



FOT. 1. | Realizacja robót jet grouting

**DANIEL SŁOWIKOWSKI**  
Polbud-Pomorze sp. z o.o.

**PAWEŁ HAJDUK**  
Polbud-Pomorze sp. z o.o.

**RYSZARD KAPTUR**  
Polbud-Pomorze sp. z o.o.

**JERZY RZEŹNICZAK**  
GEOTECHNIKA, Poznań

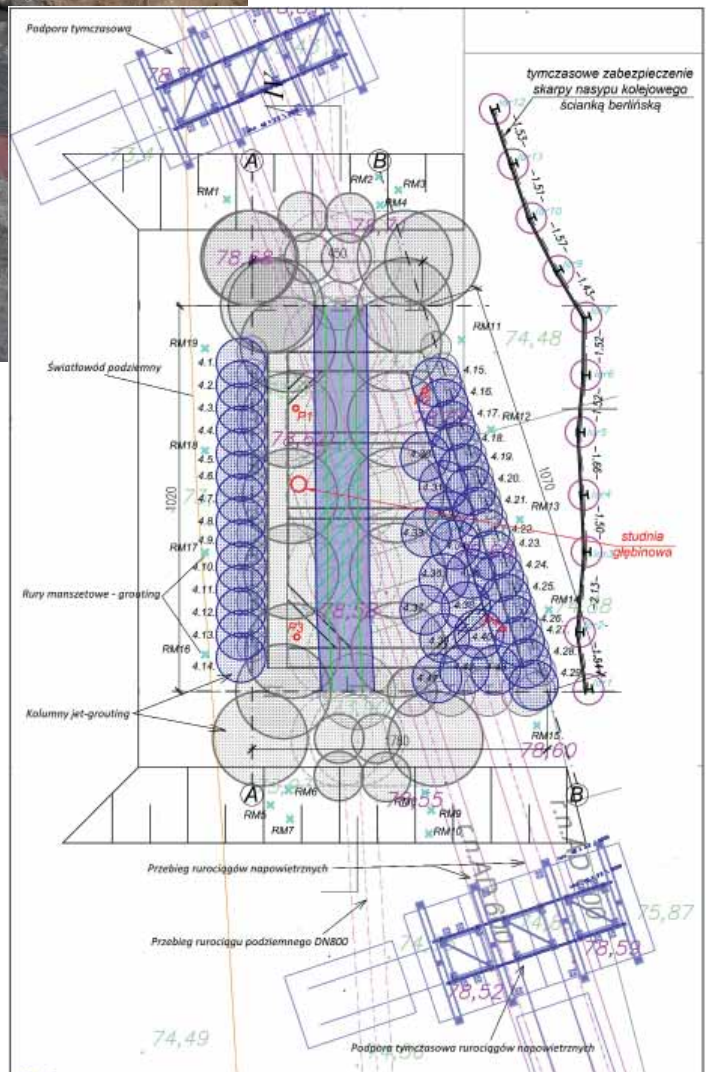
**WITOLD CHAROŃSKI**  
GEOTECHNIKA, Poznań

**JOANNA MICHALAK**  
GEOTECHNIKA, Poznań

## GEOTECHNIKA

# WYKONANIE GŁĘBOKIEJ KOMORY NAPRAWCZEJ

DLA RUROCIĄGU DN800  
Z ZASTOSOWANIEM  
INIEKCJI STRUMIENIOWEJ



RYS. 1. | Rzut komory naprawczej

Konieczność wykonania głębokiej komory naprawczej dla rurociągu DN800 powstała w wyniku uszkodzenia mechanicznego. Do awarii doszło w bardzo skomplikowanych przestrzennie i geotechnicznie warunkach na głębokości około 14 m p.p.t. W trakcie robót natrafiono na wiele trudności i niezidentyfikowanych wcześniej problemów, co wymusiło rewizję założeń projektowych, których celem była stabilizacja gruntu wokół komory oraz zamknięcie okien hydraulicznych wokół rurociągu

