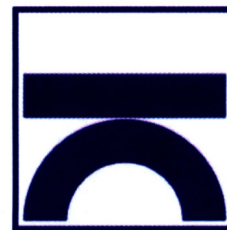


INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW

03-302 Warszawa, ul. Instytutowa 1

Zakład Geotechniki i Fundamentowania

tel.: (0-22) 675-43-75 fax.: (0-22) 3900 193



Zamawiający:

METRO WARSZAWSKIE Sp. z o.o.

ul. Wilczy Dół 5

02-798 Warszawa

EKSPERTYZA TECHNICZNA

**dotycząca określenia przyczyn awarii i metod jej usunięcia na stacji
C13 odcinka centralnego II linii metra w Warszawie**

Opracowali:

Mgr inż. Krzysztof Grzegorzewicz

dr inż. Bolesław Kłosiński

mgr inż. Piotr Rychlewski

Krzysztof Grzegorzewicz
mgr inż. budownictwa lądowego
03-343 Warszawa, ul. Ambielńska 5 m. 7

Rzecznik budowlany (rej. CRRB 152/01/2)
w specjalności konstrukcyjno-inżynierskiej
opr. budowl. wykonane nr 306/6SP25N W-0
opr. budowl. projektowe nr W-01/01/04

Bolesław Kłosiński

dr inż. budownictwa lądowego
03-630 Warszawa, ul. Siemiradzkiego 13 m. 4

Rzecznik budowlany (rej. CRRB 152/01/2)
w specjalności konstrukcyjno-budowlanej
opr. budowlane nr 91-497/90
opr. mostowe nr KBUa-2126/670/66

**Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Pracownia Inżynierii Geotechnicznej
Kierownik**

mgr inż. Piotr Rychlewski

Warszawa, wrzesień 2012

Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Zakład Geotechniki i Fundamentowania
PRACOWNIA INŻYNIERII GEOTECHNICZNEJ
03-302 Warszawa
ul. Instytutowa 1

1. Podstawa i cel ekspertyzy

Opracowanie ekspertyzy zamówiło METRO WARSZAWSKIE Sp. z o.o. Celem ekspertyzy jest określenie przyczyny powstania awarii związanej z wpływem nawodnionego gruntu z łącznika tunelowego na budowie stacji metra C-13 oraz przedstawienie propozycji usunięcia jej skutków i zalecenia dotyczące technologii wykonania łącznika tunelowego pod Wisłostradą.

Zamawiający udostępnił następujące dokumenty i opracowania:

- 1) Projekt wykonawcy (zawierający 12 pozycji w zapisie elektronicznym) z 07'2012
- 2) Płyte CD z zapisem zawierającym:
 - a) Wyciąg z projektu budowlanego stacji metra C-13 „Powiśle”;
 - b) Projekt wykonawczy łącznika pomiędzy wschodnią a zachodnią częścią stacji metra C-13 „Powiśle”;
 - c) Wybrane fragmenty dokumentacji powykonawczej tunelu Wisłostrady pozyskane w ZDM-ie;
 - d) WPK – wybrane fragmenty dot. stacji C-13 „Powiśle”;
 - e) Opracowanie Politechniki Warszawskiej pt. Analiza z badań uzupełniających dotyczących uszczegółowienia przebiegu stropu Mio-plioceńskich iłów w rejonie projektowanej stacji C-13 „Powiśle”
 - f) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie;
 - g) Zdjęcia z budowy łącznika pomiędzy wschodnią a zachodnią częścią stacji metra C-13 „Powiśle”;
 - h) Skany Dziennika budowy dot. realizacji łącznika pomiędzy wschodnią a zachodnią częścią stacji metra C-13 „Powiśle”;
- 3) Fotografie z miejsca rozpoczęcia drążenia łącznika północnego
- 4) Płyte z zapisem monitoringu do 24.08.2012
- 5) Dokumentację wykonawczą kolumn jet grouting, uformowanych na froncie za ramą nr 6.
- 6) Sukcesywnie przekazywane wyniki pomiarów geodezyjnych, wykonywanych w ramach monitorowania budowy
- 7) Projekt wykonawczy Konstrukcja, przejście pod tunelem Wisłostrady (wersja papierowa)
 - a) część 1/2, datowana 07'2012 (opis i wyciąg z obliczeń)
 - b) część 2/2, datowana 05'2012, zawierająca rysunki datowane 05'2012 i 07'2012
- 8) Analiza z badań uzupełniających dotyczących uszczegółowienia przebiegu stropu mio-plioceńskich iłów w rejonie stacji C-13 „POWIŚLE”, opracowanie Zakładu Geotechniki i Budowli Podziemnych Politechniki Warszawskiej (07'2012)

- 9) Projekt zabezpieczenia odcinka tunelu Wisłostrady, datowany 09'2012 (przekazany 7.09.2012)
- 10) Raport z oględzin dokonanych w dniu 8.09.2012 przez nurka zachodniej komory stacji zatopionej i zabalastowanej gruntem pochodzącym z awarii 13/14 sierpnia 2012
- 11) Raporty z pomiarów geodezyjnych obiektów objętych monitoringiem

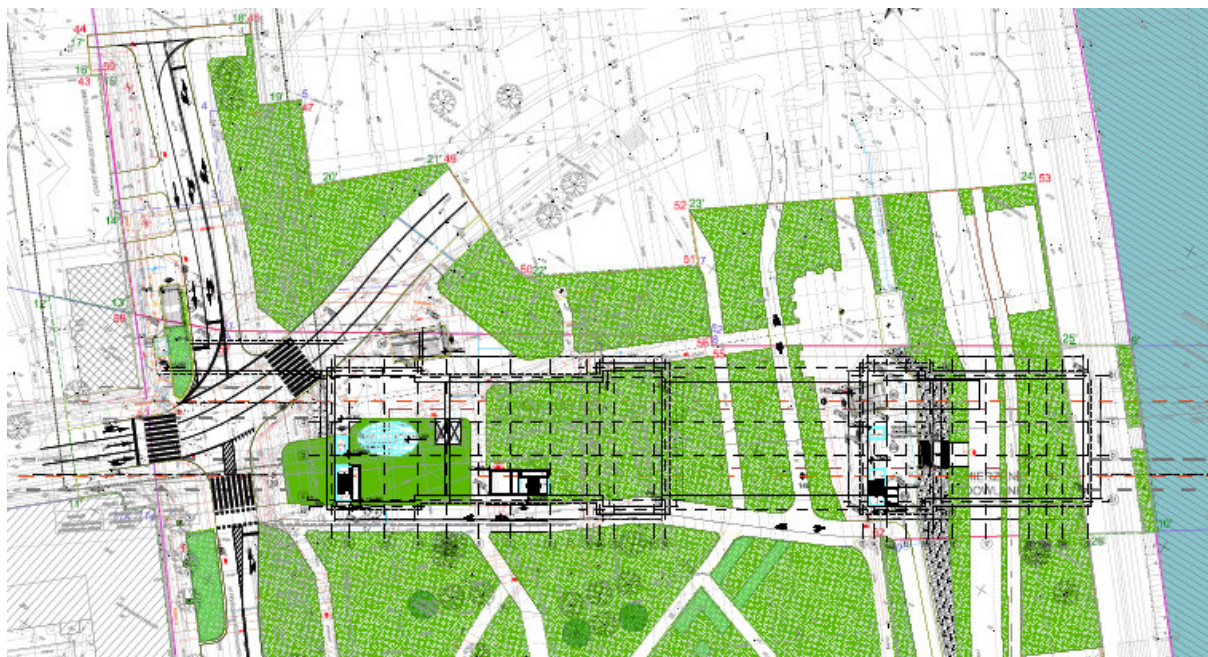
Ponadto skorzystano z następujących informacji i materiałów:

- 12) Rozmowy przeprowadzone na budowie stacji C-13 w dniach 14.08, 24.08 oraz 12.09.2012; Uzyskano spisany 28.08.2012 raport Pani Ewy Zamyłko z chronologią prac
- 13) Dokumentacji z rozpoznania podłoża, wykonanej w przez Geoteko na potrzeby budowy metra
- 14) Wielobranżowego projektu koncepcyjnego, sporządzonego przez konsorcjum BGP METROPROJEKT i AMC Andrzej M. Chołdzyński z 2008 roku
- 15) Wybrane fragmenty dokumentacji powykonawczej tunelu Wisłostrady, udostępnionej przez ZDM w Warszawie

Numery przypisane powyższym pozycjom posłużą do ich przywołania w ekspertyzie bez podawania pełnej nazwy.

