

# Od komory do komory

mgr inż. Rafał Czarnecki

Prywatne Przedsiębiorstwo Inżynieryjne Gerhard Chrobok sp.j.

**W ramach prac przy budowie kolektora do oczyszczalni ścieków „Czajka” w Warszawie konieczne było przygotowanie komór technologicznych niezbędnych dla zrealizowania mikrotunelu**



Fot. 1. | Komora startowa

Fot. 2. | Moment wejścia głowicy mikrotunelowej do komory odbiorczej



Na północy Warszawy zlokalizowana została jedna z ważniejszych inwestycji regionu w zakresie ochrony środowiska – oczyszczalnia ścieków „Czajka”. W okresie od 2009 r. do kwietnia 2011 r. zrealizowany został kolektor dosyłowy od brzegów Wisły do oczyszczalni, będący częścią układu przesyłowego ścieków z lewobrzeżnej Warszawy. Projekt przewidywał wykonanie rurociągu o średnicy  $\phi 2800$  metodą mikrotunelowania. Całkowita długość zrealizowanego rurociągu to 5714 m. Niewielu mieszkańców Białoleki miało świadomość, jak ogromne przedsięwzięcie było realizowane pod ulicami, a jeszcze mniejsza grupa ludzi wiedziała o tym, jak zaawansowaną technologię stosowano na każdym etapie prac.

PPI CHROBOK sp.j. podjęła się przygotowania komór technologicznych niezbędnych dla zrealizowania mikrotunelu. Było to przedsięwzięcie wymagające przede wszystkim pod względem technologicznym, ale również z uwagi na tempo prowadzonych prac.

## MIKROTUNEL

Mikrotunel podzielony został na szereg odcinków o długości kilkuset metrów. Drażnienie odbywało się od komory startowej do komory odbiorczej, przechodząc po drodze przez komory pośrednie. Dla przeprowadzenia powyższej inwestycji konieczne było wykonanie 58 komór o średnim rozstawie 100 m. Należy tu dokonać podziału z uwagi na funkcję, jaką pełnią komory technologiczne :

- Komory startowe – to w nich głowica

- Wykonano 16 tysięcy  $m^3$  kolumn cementowo-gruntowych, zużywając kilkanaście tysięcy ton cementu.
- Najdłuższe grodzice wbijane z użyciem młota wibracyjnego zawieszzonego na dźwigu mierzyły 22,5 m.
- Wbudowano i zdemontowano ponad 1300 ton ram i rozpór stalowych.
- Łącznie wbito grodzice o powierzchni ponad 22 tys.  $m^2$ .



Fot. 3. | Komora pośrednia przewiercona mikrotunelom ↑ po wbudowaniu studni rewizyjnej



Fot. 4. | Komora dla połączenia kolektorów. (od przodu → istniejący  $\phi 2400$ , na drugim planie kolektor Czajka)

## ROZWIĄZANIE PROJEKTOWE I TECHNOLOGICZNE

W związku z koniecznością wykonania komór, o których mowa wyżej, zaproponowano obudowy wykopów technologicznie odpowiednie dla sposobu drażenia mikrotunelu oraz warunków grunto-wo-wodnych.

Większość obudów wykopów realizowana była w gruntach piaszczystych o znacznych miąższościach. Poziom wód gruntowych znajdował się zaledwie 1,85÷6,20 m ppt. W warunkach piasków nawodnionych uzyskanie nawet niewielkich głębokości w wykopie otwartym rodzi poważne problemy. Przy głębokościach rzędu kilkunastu metrów niedopuszczalne jest prowadzenie odwodnienia, ze względu na jego wpływ na istniejącą zabudowę. Wobec powyższego zaproponowano wykonanie obudów w technologii ścianek szczelnych z odcięciem swobodnego dopływu wody w części dennej.

mikrotunelowa rozpoczyna drażenie. Tutaj głowica i wszystkie jej segmenty wprowadzane są na głębokość prowadzonego przewiertu. W komorze tej zlokalizowane są siłowniki przeciskowe zapewniające poziomy ruch głowicy i tutaj też wprowadzane są kolejne elementy rurociągu (fot. 1). Konstrukcja i geometria komory jest zwymiarowana w stosunku do wymogów technologicznych wykonania przewiertu. Na potrzeby powyższej inwestycji wykonano 7 takich komór głębokości 8,10÷10,90 m ppt.