Uszkodzenie podziemnego rurociągu DN800, należącego do strategicznej dla kraju sieci energetycznej, wymagało umożliwienia dostępu do instalacji w celu zaplanowania i wykonania naprawy. Awaria miała charakter mechaniczny i powstała w trakcie prowadzenia robót niezwiązanych z budową i eksploatacją rurociągu, który został wykonany metodą horyzontalnego przewiertu sterowanego HDD (ang. *Horizontal Directional Drilling*) w celu przejścia pod korytem rzeki. W trakcie realizacji prac wiertniczych natrafiono na wiele problemów i przeszkód gruntowych. Aby zrealizować inwestycję, wykonano kilkakrotne przewiertu oraz działania mające na celu rozluźnienie gruntu, usunięcie przeszkód i zainstalowanie rurociągu. Do uszkodzenia doszło w bardzo skomplikowanych przestrzennie i geotechnicznie warunkach, tj.:

- na przecięciu trasy przebiegu dwóch napowietrznych rurociągów DN800 i DN600 (w rejonie podpory tych rurociągów) oraz podziemnego rurociągu DN800 [fot. 2];
- w bezpośrednim sąsiedztwie nasypu kolejowego oraz wału przeciwpowodziowego rzeki, co dodatkowo wpływało na warunki stateczności komory;
- w bezpośrednim sąsiedztwie światłowodu komunikacyjnego, przebiegającego w odległości kilku metrów od rurociągu podziemnego;
- w strefie zalewowej rzeki o bardzo wysokim poziomie wody podziemnej (okresowo zwierciadło wody podziemnej stabilizowało się ponad poziomem terenu);
- w strefie dużych rozluźnień nawodnionego piaszczystego podłoża.

Bezpośrednią przyczyną awarii było mechaniczne uszkodzenie w trakcie prowadzenia robót wiertniczych, mających na celu ustabilizowanie rozluźnionego gruntu, ponieważ zagrożona została stateczność

sąsiednich podpór rurociągów napowietrznych. Uszkodzenie spowodowane było pracami wykonywanymi przez firmę zewnętrzną – doszło do niej w wyniku niewłaściwie prowadzonych robót wiertniczych, podczas których nie wykazano się należytą starannością i zachowaniem bezpieczeństwa w zakresie prowadzonych działań.

## ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE

Prace projektowe poprzedzono wykonaniem badań podłoża gruntowego oraz sondowaniem mającym na celu ustalenie lokalizacji rurociągu, a więc jego przebiegu w planie oraz głębokości ułożenia. Miejsce uszkodzenia precyzyjnie określono pomiarami wykonanymi z wnętrza rurociągu. Z uwagi na ograniczenia technologiczne i brak zgody administratora rurociągu nie było możliwości wykonania sondowań i odwiertów w bezpośrednim sąsiedztwie instalacji. Badania geotechniczne przeprowadzono zatem w strefie bezpiecznej, w odległości kilkunastu metrów od potencjalnego przebiegu rurociągu.

W profilu geotechnicznym do głębokości około 18 m p.p.t. stwierdzono dominację gruntów niespoistych (piasków średnich) o  $I_p$  od 0,45 do 0,90, przedzielonych w interwale głębokości 4,6 do 5,6 m p.p.t. warstwą glin o  $I_L \sim 0,14$ . Warstwa ta ma charakter lekko napinający zwierciadło wód podziemnych, które stabilizowało się na głębokości około 2,6 m p.p.t. [rys. 2], a okresowo nawet powyżej poziomu terenu (strefa zalewowa).