2. Informacje o obiekcie i przebiegu robót

Linia metra jest usytuowana pod pasem terenu między budynkami przyległymi do ulicy Wybrzeże Kościuszkowskie a bulwarem Wisły.



Rys. 1 Usytuowanie stacji C-13

W projekcie budowlanym [2a] tak opisano budowaną stację.

Budynek stacji C13 zaprojektowano jako budynek podziemny zagłębiony całkowicie w gruncie. Z uwagi na przebieg istniejącego Tunelu Wisłostrady stację zaprojektowano w postaci dwóch głównych bloków (zachodniego i wschodniego) oraz łączącego je tunelu.

Tunel Wisłostrady zlokalizowany jest pod kątem 82° w stosunku do osi wzdłuż stacji i przebiega nad nowo projektowanym tunelem łączącym część zachodnią z częścią wschodnią stacji. Oba budynki posiadają 2 płyty stropowe pośrednie. Główne bloki będą wykonywane metodą stropową. Tunel pomiędzy nimi będzie wykonywany metodą górniczą. Długość tunelu - 40.00 m.

Budowa łącznika pod tunelem Wisłostrady jest bardzo trudnym (technicznie i organizacyjnie) przedsięwzięciem inżynierskim. Tak je określono w projekcie budowlanym:

Projektowaną stację odcinka centralnego II linii metra C13 „Powiśle” wg Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. „w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawienia obiektów budowlanych” (Dz. U. Nr 126, poz. 839) oraz norm PN-EN 1997-1:2007. Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne i ;PN-B-02479:1998. Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne. Zasady ogólne i należy zaliczyć do III kategorii geotechnicznej. Warunki gruntowe w podłożu analizowanej stacji należy uznać za złożone.

W obrębie iltów plicieńskich występują nawodnione przewarstwienia piaszczysto-pylaste.

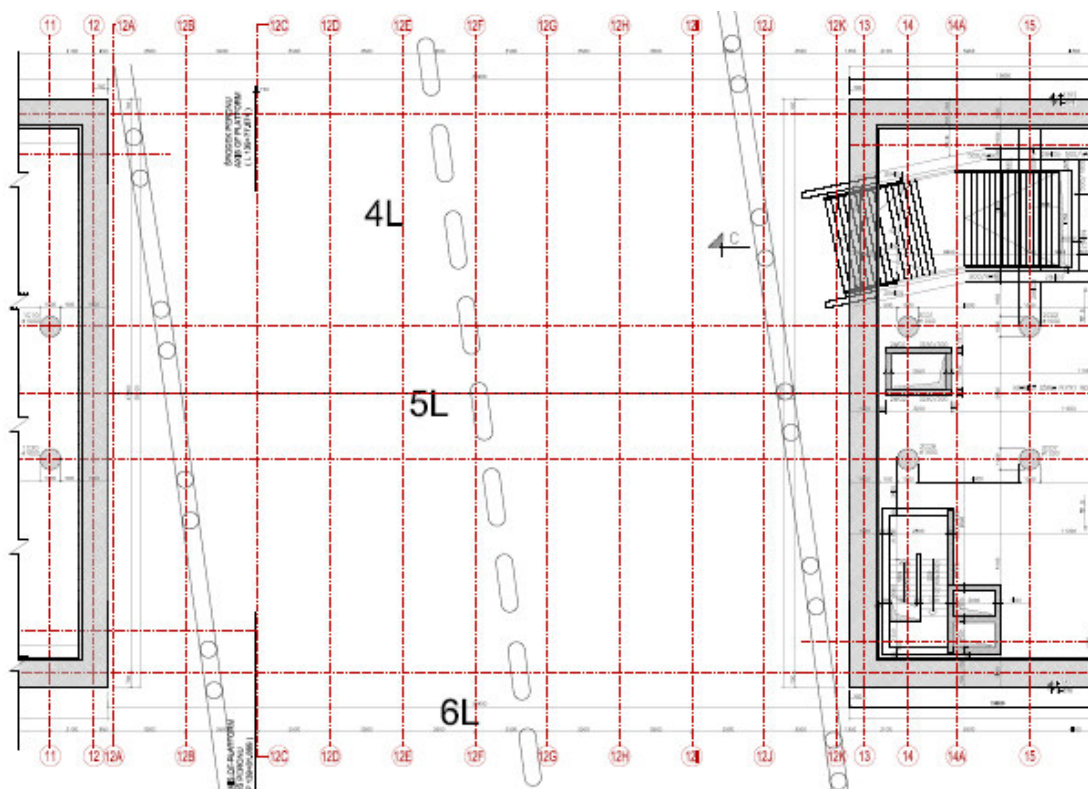
Wstępnie prognozować można, że wbudowanie konstrukcji stacji w ilt pstry plicocenu i związane z tym całkowite przegrodzenie aluwialnego poziomu wodonośnego, z uwagi na korzystne parametry filtracyjne tego poziomu ($k = 1,0 \div 1,5$ m/h) oraz usytuowanie stacji równoległe do linii prądu, nie spowoduje znaczących deformacji strumienia wód podziemnych. Jednak uwzględniając krzyżowanie się konstrukcji stacji z istniejącą konstrukcją tunelu Wisłostrady oraz dużą i gwałtowną zmienność stanów Wisły, zaleca się wykonanie prognostycznych obliczeń modelowych potencjalnych deformacji filtracyjnych.

Autorzy ekspertyzy uważają budowę w tym miejscu (skrzyżowanie dwu tuneli przy brzegu Wisły) za najtrudniejsze pod względem geotechnicznym zadanie inwestycyjne budowy II linii metra. Złożoność wynika szczególnie z braku odpowiedniego przygotowania tego miejsca przed dziesięciu laty, podczas projektowania i budowy tunelu Wisłostrady. Przed laty budowa I linii metra w dwóch miejscach (pod Rondem Jazdy Polskiej i pod Rondem w Centrum) została z wieloletnim wyprzedzeniem (lata siedemdziesiąte) odpowiednio przygotowana; pozwoliło to przed dwudziestu laty łatwo wykonać prace tunelowe.