- Komory odbiorcze – służą odebraniu głowicy po wykonaniu odcinka by umożliwić jej wydobycie na powierzchnię. Istotny aspekt stanowi wejście głowicy do komory gdy, z zachowaniem stateczności i szczelności, przekroczona zostaje ściana obudowy (fot. 2). Wykonano 7 komór odbiorczych do głębokości wykopu 13,10 m ppt.
- Komory startowo-odbiorcze – często komora może pełnić jednocześnie funkcję zapewniającą odebranie głowicy, jak i funkcję umożliwiającą rozpoczęcie nowego odcinka wiercenia. Ma to zastosowanie przede wszystkim wówczas, gdy zmiana kierunku budowanej sieci jest na tyle istotna, że nie można jej zrealizować w łuku.
- Komory pośrednie – mikrotunel jest drażony przez szereg komór pośrednich. Służą one uzyskaniu dostępu do wbudowanych fragmentów rurociągu w celu instalacji np. studni rewizyjnych (fot. 3). Wykonano 32 takie komory o głębokości od 7,4 do 14,1 m ppt. czyli 6÷12 m poniżej poziomu zwierciadła wód gruntowych.
- Komory dla wykonania połączeń – często istnieje konieczność wykonania połączenia nowo budowanej sieci z już istniejącą. Nie ma to wpływu na technologię wykonywania mikrotunelu, jednak znacząco wpływa na geometrię komory (fot. 4). Wynika to z rozmiarów wykonywanych wewnątrz konstrukcji oraz zabezpieczenia przejść istniejących sieci przez obudowę komory. W ramach omawianej inwestycji dodatkowo wykonano również mniejsze komory na istniejących sieciach w celu przyłączenia ich do kolektora Czajka.

Ściankę szczelną zaprojektowano z grodziec z zamkiem typu larsen w kilku kształtach profilowych. Wszystkie profile wykonano z podwyższonej klasy stali 355 GP. Ostatecznie użyto profile: VL, PU oraz GU w geometrii odpowiedniej dla warunków pracy grodziec, tj. parcia i głębokości wykopów. Ścianki zaprojektowano odpowiednio długie, aby osiągnąć warstwy gruntów nieprzepuszczalnych. W większości przypadków było to jednak niemożliwe, a długość grodziec uwzględnić musiała też wydłużenie drogi filtracji, by zapobiec wyparciu dna wykopu.

W związku ze wspomnianym problemem znacznego ciśnienia wody w obrębie komory (9 m słupa), zaprojektowano dodatkowe uszczelnienia poniżej dna wykopu. Technologia zakładała wykonanie „korków” grubości 2 m metodą iniekcji



Fot. 5. | Wypalanie otworu w ścianie stalowej

strumieniowej, pozwalając odciąć dopływ wód gruntowych.

W tej samej technologii jak przesłone poziomą, zdecydowano również uformować przesłone pionową. Z kilku względów zaproponowano cementowo-gruntową ścianę formowaną poza obrysem obudowy wykopu. Pozwala na wypalenie otworu w grodzicach stalowych w celu umożliwienia wyjścia głowicy wierzącej z komory (fot. 5). Ponadto przesłona pionowa uszczelnia wejście głowicy wierzącej do komory oraz częściowo przejmuje naprężenia w trakcie jej wprowadzania.

W komorach pośrednich cementogrunt jest materiałem urabialnym dla głowicy mikrotunelowej, co pozwala na jej przejście w poprzek komory. Natomiast po odkopaniu komory pozostaje ciągła i stateczna ściana z kolumn jet-grouting, zabezpieczająca wykop, współpracując z obudową stalową z grodzic (fot. 6).

Dla zapewnienia stateczności obudów wykonano ramy i rozparcia stalowe w kilku poziomach. Część elementów stalowych była demontowana po wykonaniu płyty żelbetowej w dnie komory (fot. 7).

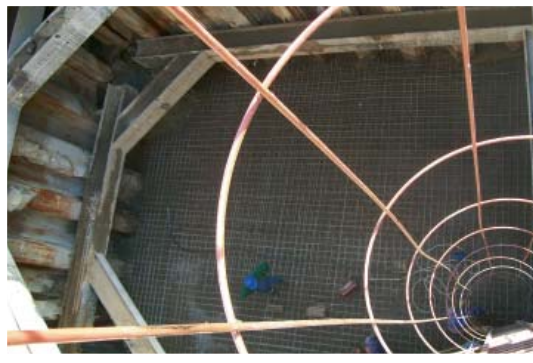
## SPECYFIKA TECHNOLOGICZNA

Założenia ogólne realizacji inwestycji ujęte projektem budowlanym wymagały szeregu szczegółowych rozwiązań wykonawczych. PPI CHROBOK sp.j. wyszła naprzeciw oczekiwaniom zamawiającego. Szybko uzgodniono projekty technologiczne, zaproponowano rozwiązania szczegółowe oraz omówiono sposób prowadzenia robót dla każdego obszaru. Zapewniono tym samym kompleksową obsługę wykonawczą w niezbędnym zakresie.