Analizując możliwości sposobu wykonania komory, rozważano różne rozwiązania, takie jak:

- odwodnienie terenu studniami depresyjnymi, niewykonalne ze względu na bardzo duże dopływy;
- wykonanie obudowy ściankami z grodzic stalowych, co odrzucono ze względu na uwarunkowania przestrzenne [fot. 2] oraz

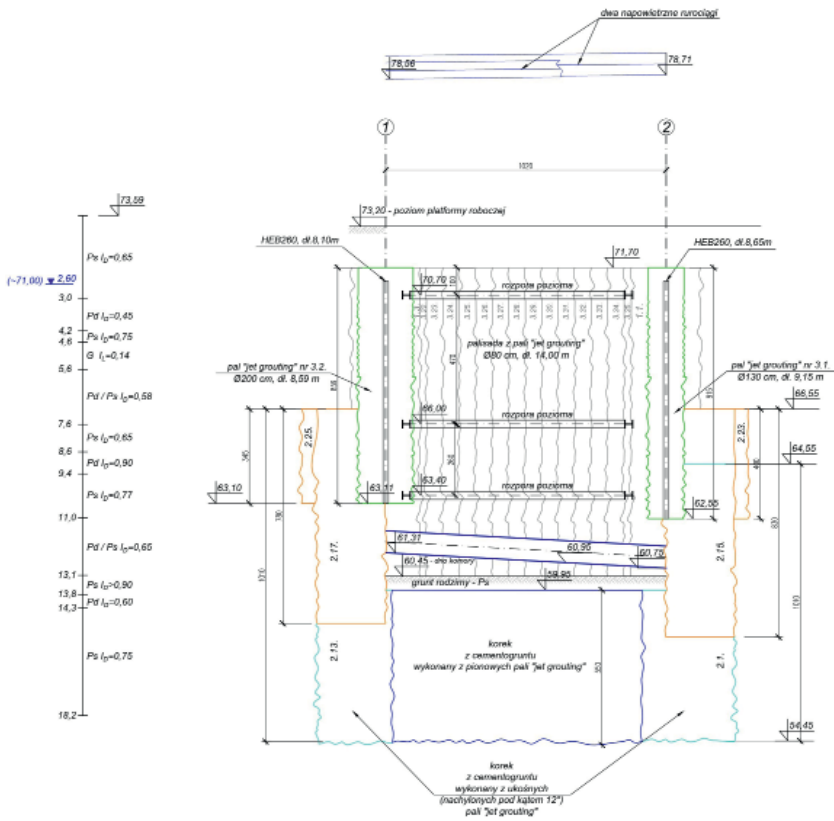
ryzyko uszkodzenia rurociągu, którego przebieg nie był dokładnie ustalony;

- mrożenie gruntu odrzucono ze względu na warunki bezpieczeństwa rurociągu wypełnionego medium pod ciśnieniem kilku MPa.

