i wzmocnionego włóknom szklanym (CCFRPM), produkowaną przez Hobas. Podczas instalowania pierwszych 610 m wykonawca odkrył, że istniejący kolektor zmniejszył swój przekrój i wybrana rura jest za duża.

Ponownie dokonano oceny projektu i do odnowy następnych 1524 m kanału zastosowano rurę Hobas o średnicy zewnętrznej 2642 mm. Do zainstalowania nowego rurociągu wykonawca potrzebował trzech wykopów początkowych (ryc. 6).

Przepustowość istniejącego kanału wynosiła 6,09 m³/s. Przepustowość po zainstalowaniu nowej rury o mniejszej średnicy metodą *sliplining* obliczono na 6,29 m³/s. Dzięki dużej gładkości wewnętrznej powierzchni rury Hobas zmniejszenie średnicy odnawianego przewodu nie spowodowało zmniejszenia wielkości przepływu.

Ze względu na wielkość istniejącego kolektora i ilości ścieków bytowo-gospodarczych wykonawca przepompowywał ścieki z pominięciem odcinka, który został przeznaczony do rehabilitacji, ale w dalszym ciągu w kanale płynęło od 380 do 460 mm ścieków. Do przepompowania ścieków zainstalowano cztery pompy.

Wyzwaniem dla wykonawcy było wypełnienie przestrzeni pomiędzy istniejącym kanałem i nową rurą ze względu na unoszenie się rury i ograniczony dostęp. Rozwiązano problem, wypełniając tę przestrzeń warstwowo zaprawą cementową.

Channeline

District zastosował technologię *channeline* do renowacji betonowych kanałów o przekroju dzwonowym, długości 2797 m i wymiarze 2134/2134 mm oraz długości 2103 m i wymiarze 2438/2348 mm, znajdujących się na głębokości od 11,58 m do 15,24 m.

Kontrakt obejmował dwie możliwości odnowy tego kanału: technologię CIPP i technologię *channeline*. Ponieważ 1609 m tego kanału znajduje się pod torami kolejowymi, gdzie budowanie szybu początkowego było niemożliwe, wykonawca zdecydował, że zastosuje technologię wykładziny segmentowej w postaci połówek przekroju, wykonanej z polistyrenu wzmocnionego włóknom szklanym (GRPP).

W celu umożliwienia osuszenia odnawianego kolektora District zlecił budowę komory, która umożliwiła skierowanie ścieków do systemu TARP.

Segmenty wykładziny o długości 2,44 m były produkowane w dwóch częściach (ryc. 7). Początkowo wykonawca instalował obie części w środku kanału, co było bardzo powolnym procesem. Chcąc przyspieszyć renowację kanału, zaczęto montować segmenty na zewnątrz, następnie opuszczano je przez szyb na dno kanału i przesuwano w głąb kanału. Instalowanie wykładziny wzrosło z 76 m na tydzień do ponad 137 m. Przez każdy szyb wykonawca był w stanie zamontować 915 m wykładziny. Rehabilitacja całego kolektora wymagała wybudowania czterech szybów.

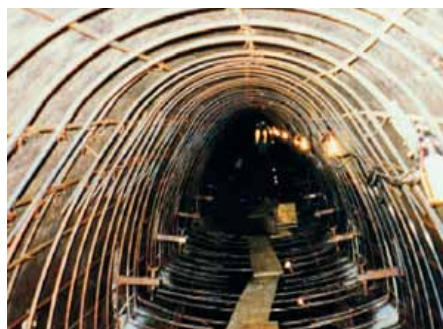
Rycina 8 przedstawia zamontowane segmenty. Przestrzeń pomiędzy GRPP i odna-



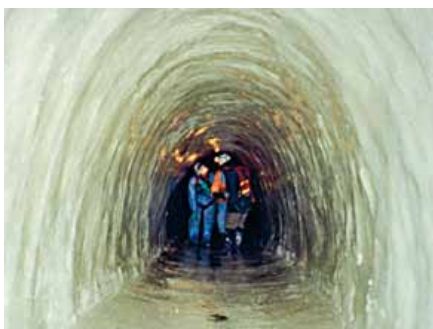
Ryc. 7. Segmenty przygotowane do instalowania



Ryc. 8. Po zainstalowaniu wykładziny



Ryc. 9. Zainstalowane zbrojenie



Ryc. 11. Nakładanie żywicy epoksydowej



Ryc. 13. Przewiert sterowany



Ryc. 10. Nakładanie drugiej warstwy betonu natryskowego



Ryc. 12. Studzienka odnowiona żywicą epoksydową



Ryc. 14. Konstrukcja pierwszego kanału

wianym przewodem została wypełniona zaprawą cementową (6894,7 kPa) przez wtlaczanie zaprawy rurkami wtryskowymi i wentylacyjnymi.