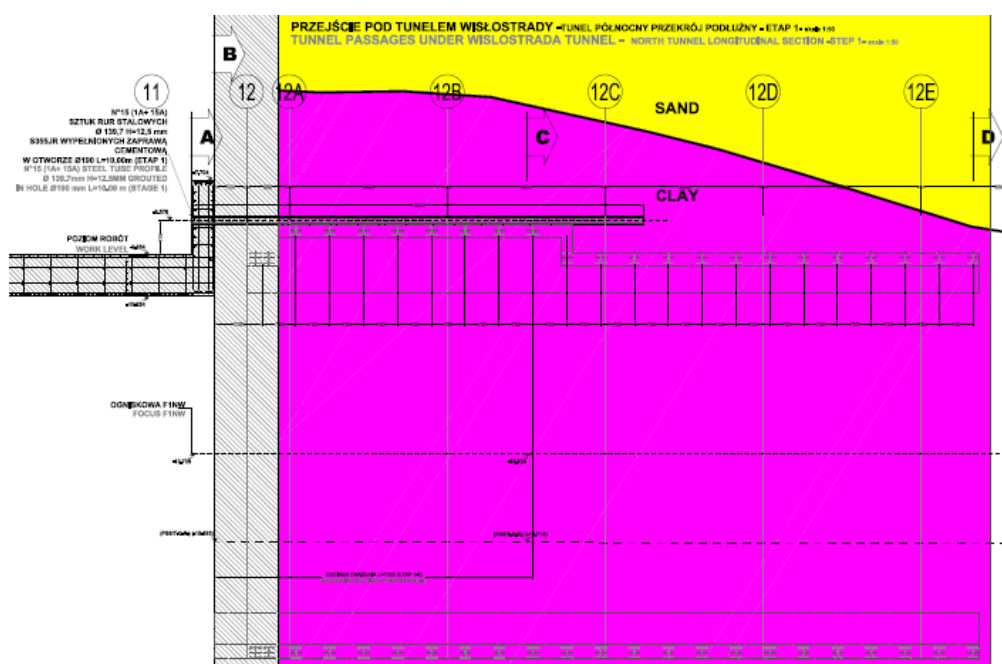
Brak wyprzedzającego przygotowania miejsca budowy stacji C-13 był wynikiem zbiegu wielu okoliczności, głównie braku perspektywicznego programu rozwoju miasta i

wykorzystywaniem chwilowej koniunktury (sfinansowanie budowy mostu Świętokrzyskiego przez prywatnego inwestora).

Obecnie trzeba wykonać pod tunelem Wisłostrady łącznik dwóch części stacji.



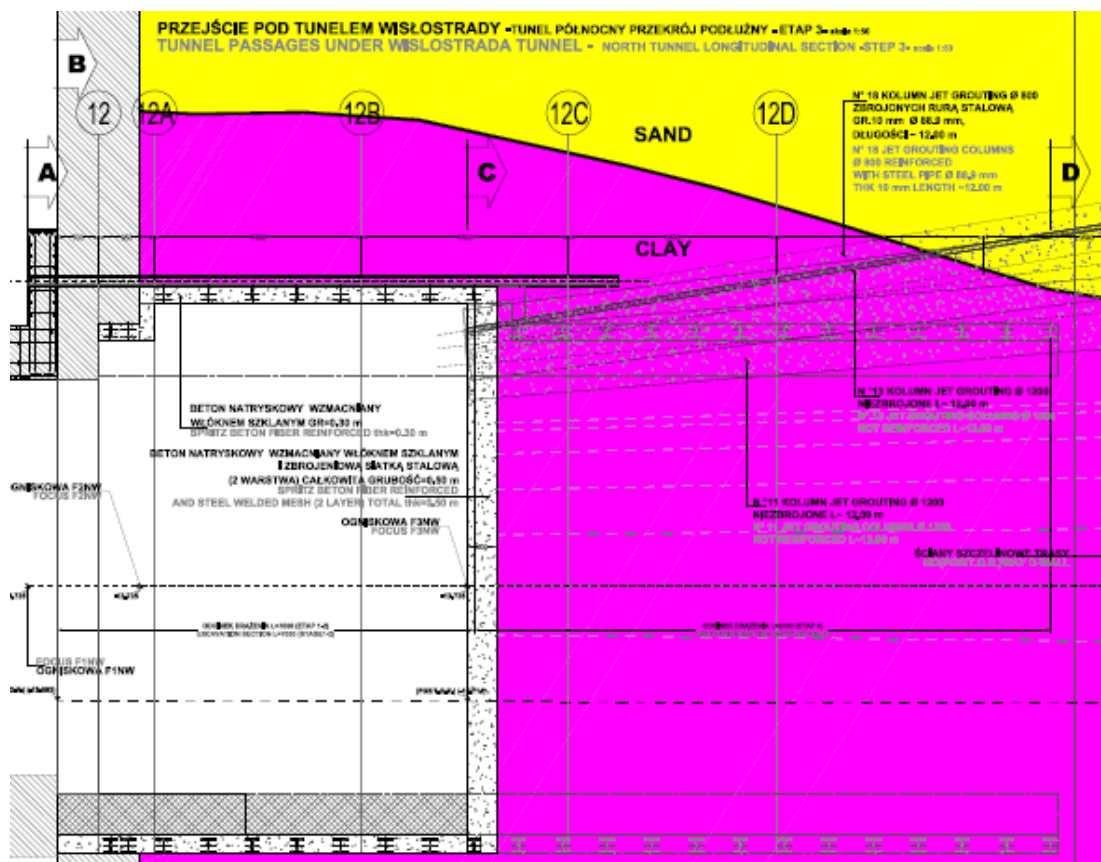
Rys. 2 Rozdzielone części budynku stacji ma połączyć odcinek pod tunelem Wisłostrady budowany metodą górniczą



Rys. 3 Sposób wzmocnienia gruntu w miejscu początku północnego tunelu łącznika

Rozpoznanie podłoża gruntowego pod tunelem Wisłostrady było niedostateczne (brak dostępu w czasie prowadzenia badań). Wykonawca AGP, po odpowiednim zaawansowaniu budowy zachodniej i wschodniej części stacji C-13 (budowanych w obudowie ze ścian szczelinowych) wykonał ukośne przewiertki badawcze, służące określeniu położenia spągu piasków. Wyniki tego rozpoznania posłużyły do opracowania analizy [8] sporządzonej przez Politechnikę Warszawską. Na podstawie wyników badań uzupełniających opracowano projekt wykonawczy łącznika.

Wg projektu wykonawczego, który obowiązywał w czasie rozpoczęcia robót górniczych przewidziano wykonanie ściany czołowej w odległości 7,05 m licząc od ściany szczelinowej.