Jet-grouting – technologię zastosowano budując każdą z 58 komór. By zobrazować wykonany zakres, najlepiej podać łączną ilość zainiektowanej objętości gruntu przekraczającą 16 tysięcy m<sup>3</sup> przy zużyciu rzędu kilkunastu ty-

sięcy ton cementu. Dziennie zużywano bowiem od 50 do nawet 120 ton cementu. Iniekcję prowadzono najczęściej w systemie dwumediowym, czyli w osłonie strumienia sprężonego powietrza. Użyto dwóch maszyn fabrycznie przystosowanych dla formowania kolumn w technologii iniekcji strumieniowej (fot. 8). Między innymi, jako pierwsi w Europie, zastosowaliśmy wiertnicę firmy Klemm 807-7, którą zakupiliśmy dzięki dofinansowaniu z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2007–2013. Użycie równie zaawansowanych pomp wysokociśnieniowych pozwoliło na precyzyjne sterowanie parametrami iniekcji dla uformowania właściwych średnic kolumn cementowo-gruntowych. Projekt technologiczny sporządzony przez biuro projektowe PPI CHROBOK sp.j., przewidywał zakładkę kolumn o średnicach od  $\phi 800$  do  $\phi 2000$ , tworząc ciągłą przesłone poziomą lub pionową. Mając świadomość jakości wykonania mogliśmy optymalnie zaprojektować wzajemny rozstaw kolumn. Ponadto technologia iniekcji wysokociśnieniowej doskonale nadawała się do wszelkiego rodzaju uszczelnień. Uszczelniano zamki narożne ścian komór oraz, w kilku szczególnych przypadkach, uszczelniono połączenia istniejących rurociągów wchodzących do komór technologicznych. Wymagało to sporej delikatności, by przechodząc strumieniem ciśnienia o sporej energii nie uszkodzić istniejącej sieci, a wypełnić jednocześnie przestrzeń znajdującą się poniżej (lokalnie formowano kolumny  $\phi 3000$ ). Ponadto w przypadku, gdyby w wyniku przeszkód w gruncie nie osiągnięto zakładanej

rzędnej pograżenia grodzicy, możliwe byłoby późniejsze uzupełnienie braku przez wykonanie iniekcji wysokociśnieniowej. W niektórych sytuacjach, kiedy wbijanie ścianek szczelnych odbywało się w zasięgu mobilności wiertnicy jet-grouting, wykorzystywano ten fakt poprzez wysokociśnieniowe wodne płukanie gruntu (fot. 9).



Fot. 7. | Wykonywanie żelbetowej płyty dennej przed usunięciem części ram stalowych ↑

Fot. 6. | Ściana z przesłony jet-grouting ↓



Fot. 8. | Wiertnice wraz technologią do iniekcji



Tradycje od 1920 roku

# PPI Gerhard Chrobok sp.j.



- pogrążanie i wyciąganie grodzic stalowych
- kotwy, gwoździe gruntowe i mikropale
- wbijanie kształtowników stalowych dla potrzeb ścianek berlińskich
- pale przemieszczeniowe FDP
- pale wiercone CFA, kolumny DSM
- pale rurowe, pale VIBRO
- kolumny i przesłony filtracyjne w technologii jet-grouting
- przewiertki i przeciski poziome do  $\varnothing$  2800 mm
- przewiertki sterowane do  $\varnothing$  800 mm
- mikrotuneling do  $\varnothing$  1800 mm
- relining do  $\varnothing$  1000 mm
- projektowanie w zakresie wyżej wymienionych robót inżynierskich

43-220 Bojszowy Nowe, ul. Kowola 11  
tel. +48 32 218 98 88, fax +48 32 218 94 47  
ppi@chrobok.com.pl

[www.chrobok.com.pl](http://www.chrobok.com.pl)

Pozwalało to niejednokrotnie usunąć przeszkody w gruncie lub znacząco przyspieszyć proces wbijania grodzic. Na prośbę zamawiającego wykonywano natomiast dodatkowe pale jet-grouting przed wejściem do komór odbiorczych. Pale miały na celu przyjęcie ciężaru głowicy wierzącej, by zapobiec jej osiadaniu tuż przed komorą.