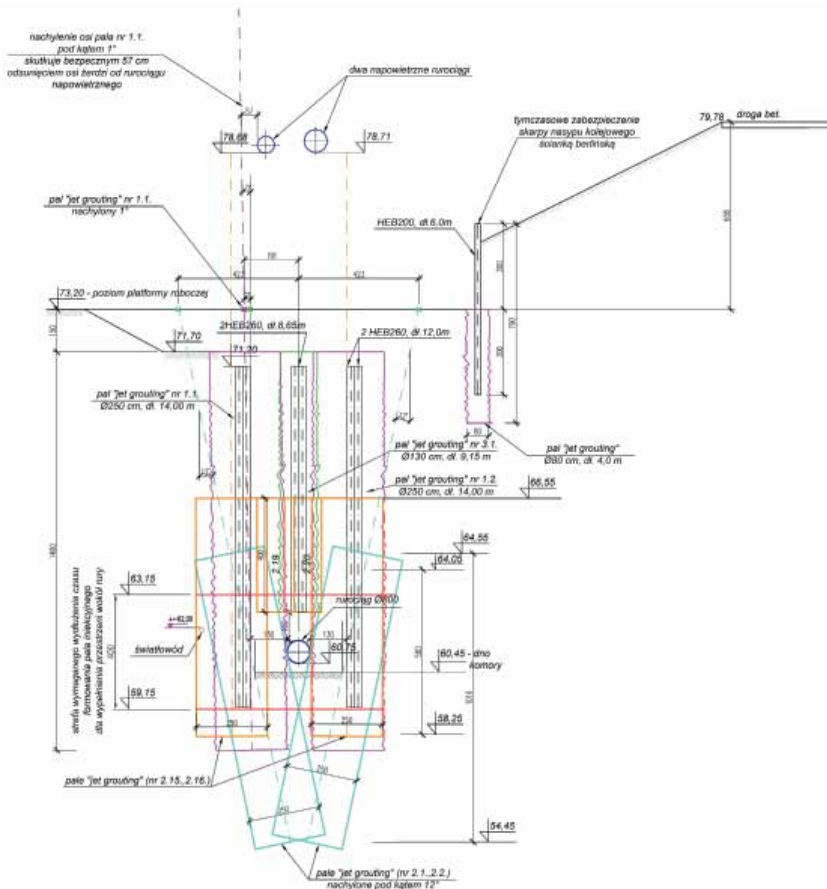
Uznano, że optymalnym rozwiązaniem będzie komora z palisady z kolumn jet grouting, zamknięta od dołu korkiem jet grouting. Zaletą tej metody jest możliwość wykonania kolumn o stosunkowo dużej średnicy przy niewielkiej średnicy przewiertu. Ta właściwość miała bardzo istotne znaczenie z uwagi na ryzyko ewentualnego uszkodzenia rurociągu. Ponadto wybrana metoda umożliwia wykonywanie kolumn i cementacji gruntu pod różnymi kierunkami, co pozwala na dopasowanie kierunków wiercenia oraz iniekcji do ograniczeń przestrzennych przy rurociągach napowietrznych oraz pod rurociągiem podziemnym.

Ostatecznie komorę wykonano w technologii jet grouting wspomaganą iniekcją niskociśnieniową. Kształt komory wynikał z uwarunkowań przestrzennych. Był ograniczony sąsiedztwem nasypu kolejowego, wału przeciwpowodziowego, tymczasowej podpory rurociągów napowietrznych oraz podziemnego światłowodu. Komora w rzucie miała kształt trapezu o długości 10,0 m i bokach mierzących 4,7 i 7,8 m. Przy ustalaniu wymiarów uwzględniono wymagania transportu pionowego z wnętrza komory (wydobycie urobku, transport materiałów itp.) [rys. 1].

Ściany komory zaprojektowano w formie palisady z zachodzących na siebie kolumn jet grouting, zbrojonych kształtownikami HEB260 [rys. 2, rys. 3]. Dno zamknięto korkiem o miąższości około 5,5 m, wykonanym w formie kolumn jet grouting pionowych oraz skośnych (wchodzących pod rurociąg), w interwale głębokości od 19,0 do 13,5 m od platformy roboczej. Zaprojektowano kolumny o średnicach od 0,8 do 2,5 m, w zależności



RYS. 2. | Profil podłużny przez komorę naprawczą



RYS. 3. | Profil poprzeczny przez komorę naprawczą

od potrzeb. Roboty wykonano w technologii mono- i double-jet. W celu formowania kolumn zastosowano zawieszinę cementową o docelowej wytrzymałości cementogruntu powyżej 15 MPa.