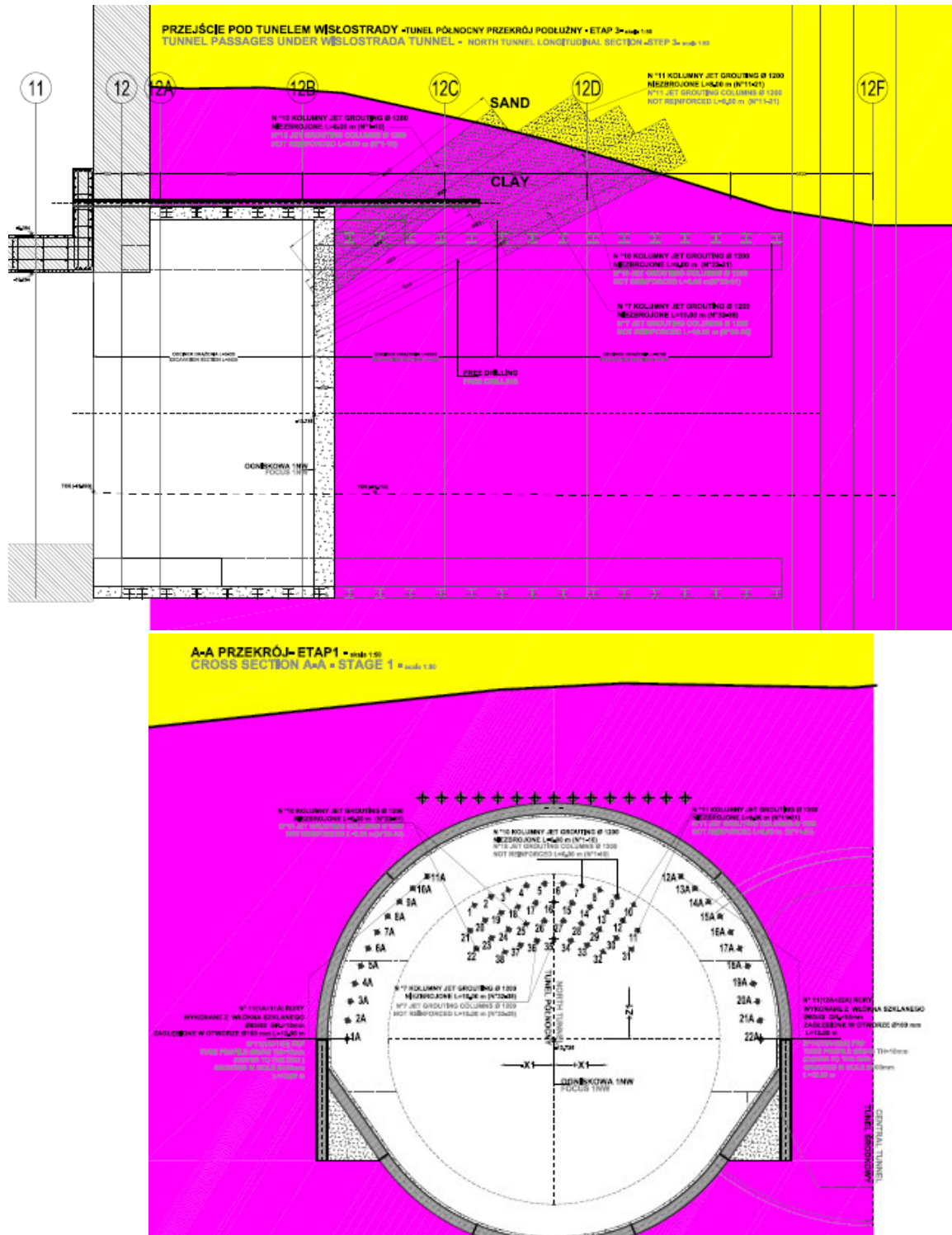


Rys. 4 Rozpoczęto wykonywanie tunelu północnego wg powyższego schematu

Wyburzenie ściany szczelinowej rozpoczęto 11.07.2012 r. Wzmocnienie wg rys. 4 miało zapewnić postęp drążenia tunelu na długości 4,50 m, ale po wystąpieniu trudności z utrzymaniem stateczności przodka (18.07) zdecydowano skrócić odcinek o dwa pierścienie.

Po wykonaniu na przodku (za 6-ym pierścieniem) ściany z betonu natryskowego (50 cm) przystąpiono do wzmocniania gruntu nad odcinkiem kolejnego etapu. W dniach 22-25.07 wykonano 2 × 11 szt. wzmocnień bocznych (rury z włókna szklanego Ø 60/40) oraz (26.07) przystąpiono do wykonywania 38 kolumn jet grouting (nie zbrojonych), tworzących górną osłonę dla przygotowywanego wyrobiska.

W czasie wykonywania kolumn jet'a zgodnie z rys. 5, na przodku powstawały przemieszczenia, zarysowania i odspojenia części górnej. Uległy też wypchnięciu ze ściany szczelinowej rury osłaniające wyrobisko za ścianą szczelinową (rys. 7). Skuto starą osłonę przodka i wykonano nową. Kontynuowano wykonywanie kolumn jet grouting. Do 3.08 wykonano 11 kolumn jet grouting (nr:19, 20, 16, 23, 25, 26, 29, 30, 32, 38 i 35).



Rys. 5 Skrócony do 6-ciu pierścieni pierwszy etap i zabezpieczenia frontu dla wykopu kolejnego II etapu



Rys. 6 Pęknięcie ściany zamykającej przodek (3.08); kolejna naprawa uszkodzonego przodka (10.08)



Rys. 7 Wypchnięte przewierły ściany szczelinowej z rurami osłaniającymi wyrobisko za ścianą szczelinową; był to proces postępujący, uwidoczniły na fotografiach z 3.08 i 13.08

Zaobserwowane wypchnięcia (rys. 7), przemieszczenia i pęknięcia przodka (rys. 6) oraz wycieki wody zaniepokoiły nadzór, który prosi Projektanta o ocenę poprawności robót (8.09). W odpowiedzi (10.08.2012) Projektant nie stwierdza żadnych rozbieżności z projektem i wyraża zgodę na kontynuowanie prac.

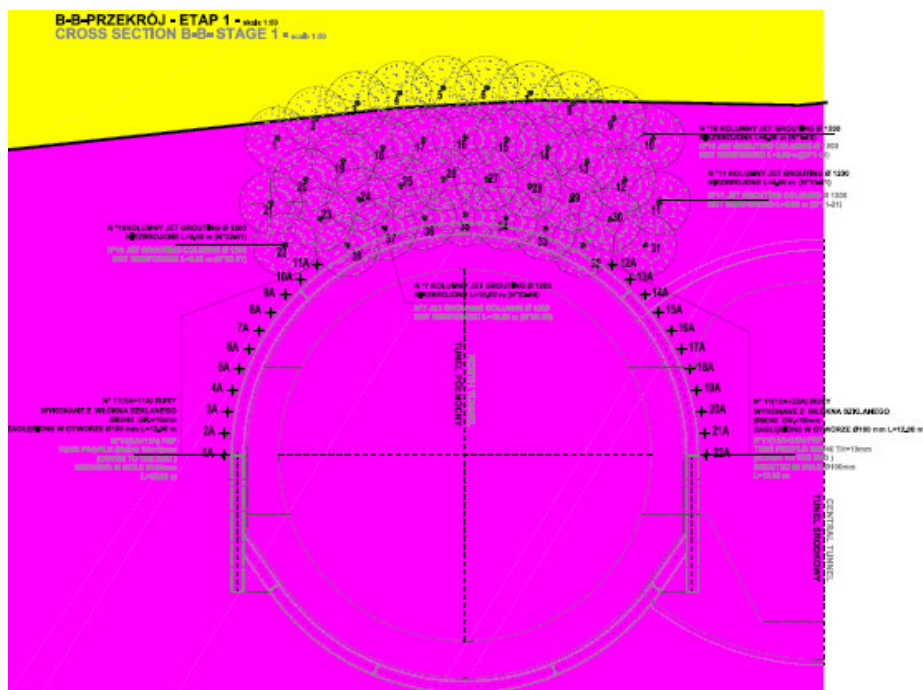
W dniach 3-10.08 wykonano następujące (21 szt.) kolumny jet grouting: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 17, 15, 14, 13, 11, 33, 22, 24, 27, 31, 37 i 34). Pozostało jeszcze do wykonania 6 kolumn jet o numerach 21, 10, 12, 18, 28 i 36.

Dnia 10.08 po raz drugi wzmocniono przodek i uzupełniono torkret (rys. 6).

Na podstawie udostępnionych materiałów nie można ustalić ile kolumn jet grouting wykonano. Budzi wątpliwość informacja od Wykonawcy. W dzienniku budowy zapisano, że do dnia 8.08 wykonano łącznie 20 kolumn jet grouting.