Fot. 9. | Podwiercanie z użyciem ciśnienia dla ułatwienia pogrążania grodzic

Ścianki szczelne – łącznie wykonano ścianki o powierzchni ponad 22 tysięcy m<sup>2</sup>. Ścianki pogrążano z użyciem młotów wibracyjnych pracujących na dźwigach samochodowych. Łącznie pracowało od 2 do 4 zestawów wibromłotowych. Szczególnie warta uwagi była długość grodzic wykonywanych tą metodą przekraczająca 20 m profilu. Skomplikowane było już samo dostarczenie tak długich grodzic, wymagające przewozu koleją, przeładunek i transport ponadgabarytowy na budowę. Wbudowanie wymagało więc stosowania szczególnych zabiegów i umiejętności operatorów oraz brygady. Było to wyzwanie m.in. dla operatora dźwigu, który musiał poradzić sobie z łącznym ciężarem grodzicy wraz z dociążonym jeszcze młotem wibracyjnym. Najdłuższe wbijane w ten sposób grodzice mierzyły 22,5 m (fot. 12). W szczególnych przypadkach w trakcie pogrążania grodzic, prowadzony był monitoring drgań oddziałujących na sąsiednie budynki. Pozwoliło to na bieżące optymalizowanie częstotliwości drgań młota wibracyjnego. Zdarzało się nieraz, że ze względu na bliskość zabudowy konieczne było zastosowanie technologii wciskania grodzic (fot. 10). Do tych celów użyto palownicy z zamontowaną na maszynie prasą hydrauliczną do wciskania statycznego. Prace te dostarczyły szczególnych trudności ze względu na brak możliwości manewru maszyny o tak ogromnych gabarytach w warunkach zabudowy miejskiej. Dodatkowo konieczne było doszczelnienie zamków narożnych metodami iniekcijnymi. W lokalizacjach, gdzie istniała zmienność warunków



Fot. 10. | Statyczne pogrążanie grodzic



Fot. 11. | Ramy i rozpory stalowe

geologicznych, niejednokrotnie trudne okazywało się dobić grodzic do odpowiedniej rzędnej. Dla celów dobięcia grodzic wykorzystywano kafar o dużej energii udaru (fot. 13). Nie jest to jednak rozwiązanie preferowane, z uwagi na uciążliwość pracy dla osób trzecich. Oprócz skomplikowanego montażu ścianek, należy jeszcze wspomnieć o złożoności demontażu grodzic ponad 20 m długości. Niektóre profile przecinane były na mniejsze odcinki w trakcie ich wyciągania.

Roboty montażowe – w ramach prac wbudowano i zdemontowano ponad 1300 ton ram oraz rozpór stalowych (fot. 11). Tutaj rygor terminowej wykonalności był szczególnie, bowiem wykonanie kompletnego podparcia obudowy warunkowało dalsze głębienie wykopu. Konieczna była ścisła koordynacja dostaw materiału, pracy dźwigów i brygad spawaczy ze sprzętem prowadzącym roboty iniekcyjne oraz ziemne.

## WACHLARZ TECHNOLOGII

Poza działaniami bezpośrednimi w celu wybudowania komór technologicznych, niezbędne okazało się dostarczenie innych technologii i wprowadzenie maszyn pełniących funkcje wspomagające.

Koparko-ladowarki są zawsze niezbędnym sprzętem przy tego typu przedsięwzięciach. Przy częstej zmianie lokalizacji frontu działań istnieje potrzeba przeprowadzenia robót przygotowawczych. Maszyny gaśnicowe wymagają ciągłej niwelacji terenu, natomiast dokładności wymaga również przygotowanie stanowiska jet-grouting, tj. platformy dla węzła z pompą, mieszalnikami i silosem. Obsługa wiertnic jet-grouting jest pracochłonna. Ponadto konieczne jest codzienne przygotowanie zbiornika dla iniektu wydostającego się z otworów wiertniczych oraz usuwanie stwardniałego iniektu wraz z urobkiem z dnia poprzedniego. Urobek taki stanowi natomiast doskonały materiał dla budowy platformy roboczej w miejscu kolejnej komory. Praktyczne okazało się użycie własnych środków transportu w stosunku do urobku i długowymiarowych profili stalowych czy też użycie samochodu z HDS. Często stosowano również mniejsze palownice, zapewniające modyfikację gruntu przez jego rozluźnienie świdrem ciągłym w miejscach, gdzie występowały problemy z pogrążeniem grodzic (fot. 14). Przydatna była także cysterne z pompą, która pozwalała dostarczyć wodę dla potrzeb iniekcji oraz wypompować nadmiar iniektu wydobywający się podczas formowania kolumn jet-grouting.