Shotcrete i renowacja powłoką z żywicy epoksydowych

W technologii betonu natryskowego, *shotcrete*, sprężone powietrze wymusza przepływ betonu o dużej prędkości przez przewód i dyszę, rozpylając go na powierzchni. *Shotcrete* może być procesem suchym lub mokrym. W procesie suchym cement i kruszywo są tłoczone za pomocą sprężonego powietrza do dyszy, gdzie mieszają się z wodą tłoczoną przez oddzielny przewód. W procesie mokrym gotowy beton jest tłoczony do dyszy.

Po raz pierwszy District zastosował mokry proces *shotcrete* z powłoką Epoxy w 1996 r., przy odnawianiu 2219 m kanału o wymiarach 1981/1981mm przekroju dzwonowego. Kanał ten znajduje się 11 m pod ul. McCormick Boulevard w miejscowości Skokie w stanie Illinois.

W celu zastosowania technologii *shotcrete* wykonawca zbudował nad kanałem cztery szyby i zamykając część kanału, skierował ścieki do pobliskiego systemu TARP. Po wyczyszczeniu kanału i zainstalowaniu zbrojenia (ryc. 9) dolna część kanału została zalana betonem. Ściany i sufit kanału pokryto betonem natryskowym (ryc. 10). Aby beton był odporny na korozję, wykonawca nałożył powłokę z żywicy epoksydowej AquataPoxy® A-6 (ryc. 11).

Technologii *shotcrete* District używa także do naprawy uszkodzonych ścian w studzienkach i komorach.

Rycina 12 przedstawia studzienkę zbudowaną z cegły o przekroju 0,91 m, odnowioną żywicą poliuretanową Spraywall®, produkowaną przez Sprayroc. Żywica poliuretanowa Spraywall® zabezpieczyła antykorozyjnie studzienkę oraz przywróciła parametry wytrzymałościowe. Napór wody gruntowej powstrzymywała zainstalowana powłoka o grubości 25 mm.

Horizontal directional drilling – przewiert

District ma doświadczenie w instalowaniu rurociągów ciśnieniowych o średnicy 152,4 mm, 254 mm i 355,6 mm PEHD (SDR 11) za pomocą przewiertów sterowanych. 1274 m rurociągu ciśnieniowego o średnicy 152,4 mm zostało zainstalowane w głównej ulicy miejscowości Schaumburg w stanie Illinois.

Wzdłuż rurociągu wybudowano studzienki odpowietrzające rurociąg oraz umożliwiające oczyszczanie rurociągu. Dla uniknięcia kolizji z istniejącą infrastrukturą podziemną, głębokość niektórych studzienek dochodziła do 7 m. Na samym początku instalowania wykonawca stwierdził, że detektory pokazują fałszywy odczyt z sondy. Ten problem był spowodowany linią wysokiego napięcia o mocy 13 8000 V, przebiegającą równolegle do rurociągu. Aby instalacja rurociągu przebiegała prawidłowo, wykonawca mógł pracować tylko nocą, gdy zużycie energii było niskie.

Na rycinie 13 przedstawiono wiercenie otworu pilotażowego. Wiertnicę ustawiono 9 m przed wykopem, gdzie miała być zbudowana studzienka. Wykonawca przewiercił się przez pierwszy wykop do drugiego, gdzie została zamontowana rura PEHD i wciągnięta aż do pierwszego wykopu.

Tunelowanie i przeciski hydrauliczne

District zapoczątkował stosowanie procesu tunelowania w 1910 r., podczas budowy pierwszego kolektora. Kontynuował tę technologię w latach 20. XX w. i postępując tak aż do czasów obecnych. Technologia tunelowania, która jest używana przez District, zależy od wielkości kanału, głębokości i warunków gruntowych.

W latach 20. większość budowanych kolektorów miała przekrój kielicha. Na początku District używał drewnianych wzmocnień żebrowych i drewnianych okładzin. W latach późniejszych zastosowano stalowe ożebrowanie i drewniane okładziny. Na ściany tunelu została położona wykładzina betonowa (ryc. 14).