W części zachodniej korpusu
stacji wykonywane są prace - kolumny
metoda jet grouting zgodnie z
miejscem B-SS-E-C13-GEO-LAY-0217-RO
z 7.2012r. - etap 1. Do dnia dzisiejszego
wykonano następujące prace: kolumny nr.
38; 35, 32; 30, 23; 26, 19; 25, 29; 20, 16;
wymiana ściany przodka gr. 50cm metodą beton
metryjowego, kolumny nr. 27, 37, 15, 24, 7, 9, 3, 34 i 6

Z zestawienia wykonanych prac, dostarczonego po awarii [5], wynika całkiem inny obraz – w dokumencie Wykonawcy wpisano w tym czasie wykonanie wszystkich 38 kolumn. Z informacji pochodzącej od nadzoru wynika, że w piątek 10.08 brakowało jeszcze 6 kolumn. Brak jest jednoznacznego ustalenia czy (do czasu wyburzenia ściany przodka i wznowienia robót ziemnych) kolumny te wykonano. Jeśli zostały wykonane tuż przed wznowieniem wykopów, nie mogły one spełnić swojej roli, bowiem świeży zaczyn cementowy nie był odporny na przebicie hydrauliczne i wypłukanie.

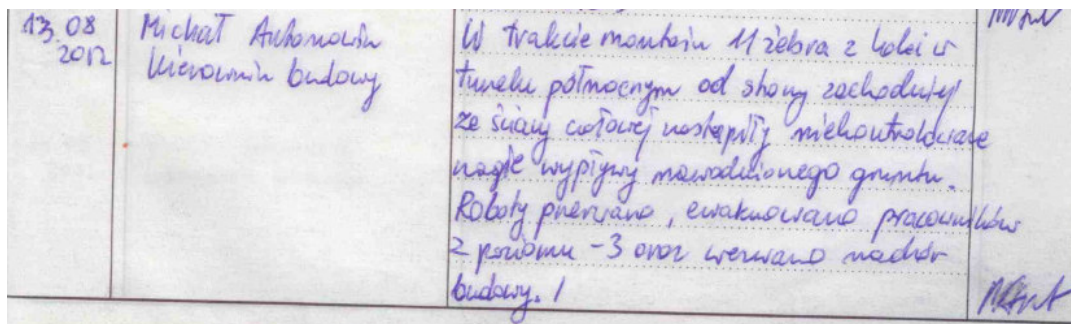


Rys. 8 W ten sposób miał być przygotowywany front dla etapu II tunelu północnego.

W dniach od 10 do 13.08 postęp wykopu był bardzo duży. W tym czasie:

- prawdopodobnie wykonano brakujące kolumny jet grouting,
- wyburzono ścianę czołową,
- wykonano wykop na długość potrzebną do założenia pierścienia
- wbudowano pierścień nr 7,
- wykonano zbrojenie siatką i torkretowanie powierzchni gruntu,
- wykonano kolejny wykop,
- wbudowano pierścień nr 8,
- wykonano zbrojenie siatką i torkretowanie powierzchni gruntu,
- wykonano kolejny wykop,
- wbudowano pierścień nr 9,
- wykonano zbrojenie siatką i torkretowanie powierzchni gruntu,
- wykonano kolejny wykop,
- wbudowano pierścień nr 10,
- wykonano zbrojenie siatką i torkretowanie powierzchni gruntu,
- wykonano kolejny wykop,
- wbudowano pierścień nr 11 i oczekiwano na dowóz mieszanki, aby wykonać torkretowanie.

Po tak zaawansowanych pracach, w późnych godzinach wieczornych (13.08) doszło do przebiccia hydraulicznego na przodku, a po północy – do zatopienia i zamulenia gruntem komory peronowej zachodniego odcinka stacji C-013. W dzienniku budowy jest zapis:



W dniu 14.08.2012 inspektor PINB wstrzymał wykonywanie robót całego łącznika.

3. Analiza przebiegu robót

Projekt wykonawczy szczegółowo określa elementy geometryczne konstrukcji obudowy tymczasowej tunelu północnego. W projekcie nie podano warunków i wymagań technologicznych. W polskim budownictwie wymagane jest, aby projekty zawierały Szczegółowe Specyfikacje Techniczne (SST). W omawianym przypadku nie załączono do projektu odpowiednika SST. Brak było więc podstawy do stwierdzenia przez nadzór, że roboty postępują zgodnie z procedurą, czy też są one łamane. Sprawa jest o tyle ważna, że wykonywano obiekt bardzo trudny pod względem konstrukcji i technologii, wymagający

dostosowania do złożonych warunków geotechnicznych, nie mający w polskim budownictwie porównywalnego odpowiednika. Fakt, że inwestycja jest prowadzona w systemie „zaprojektuj i zbuduj”, zmienia tradycyjne zasady współpracy i zależności między inwestorem i wykonawcą. Są one prawdopodobnie określone szczegółowo w kontrakcie, ale ten nie jest udostępniony autorom ekspertyzy.

Aby dokonać oceny przebiegu robót usiłowano pozyskać uzupełniające informacje od nadzoru budowy. Szczególnie interesujące były sprawy dotyczące dopuszczalnego tempa robót, receptur i technologii jet grouting oraz torkretu. Najwięcej wątpliwości budziło wykonywanie kolumn jet'owych z poziomu niższego wobec miejsca wzmacnianego (wiercenie i tłoczenie pod górę); prawdopodobnie taka pozycja była w Polsce wykonywana po raz pierwszy. W normalnych warunkach wzmacniania podłoża poniżej poziomu roboczego, z otworu odpływa zaczyn zmieszany z urobkiem. Wzmacnianie z poziomu niższego wymaga stworzenia kontrolowanego odpływu nadwyżki wtłaczanego zaczynu i odspojonego gruntu. Brak odpływu prowadzi do ogromnego wzrostu parcia gruntu na konstrukcję i powoduje jej odkształcenie, deformację, a nawet zniszczenie. Tak właśnie było ze ścianą z torkretu za szóstym pierścieniem (dwukrotnie naprawiana) oraz z wypchnięciem rur osłaniających wyrobisko za ścianą szczelinową (rys. 7). Z uzyskanych informacji wynika, że w celu odciążania górotworu wykonywano z przodka otwory.

Awaria nastąpiła w obszarze wzmocnienia niezbrojonymi jet'ami. Był to pierwszy odcinek z takim zabezpieczeniem. Dotychczas na tej budowie nie pracowano pod takim zabezpieczeniem. Pierścienie nr od 1 do 6 wbudowywano pod osłoną stalowych rur (rys. 5). Prace przebiegły tam zgodnie z oczekiwaniami.

W czasie wykonywania II etapu drażenia jedyną osłonę stanowiły niezbrojone kolumny jet'owe. Ochronna funkcja kolumn była szczególnie ważna, ponieważ obniża się tam spąg piasków i wyrobisko już się do nich zbliża.

Po wykonaniu wykopu i zmontowaniu pierścienia nr 11 doszło do przebicia hydraulicznego, zniszczenia kolumn a następnie zatopienia i zamulenia komory peronowej. Kolumny jet'owe nie stanowiły dostatecznego zabezpieczenia przodka tunelu.

4. Analiza przyczyn przebicia hydraulicznego

Przebicie hydrauliczne mogło być spowodowane jedną lub kilkoma przyczynami z poniższego poglądu możliwości:

- Brak zbrojenia wzdłużnego kolumn jet grouting czynił je niezdolnymi do przenoszenia zginania.
- Zbyt świeży zaczyn cementowy kolumn nie uzyskał jeszcze dostatecznej wytrzymałości, ale projekt nie określał jaka powinna być osiągnięta wytrzymałość, aby dopuścić do awansowania wykopu. Świadczenie awarii mówili o zaobserwowaniu materiału z jeta w wypływającym gruncie.