Uwzględniając fakt, że przebieg rurociągu i głębokość jego ułożenia była niepewna, oraz wystąpił brak możliwości bezpośredniej ingerencji strumieniem iniektu po zewnętrznej powierzchni rurociągu (rurociąg był eksploatowany, a rura jest pokryta osłoną katodową), zdecydowano o pozostawieniu okien hydraulicznych wokół przewodu. Mając na względzie ryzyko wdarcia się kurzawki, zaprojektowano dodatkowe kolumny tworzące tzw. rękawy cementogruntowe na wlocie i wylocie rurociągu z komory. Ich zadaniem było wydłużenie drogi filtracji. Przewidziano także doszczelnienie rękawów iniekcjami niskociśnieniowymi zawieszinami cementowo-bentonitowymi. Zaprojektowano siatkę rur manszetyowych wielokrotnego użycia, poprzez które wykonano iniekcje strefowe. W projekcie przewidziano także iniekcje żywicami rozprężnymi, wykonywanymi lancami montowanymi w gruncie z powierzchni terenu oraz przez ściany od wewnątrz komory.

Komorę naprawczą zaprojektowano do głębokości ~11,5 m poniżej platformy roboczej. Uwzględniając bezpośrednie sąsiedztwo nasypu kolejowego, którego korona kształtowała się około 9,0 m ponad platformę roboczą, zaprojektowano odpowiednie dodatkowe zabezpieczenie komory, zapewniające jej stateczność. W tym celu zaprojektowano:

- ściankę berlińską, której celem było utrzymanie skarpy sąsiedniego nasypu kolejowego [rys. 3];
- zbrojenie ścian (palisady);
- konstrukcję rozpierającą ściany komory [rys. 4].

Zbrojenie ścian zaprojektowano z profili stalowych HEB260 do głębokości poniżej dna komory. Dodatkowo przewidziano cztery poziomy rozparcia na rzędnych: 1,1 m p.p.t., 5,7 m p.p.t., 8,3 m p.p.t. Dolny, najniższy poziom rozparcia, zapewniał korek z cementogruntu stanowiący podłoże dna komory. Rozparcia zaprojektowano jako prefabrykowane, wyko-

nane odpowiednio z profili stalowych HEB450 oraz HEB600. Prefabrykację tak zaplanowano, aby poszczególne elementy można było wprowadzić w pionowe ciągi transportowe komory, spójcjonować oraz zmontować.

Ważnym elementem bezpiecznego prowadzenia robót było odwodnienie komory. Odwadniano ją dzięki wykorzystaniu studni depresyjnych, zlokalizowanych wewnątrz komory. Ze względu na warunki stateczności dno komory zaprojektowano 0,5 m powyżej stropu korka. W związku z tym założono, że po zamontowaniu dolnego poziomu rozpór, wraz z głębieniem komory, odwodnienie będzie przejmował system rzepi i odwadniania powierzchniowego.

### WYKONANIE ROBÓT

Podstawą realizacji robót było odpowiednie ich etapowanie. W pierwszej kolejności wykonano zabezpieczenie skarpy nasypu kolejowego [fot. 1], po czym przystąpiono do utworzenia pionowej palisady. W tym celu zastosowano urządzenia umożliwiające realizację kolumn praktycznie pod dowolnym kątem.