W zakresie usług wspierających inwestycję należy ponadto odnotować wykonanie szeregu przewiertów sterowanych dla doprowadzenia przewodów niezbędnych technologicznie.

## WYZWANIA I DOŚWIADCZENIA

Prowadzenie prac w zabudowie miejskiej wymaga szczególnych zabiegów organizacyjnych. W celu zapewnienia bezpieczeństwa przy poruszaniu się wielotonowymi maszynami w środku osiedli ludzkich, konieczne było zatrudnienie dodatkowych pracowników obsługi. Dużym wyzwaniem było także dostarczanie materiału długimi zestawami samochodowymi w obszar osiedlowych ulic oraz rozładunek. Kluczowe dla tego zadania okazało się poszanowanie opinii lokalnych mieszkańców bezpośrednio dotkniętych prowadzonymi pracami.

Większość komór zlokalizowana została w pasie zieleni jednej z bardziej ruchliwych dróg Warszawy, ul. Modlińskiej

(fot 15). Niejednokrotnie konieczne było zatrzymanie ruchu ulicznego w celu przeprowadzenia rozładunku lub zapewnienia bezpieczeństwa w trakcie np. procesu pionowania silosu na cement. Wyzwaniem było sprawne i bezpieczne przeprowadzanie takich czynności.

W miarę postępu frontu mikrotunele niezbędne jest podążanie za nim całego zestawu technologicznego. Presja czasu mobilizująco wpływała na szybki demontaż, przewożenie i instalację całego zespołu technologicznego. W ciągu paru godzin prawie sto ton maszyn, urządzeń, zbiorników, materiałów oraz zaplecze socjalne były na nowo zlokalizowane.

Wytrzymałość cementogruntu przewidzianego projektem pierwotnym zakładała minimalną wartość 5 MPa. Dla bloków wejściowych wykonywanych w technologii jet-grouting szybko dostrzeżono zasadność podwyższenia tej wytrzymałości, z uwagi na skalę sił, jaką wywołuje głowica mikrotunele w chwili jej wejścia do komory. Wyzwanie stanowiło skorygowanie parametrów iniekcji, w tym składu iniektu, by uzyskać podwyższoną wytrzymałość. Badania próbek In-situ cementogruntu potwierdziły wytrzymałość na ściskanie przekraczającą 15 MPa.

Z uwagi na zlokalizowanie cienkich słaboprzepuszczalnych warstw w trakcie wbijania grodzic, zdecydowano się wykorzystać je w celu uzyskania dodatkowej szczelności. Dlatego kolumny jet-grouting, tworzące przesłonę przeciwiłtracyjną, przedłużano lokalnie dla zespolenia z właściwymi warstwami geologicznymi.

Technologia mikrotunelowania stawia ograniczenia robotom iniekcyjnym prowadzonym w sąsiedztwie wykonywanego odcinka. Zagrożeniem jest wpływ iniektu na własności płuczek wiertniczych, w tym zwłaszcza smarujących pobocznicę wykonywanego rurociągu. Wszelkie roboty w systemie iniekcji wysokociśnieniowej musiały zostać bezwzględnie wykonane odpowiednio wcześniej, co okazało się zasadniczym czynnikiem organizującym prowadzenie robót.

Koordinacja wielu technologii pozwoliła szybko reagować na potrzeby tak złożonego przedsięwzięcia, jakim była budowa kolektora Czajka. Doświadczenie w stosowaniu specjalistycznych maszyn oraz zrozumienie problematyki wykonawstwa geotechnicznego pozwoliło elastycznie angażować środki produkcji. Terminowa realizacja komór technologicznych pozwoliła tym samym na skoncentrowanie wysiłków zamawiającego na urzeczywistnieniu ambitnych planów i wykonanie największego mikrotunele w Polsce.



Fot. 12. | Grodzica 22,5 m przed wbiciem



Fot. 13. | Wiertnica pionowa wraz z kafarem wspomagające pograżanie grodzic



Fot. 14. | Wiercenie wspomagające pograżanie grodzic



Fot. 15. | Prowadzenie prac w pasie zieleni ul. Modlińskiej