- Wykonie przewiertu kontrolnego w celu sprawdzenia jakości kolumn jet grouting. Otwór sięgający do nawodnionych piasków mógł otworzyć wypływ gruntu i wody zalegających na stropie gruntu spoistego.
- Wątpliwość (dotychczas jej nie wykluczono), czy wykonano wszystkie kolumny jet grouting przewidziane w projekcie.
- Wątpliwość, czy kolumny jet'owe miały rzeczywiście średnicę 120 cm, jak założono w projekcie. Brak sprawdzianu, czy w tych warunkach wykonawczych jest możliwa do uzyskania tak duża odległość odspojenia gruntu. Powód tej wątpliwości jest związany z faktem braku swobodnego odpływu nadwyżki wtłaczanego zaczynu. Powstające w gruncie nadciśnienie redukuje zdolność odspajania gruntu przez strumień zaczynu cementowego. Możliwe, że średnica kolumn była mniejsza i nie powstał ciągły blok.
- Wątpliwości, czy beton natryskowy (torkret) uzyskał taką wytrzymałość jaka zapewni bezpieczną obudowę.

Na podstawie zgromadzonej wiedzy obecnie nie sposób jednoznacznie ustalić co spowodowało awarię. Być może po wznowieniu robót w zachodniej części stacji i oczyszczeniu przodka tunelu północnego uzyska się dodatkowe obserwacje, pozwalające wyeliminować mniej prawdopodobne przyczyny.

5. Zalecane działania po awarii

Zalecenia i oceny IBDiM były przekazywane na bieżąco w czasie narad w siedzibie Metra oraz w czasie wizyt na budowie stacji C-13.

Pierwsza wizyta na budowie przedstawicieli IBDiM miała miejsce 14 sierpnia 2012 i służyła zapoznaniu się z zaistniałą sytuacją.

W dniu 16.08.2012, na naradzie w siedzibie Metra Warszawskiego przedstawiono ocenę sytuacji i zalecenia IBDiM, dotyczące działań naprawczych. Uznano, że jest poważne zagrożenie bezpieczeństwa tunelu Wisłostrady. Grunt, który wypełnił komorę peronową zachodniej części stacji pochodzi spod wanny tunelu Wisłostrady. Wanna utraciła swoje oparcie na gruncie, a ponieważ nie ma konstrukcyjnego połączenia ze ścianami szczelinowymi tunelu, grozi jej opadnięcie do powstałej jamy. Sekcje wanny utrzymują się przez tarcie o ściany szczelinowe lub w wyniku zaklinowania przez zachodnią ścianę szczelinową, dociśniętą parciem gruntu. Dostęp do tego odcinka tunelu Wisłostrady powinien być skutecznie uniemożliwiony.

W pierwszej kolejności zalecono ustalenie zasięgu pustki pod zachodnią i wschodnią jezdnią. Na tej podstawie będzie możliwe określenie strefy bezpiecznego dostępu do tunelu. Dopiero wtedy rozpoczną się działania związane z przygotowaniem prac i wypełnianiem pustki. Początkowo zamierzano podsadzać wannę przez otwory wywiercone w płycie dennej. Za ważny element działań naprawczych uznano także uszczelnienie i wzmocnienie rozluźnionego gruntu poniżej pustki.

Podczas kolejnej wizyty na budowie (24 sierpnia) okazało się, że są dostępne (odsłonięte) otwory w ścianach szczelinowych tunelu, przewidziane w jego konstrukcji, aby ułatwić przepływ wody gruntowej od skarpy ku rzece.

W czasie kolejnej narady (27 sierpnia) zaproponowano, aby za pośrednictwem odsłoniętych otworów doprowadzić do wypełnienia przestrzeni pod wanną w stopniu stwarzający jej podparcie, nie zagrażające upadkiem konstrukcji. Na taką zabezpieczoną wannę będzie można wprowadzić sprzęt niezbędny do wykonania iniekcji uzupełniającej pod szczelną wanną, która zapewni trwałe podparcie wanny na całej powierzchni. Konieczność wykonania takiej iniekcji związana jest z przewidywanym osiadaniem wypełnienia i gruntu. W związku z dalszymi wątpliwościami zespołu opiniującego dotyczącymi istnienia pod tunelem pustki zaproponowano wykonawcy wykonanie zdjęć przestrzeni pod tunelem.

Na kolejnej naradzie (29 sierpnia), uzgodniono wstępną rekomendację dotyczącą sposobu dalszego postępowania.

Po takim odbudowaniu posadowienia będzie możliwe wykonanie iniekcji wzmacniającej grunt w obszarze przebicia hydraulicznego. Te działania wzmacniające będą prowadzone z wnętrza tunelu Wisłostrady. Po ich zakończeniu i dokonaniu niezbędnych badań i ocen będzie możliwe wznowienie użytkowania Wisłostrady.

Sposób wypełnienia przestrzeni pod tunelem Wisłostrady został opracowany przez AGP [9] i przedstawiony na naradzie w dniu 7.09.2012. W dniu 10.09.2012 zespół ekspertów dokonał oceny tego opracowania przedstawiając opinie Politechniki Warszawskiej, Instytutu Techniki Budowlanej, Geoteko oraz Instytutu Badawczego Dróg i Mostów. Ocenę IBDiM zawarto w poniższej notatce.

Notatka (1)

dotycząca Projektu [9] zabezpieczenia odcinka tunelu Wisłostrady w Warszawie

Projekt, w wersji bez podania autorów i bez podpisów, dostarczono do IBDiM w piątek 7 września 2012 r. w godzinach przedpołudniowych. To opracowanie było przedstawione i omawiane na naradzie zwołanej w tym dniu na godz. 15⁰⁰ do siedziby METRA.

W projekcie przedstawiono zabezpieczenie odcinka tunelu Wisłostrady, pod którym w dniu 14 sierpnia 2012 r., w wyniku awarii na budowie stacji C-13 spowodowanej zatopieniem i zasypaniem zachodniej komory peronowej, powstała pustka zagrażająca bezpieczeństwu budowli. Projekt zawiera opis czynności związanych z zabezpieczeniem oraz wstępne i tylko orientacyjne wyniki badań materiałów, które mają być użyte do wypełnienia pustki.

Założenia dotyczące sposobu postępowania są zgodne z procedurą przedstawioną przez przedstawiciela IBDiM na naradzie w siedzibie METRA w dniu 16 sierpnia 2012 r. Słusznie przyjęto, że pierwsze działania mają doprowadzić do zabezpieczenia wanny tunelu Wisłostrady przed zapadnięciem się. Obecnie wanna nie ma podparcia i nie jest połączona konstrukcyjnie ze ścianami

szczelinowymi tunelu. Prawdopodobnie, w wyniku wyłukania gruntu spod wanny, ściany szczelinowe pod wpływem poziomego parcia gruntu z zewnątrz zostały dociśnięte do płyty dennej wanny i zakleszczyły ją w dotychczasowym położeniu. Stan tego „zespoleńia” i zapasy bezpieczeństwa nie są możliwe do określenia; konstrukcja może w każdym momencie utracić stateczność, słusznie więc w projekcie przewidziano działania na odległość, bez możliwości dostępu ludzi do miejsc o nierozpoznanym podparciu. Trzeba podkreślić, że obecnie panują bardzo sprzyjające warunki wodne, Wisła ma bardzo niski stan wody (wskazania wodowskazu około 0,70 m), nie notowany na tym poziomie od wielu lat. Niski poziom daje możliwość wprowadzenia materiału wypełniającego przez otwory istniejące w zachodniej ścianie szczelinowej tunelu Wisłostrady. Przybór wody do poziomu średniego spowoduje zalanie tych otworów i brak możliwości dostępu. Stąd wynika potrzeba pilnego przystąpienia do działania, ale tempo wypełniania przestrzeni nie powinno być nadmierne. W projekcie przedstawiono harmonogram wypełniania przestrzeni (450 m³ mieszanką A i 5400 m³ mieszanką B) przez 16 kolejnych dni. Jest on logiczny, ale praktyka pierwszych wypełnień pozwoli na urealnienie założeń.