Niektóre kolektory o mniejszej średnicy (wielkości do 1219 mm) były budowane metodą tunelowania mieszanego. Część takiego kolektora była wybudowana przez zainstalowanie zbrojonych rur betonowych z zastosowaniem przecisków hydraulicznych, a część metodą tunelowania ze wzmocnieniami żebrowymi i drewnianymi okładzinami. Urobek był wydobywany ręcznie lub przy bardzo długich odcinkach mechanicznie. District zastosował technologię mikrotunelowania do instalacji zbrojonych betonowych rur o śred-



Ryc. 15. Głowica maszyny TBM

nicy 1219,2 mm. Zaletą mikrotunelowania jest to, że wydobycie urobku i instalowanie rur jest kierowane zdalnie. District używa również technologii przewiertu kierunkowego, z zastosowaniem wiertnicy ślimakowej (*augering*), do krótkich odcinków, takich jak przejście pod ulicą, gdzie dodatkowo potrzebne jest zainstalowanie stalowej rury nośnej.

Największym osiągnięciem District było wybudowanie systemu głębokich tuneli. W 1975 r. rozpoczęto budowę systemu głębokich tuneli TARP. Budowa została zakończona w 2006 r. Powstało 176 km systemu tunelowego o średnicy od 2743 mm do 10

058 mm. Tunel był wiercony w dolomitach wapiennych na głębokości od 46 m do 107 m. Do wywiercenia tunelu o średnicy 10058 mm użyto największych dostępnych w tym czasie maszyn TBM. W ten sposób zwiększono szybkość wierceń i zminimalizowano użycie ładunków wybuchowych.

Te kamienne tunele zostały wyłożone powłoką niezbrojonego betonu w celu zabezpieczenia tunelu przed infiltracją wód podziemnych i eksfiltracją ścieków do gruntu. Przez ponad 30 lat tworzenia systemu tunelowego nastąpił niesamowity postęp w technologii maszyn TBM. Budując ostatni odcinek tego systemu, wykonawca pobił kilka rekordów świata, m.in. z wykonaniem tunelu o długości 137,7 m w ciągu jednego dnia.

Rycina 15 pokazuje głowicę maszyny TBM przebijającą ścianę szybu końcowego, gdzie została zdemontowana i wyniesiona na powierzchnię.

Szyby początkowe (końcowe) służyły do opuszczania części maszyn TBM i ich tam montowania oraz do demontażu i wyniesienia na powierzchnię rozmontowanych części. Szyby te miały średnicę od 7,62 m do 9,76 m (ryc. 16).

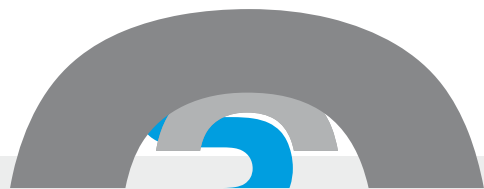


Ryc. 16. Szyb początkowy

Szyby służyły również do wentylacji tuneli i umożliwiały załadunek budowlanej wejście do tunelu. Łącznie system tunelowy posiada pojemność 8,7 mld l ścieków mieszanych (bytowo-gospodarczych i opadowych), które poprzednio podczas opadów deszczu były w wielu miejscach przelewane z sieci kanalizacyjnej do rzek.

District w dalszym ciągu stosuje powyższe technologie bezwykopowe i stale jest zainteresowany wdrażaniem nowych technologii renowacji starych przewodów kanalizacyjnych.

R E K L A M A



MOSTY
TRADYCJA
I NOWOCZESNOŚĆ

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy
• Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska • Związek Mostowców Rzeczypospolitej Polskiej
Oddział Pomorsko-Kujawski • Polskie Towarzystwo Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej
Oddział Bydgoszcz • Council of Polish Engineers in North America • Firma GOTOWSKI
Budownictwo Komunikacyjne i Przemysłowe Sp. z o.o. • Kujawsko-Pomorska Okręgowa
Izba Inżynierów Budownictwa • Towarzystwo Miłośników Miasta Bydgoszczy

zapraszają na

III Międzynarodową Konferencję Mostową im. Rudolfa Modrzejewskiego

KONSTRUKCJE I MATERIAŁY STOSOWANE W MOSTOWNICTWIE • TECHNOLOGIE BUDOWY I REMONTÓW MOSTÓW
• OBLICZENIA I PROJEKTOWANIE MOSTÓW • NIEZAWODNOŚĆ MOSTÓW

14–15 maja 2012 roku
BYDGOSZCZ

Sekretariat konferencji: WBiŚ UTP w Bydgoszczy, ul. Prof. S. Kaliskiego 7
tel./faks 52 340 84 11, 52 340 86 40, info@mosty.bydgoszcz.pl

www.mosty.bydgoszcz.pl

patronat medialny