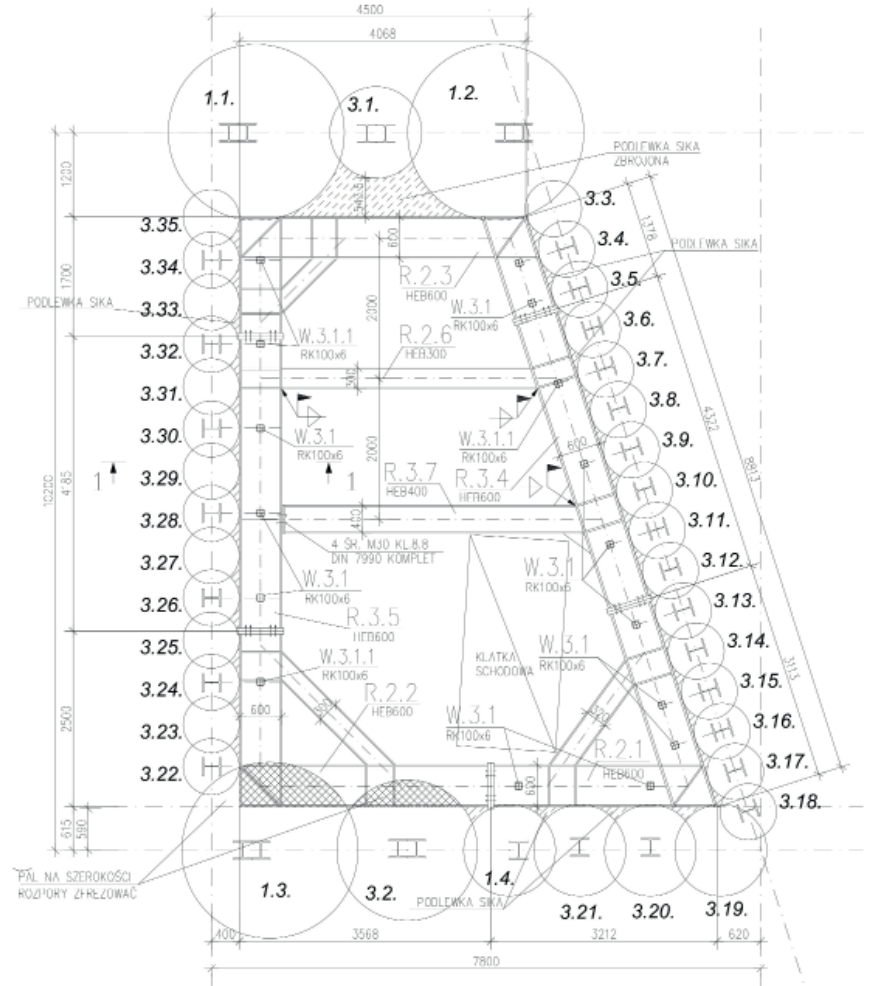
W kolejnym etapie powstały kolumny kierunkowe zamykające przestrzeń pod rurociągami, a następnie kolumny wypełniające całą objętość zaprojektowanego korka. Roboty prowadzono z bardzo dużą ostrożnością. Kolumny kierunkowe zaprojektowano z uwzględnieniem ich wielopłaszczyznowej orientacji, tak by nie doszło do uszkodzenia czynnych rurociągów napowietrznych masztami wiertnicy.

Po zakończeniu formowania konstrukcji komory oraz po uruchomieniu systemu odwadniania przystąpiono do głębienia komory. Po zamontowaniu pierwszego poziomu rozpór natrafiono na problemy polegające na obniżaniu się tymczasowych podpór rurociągów napowietrznych. W tej sytuacji priorytetem okazało się ustabilizowanie tych podpór. Bez względu na konieczność stało się zbadanie stanu gruntu wokół komory oraz w możliwie najbliższym sąsiedztwie rurociągu. W zaistniałej sytuacji była to kluczowa kwestia warunkująca dalsze wykonanie komory naprawczej.

Badania wykonano w regularnej siatce wokół komory sondą DPH. Stwierdzono bardzo duże rozbieżności warunków gruntowych



FOT. 2. | Widok placu budowy w trakcie robót



RYS. 4. | Rzut stalowej konstrukcji rozpór wewnątrz komory naprawczej (zaprojektowano i wykonano trzy poziomy rozparcia)

FOT. 3. | Stabilizacja gruntu wokół komory (jet grouting)





**FOT. 4.** | Prace naprawcze rurociągu  
**FOT. 5.** | Likwidacja komory naprawczej przez wykonanie zagęszczonego nasypu budowlanego



**FOT. 6.** | Widok placu budowy po zakończeniu robót z nową podporą rurociągów napowietrznych posadowioną na zasypanej komorze naprawczej

w porównaniu do danych przyjętych w projekcie. Sondowania wykazały pustki i strefy bardzo rozluźnionego gruntu poniżej warstwy glin. Stopień zagęszczenia poza pustkami wahał się w granicach od 0,3 do 0,45 i dopiero w strefie dna komory sięgał wartości 0,6–0,7. W tej sytuacji zaprojektowano dodatkową siatkę rur manszetowych i wykonano szereg iniekcji strefowych zawieszoną cementowo-bentonitową. Iniekcje niskociśnieniowe (manszetowe) prowadzono do wysycenia gruntu spoiwem (do obserwowanego wzrostu ciśnienia iniekcji). Łącznie wprowadzono do gruntu ~700 m<sup>3</sup> zawiesziny twardniejącej [fot. 3].