Nie można wywierać dużego parcia ciekłego wypełnienia na ściany szczelinowe, aby nie spowodować rozluźnienia zakleszczenia wanny, stąd ograniczenie objętości porcji podawanych jednorazowo. Po kilku godzinach przerwy rozpocznie się wiązanie i zanik parcia hydrostatycznego.

Konieczna też jest obecnie wiedza o wielkości i czasie ujawniania się skurczu materiału wypełniającego. Ściana szczelinowa, na powierzchni dotychczas stykającej się z gruntem a odsłoniętej w dniu awarii, ma kilkumilimetrowej grubości powłokę z osadu bentonitowego. Osad ten, dobrze przylegający do betonu, będzie oddzielał (separował) materiał wbudowywanego wypełnienia przestrzeni pod tunelem od żelbetu ściany, a skurcz wypełnienia powiększy tę separację. Aby odbudować nośność ściany szczelinowej tunelu Wisłostrady należy zadbać, aby wbudowany materiał dobrze zespolił się ze ścianą. Będzie do tego potrzebna iniekcja wypełniająca w tym styku.

Uwagi i sugestie szczegółowe

- Jest niezbędna wiedza o stanie i prognozach wody w Wiśle, przekazywana podobnie jak komunikaty o osiadaniach obiektu.
- Przewidziano kontrolę wypełnienia pod wanną gruntem rodzimym stosując sondowanie CPT. Wydaje się to zbędnym angażowaniem specjalistycznego sprzętu. Cel (sprawdzenie obecności i stanu gruntu na małej głębokości) i można uzyskać używając sondę lekką SL.
- Jest wątpliwe, czy otwory we wschodniej ścianie szczelinowej tunelu Wisłostrady będą użyteczne; płyta denna wanny w tym miejscu ma zagłębienie, w którym są ulokowane instalacje, co może już spowodować, że otwory będą przesłonięte aż do zwierciadła wody gruntowej. Nie można wykluczyć, że przy wschodniej ścianie szczelinowej pozostał grunt.
- Wykorzystując niski stan wody jest wskazane głębsze wniknięcie pod wannę z kamerą (aż do środkowej podpory z rozsuniętych baret) i pozyskanie obrazu z części pod jezdnią wschodnią (Photo Nr 2 „FRONT” pokazuje przestrzeń pod jezdnią zachodnią). Do tego potrzebny będzie pływak z napędem zdalnie sterowanym.

- Zasygnalizowane wytrzymałości materiału wypełniającego (po 4 dniach mieszanka A → 3,44 MPa oraz mieszanka B → 2,11 MPa) wydają się zbyt duże; czy rozważano użycie do wypełnienia mieszanki popiołowo-cementowej, szczególnie w miejsce mieszanki B?
- Wszelkie działania z obszaru tunelu Wisłostrady oraz ingerencja w jego konstrukcję wymagają wiedzy i akceptacji ZDM, uzgodnienia mogą opóźnić podjęcie robót i aby tego uniknąć wskazana jest współpraca w fazie tworzenia projektu.
- Otwory w płycie wanny powinny być wyposażone w rury osłonowe zapobiegające wlewu się wody na jezdnię w przypadku przyboru wody w rzece.
- Wszelkie prace z użyciem materiałów wiążących w tunelu Wisłostrady muszą być tak prowadzone, aby nie spowodować zanieczyszczenia i zniszczenia systemu odwadniającego drogę.
- Warszawiacy (i nie tylko oni) śledzą wydarzenia, martwią się o komunikację i funkcjonowanie miasta, czemu wyraz dają w licznych (bardzo licznych) wypowiedziach w internecie. Treść tych wypowiedzi wskazuje, że wiedza o okolicznościach i zjawiskach towarzyszących awarii w nocy 13/14 sierpnia jest znikoma albo żadna. Wskazane jest aby informacje o tych sprawach Społeczeństwo otrzymywało ze źródeł fachowych, dysponujących wiedzą, a nie od dziennikarzy, którzy „tworzą” przekaz często daleko odbiegający od rzeczywistości. Wskazane jest aby Inwestor opracowywał i podawał na stronie internetowej komunikaty o samej awarii, zamierzeniach naprawczych, przebiegu prac i efektach oraz – co szczególnie ważne: jakie utrudnienia nas (mieszkańców) czekają w niedalekiej przyszłości a co już mamy za sobą. Komunikaty takie powinny się pojawiać 2 razy w tygodniu (np. wtorek i piątek) i dobrze aby miały dwie wersje: krótka – ogólna informacja oraz obszerniejsza dla chcących poznać stronę techniczną problemu. Doświadczenia z Lyonu, w czasie bardzo uciążliwej dla mieszkańców budowy metra (rok 1977), pokazały, że zainicjowany przez Mera system cotygodniowej informacji został bardzo dobrze przyjęty przez mieszkańców. Dziś główny plac miasta nosi Jego imię.

Ocenę projektu i zalecenia zespół ekspertów przedstawił w opinii technicznej, sporządzonej w czasie narady w dniu 10.09.2012. (załącznik nr 1)

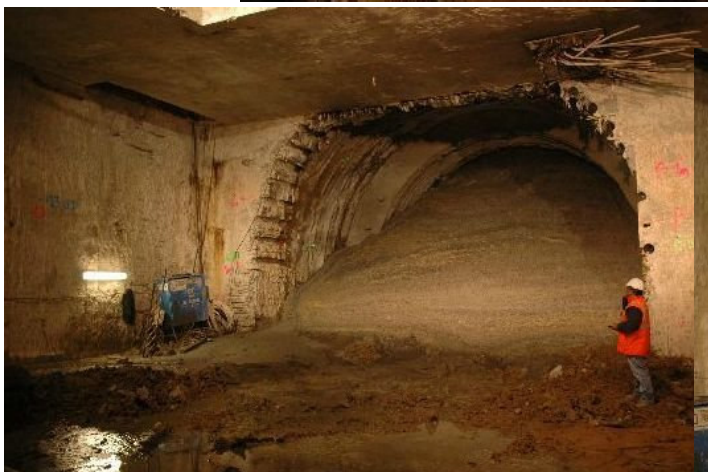
W dniu 12.09.2012 AGP rozpoczęło przygotowania do układania podwodnie pierwszej porcji 50 m³ betonu przeznaczonego do zaczopownia najniższej położonej części pustki.

Podczas wizyty na budowie w dniu 12 września, w czasie przygotowań do tłoczenia mieszanki wypełniającej pod tunel zwrócono uwagę na konieczność kontroli ilości mieszanki podawanej każdym z dwóch rurociągów.

6. Sposób i termin wznowienia robót górniczych w tunelu łącznika

Prace te będą mogły być rozpoczęte dopiero po uznaniu tunelu Wisłostrady za bezpiecznie podparty, gotowy do przejścia ruchu na obu jezdniach oraz po stosownej decyzji inspektora PINB, dopuszczającej wznowienie budowy łącznika.