Po ustabilizowaniu gruntu wokół komory wykonano dodatkowo drugi rząd kolumn jet grouting niezbrojonych, do głębokości trzeciego poziomu rozpór. Następnie przystąpiono do głębienia komory oraz do montażu kolejnych rozpór, stopniowo zastępując odwodnienie rzepami.

Bardzo ważnym elementem wykonania i utrzymania komory było zapewnienie bezpieczeństwa. Poza odpowiednio zaprojektowanym systemem transportu pionowego, zapewnieniem dróg ewakuacji dla pracowników, był prowadzony ciągły monitoring składu atmosfery w komorze oraz odpowiednia wentylacja wnętrza komory. Monitorowanie składu

atmosfery miało na celu głównie pomiar stężenia tlenu oraz węglowodorów. Do tego celu wykorzystano czujniki elektroniczne. W celu wentylacji komory wykorzystano wentylatory wyposażone w elastyczne lutniociągi doprowadzające świeże powietrze na dno komory. Ze względu na specyfikę pracy konieczne było zapewnienie co najmniej dwóch niezależnych źródeł energii elektrycznej.

Poniżej trzeciego poziomu rozpór przy zejściu z dnem komory do poziomu rurociągu DN800 pojawiły się problemy z dopływem wody i kurzawki w strefie okien wokół rury. Sukcesywnie instalowano lance iniekcyjne, wykonując przewierci przez ścianę komory. Zgodnie z założeniami projektowymi prowadzono iniekcję żywicami zwiększającymi objętość w kontakcie z nawodnionym gruntem. Skład iniektu dobierano tak, by uzyskać jak najszybszy efekt wiązania przy jak największym przyroście objętości iniektu.

Po odstonięciu rury dalsze prace przedsiębiorstwa wykonawcy polegały na utrzymaniu komory na czas; wykonywano diagnozy uszkodzenia, opracowania i zatwierdzano metody naprawy [fot. 4]. Utrzymanie komory trwało około trzech miesięcy, po czym przystąpiono do likwidacji. Likwidacja polegała na warstwowym zasypywaniu wraz z dogęsz-

zeniem każdej warstwy przy równoczesnej pracy systemu odwadniania. Po zakończeniu robót, odbudowano docelową podporę rurociągów napowietrznych [fot. 6].

## PODSUMOWANIE

Roboty polegające na wykonaniu i utrzymaniu komory naprawczej dla rurociągu podziemnego DN800 były nietypowym i trudnym geotechnicznie przedsięwzięciem. Dodatkowych trudności dostarczał brak dobrego rozpoznania geotechnicznego, ograniczenia wynikające z bezpieczeństwa rurociągu oraz bardzo duża degradacja gruntu na skutek problemów z wykonaniem przewierci HDD. W trakcie robót przyjęto założenie, że ryzyko i niepewność wynikająca z braku rozpoznania będą redukowane stopniowo, w trakcie postępu robót. O skali trudności przedsięwzięcia może świadczyć ilość wydanych około 30 kart nadzoru autorskiego, rewidujących i uzupełniających założenia projektowe. Niewątpliwie bardzo dobrym rozwiązaniem było zastosowanie metody iniekcji strumieniowej. Możliwości i zalety tej metody w pełni sprawdziły się w trakcie wykonywania robót.

Opisana realizacja komory naprawczej została uhonorowana nagrodą TYTAN 2019. |