W czasie odbudowy podłoża wanny tunelu Wisłostrady zostanie wzmocniony grunt wokół miejsca awarii na przodku tunelu północnego. Z przebiegu procesu przemieszczania się grunty spod wanny do komory peronowej można wnioskować, że powstały w górotworze otwór początkowo był niewielki (napływ był powolny i niegwałtowny), a w miarę postępu wpływające porcje się powiększały. Może to oznaczać, że na przodku nie powstały duże szkody. Zniszczeniu uległa cienka już warstwa gruntu spoistego i przez otwór spływał piasek zmieszany z wodą. Napływ początkowo był porcjami w odstępie kilkunastu minut. Prawdopodobnie w czasie przerw uzupełniała się woda pod wanną i gdy jej poziom oraz ciśnienie odpowiednio wzrosło, następowało wrzucenie kolejnej porcji gruntu. Można z tego wnioskować, że grunt niespoisty został splukany i wtłoczony do komory peronowej. Wbudowywany obecnie beton (450 m^3) wytworzy nad miejscem awarii warstwę o grubości rzędu 2 – 3 m, dobrze ubezpieczającą miejsce wznowienia robót.



Rys. 9 Początkowa faza wypływu gruntu po przebiciu stopu wyrobiska; po lewej stronie spływająca woda



Rys. 10 Postępujący napływ gruntu, zapelniający komorę peronową

Nie można jednak zgodzić się na kontynuowanie sposobu zabezpieczania wyrobiska metodą jet grouting w sposób podobny jak przed awarią, tzn. „pod górę”.

Drażenie tuneli łącznika wymaga ponownego opracowania projektu, w którym będzie określona konstrukcja oraz technologia z podaniem wszystkich wymagań materiałowych, wytrzymałościowych i terminów technologicznych. Opracowanie projektu powinno być poprzedzone wykonaniem przewiertów kontrolnych, służących rozpoznaniu rodzaju i stanu gruntu pomiędzy wbudowywanym obecnie wypełnieniem pustki a warstwą iłu.

Wydaje się, że zaproponowana przez AGP iniekcja workowa będzie skuteczna tylko w strefie rozluźnionych gruntów piaszczystych. W gruntach nienaruszonych będzie trudno uzyskać zamierzony efekt uszczelnienia.

Nie można wykluczyć potrzeby wykonania nowej wanny szczelnej tunelu Wisłostrady w miejsce konstrukcji podziurawionej w działaniach naprawczych, jeśli nie będzie można zagwarantować szczelności wanny po naprawach.

7. Wnioski

Awaria nastąpiła w wyniku niedostatecznego zabezpieczenia gruntu nad drażonym tunelem północnym łącznika. Przy obecnym rozpoznaniu zakresu wykonanych robót zabezpieczających nie można jednoznacznie ustalić, która z analizowanych możliwości przyczyniła się do przebicia hydraulicznego i zatopienia oraz zamulenia komory peronowej.

Pustkę pod wanną tunelu Wisłostrady należy wypełnić w sposób zapewniający jej bezpieczne podparcie.

Po wypełnieniu pustki należy wzmocnić grunt w obszarze przebicia hydraulicznego.

Konieczne jest wykonanie odwiertów kontrolnych wypełnienia pustki pod wanną tunelu Wisłostrady, w celu określenia wytrzymałości i uwarstwienia tego wypełnienia oraz stanu kontaktu z rodzimym podłożem.

Należy zabezpieczyć odwierty i w konsekwencji tunel Wisłostrady, przed zalaniem w przypadku znacznego podniesienia się poziomu wody w Wiśle.

Po zakończeniu prac zabezpieczających tunel Wisłostrady oraz zabiegów wzmacniających i uszczelniających grunt w strefie łącznika, konieczne będzie dokonanie oceny skuteczności wykonanych zabezpieczeń i po uzyskaniu pozytywnej oceny będzie można dopuścić odpompowanie wody z zatopionej części zachodniej stacji oraz do usunięcia gruntu, który zapełnił komorę peronową. Sposób prowadzenia robót górniczych i zabezpieczenia strefy robót powinien być określony w nowym projekcie, wolnym od błędów popełnionych przed 14 sierpnia 2012 r.

Należy rozważyć, aby na czas wznowienia budowy łączników przewidzieć studnie obniżające lokalnie ciśnienie wody. Decyzję należy podjąć, gdy będzie więcej informacji o rozmiarach pustki, przebiegu jej wypełniania oraz efektach przewiertów służących ocenie wytrzymałości, uwarstwienia i stanu podłoża tego wypełnienia.

Należy się liczyć z koniecznością naprawy lub wyburzenia i ponownego zbudowania tych segmentów wanny tunelu Wisłostrady, które w wyniku wcześniejszych prac nie będą już zapewniały wymaganej szczelności.

Należy kontynuować monitorowanie tunelu Wisłostrady i otoczenia miejsca awarii.

Każdy z etapów prac naprawczych powinien być kontrolowany i oceniany przez inspekcję niezależną od Wykonawcy.

Warszawa, 29.08.2012 r.

R E K O M E D A C J A

Rekomenduje się ogólną koncepcję oraz kierunki dalszych prac związanych z wypełnieniem ubytków pod konstrukcją nośną tunelu Wisłostrady przedstawioną w dniach 27.08.2012 oraz 29.08.2012 r. przez Generalnego Wykonawcę centralnego odcinka budowy II linii metra AGP Metro Polska Sc.


Faza I - wypełnienie mieszanką wiążącą pustych przestrzeni pod tunelem Wisłostrady, nastąpi poprzez podanie mieszanki przez istniejące otwory w zewnętrznych ścianach szczelinowych tunelu Wisłostrady.

Faza II - uzupełniające wypełnianie pustek pod tunelem Wisłostrady poprzez otwory wykonywane w płycie dennej wanny tunelu.

Mieszanka wiążąca musi zapewniać prawidłową współpracę wanny tunelu z podłożem.

Należy prowadzić stały monitoring konstrukcji tunelu Wisłostrady w okresie realizacji prac zabezpieczających oraz w całym okresie realizacji inwestycji.


prof. dr hab. inż. Anna Siemińska – Lewandowska


dr n.t. Stanisław Łukasik


dr inż. Wojciech Grodecki


prof. dr hab. inż. Wojciech Wolski


mgr inż. Piotr Rychlewski


dr inż. Bolesław Kłosiński


dr inż. Tomasz Godlewski

OPINIA TECHNICZNA

W związku z przedstawieniem przez Wykonawcę Centralnego Odcinka II Linii Metra – AGP Metro Polska s.c. technicznego rozwiązania uzupełnienia ubytku gruntu pod tunelem Wisłostrady, stanowiącego uzupełnienie koncepcji przekazanej na spotkaniach w dniach 27.08.2012 r., 29.08.2012 r. oraz 7.09.2012 r., opiniuje się pozytywnie rozwiązania techniczne zawarte w projekcie wykonawczym nr IIUC13/028 „Projekt zabezpieczenia odcinka tunelu Wisłostrady”, a w szczególności:

- 1) Wykonanie szczelnego korka w obszarze realizowanego łącznika, uniemożliwiającego dalsze przemieszczanie się gruntu spod tunelu Wisłostrady w kierunku stacji C-13 Powiśle. Korek denny zostanie wykonany za pomocą pompowania betonu przez dwa istniejące otwory w bocznej ścianie szczelinowej jezdni zachodniej znajdujące się nad wlotem do budowanego łącznika północnego.
- 2) Wewnątrz tunelu Wisłostrady, na obu jezdniach, na odcinku ok. 40 m od osi wykonywanego łącznika, po obu stronach, zostaną wykonane badania sondą CPT, lokalizujące dokładne usytuowanie pustek i rozluźnień niezbędnych do wypełnienia i wzmocnienia.
- 3) Po określeniu obszarów, na których płyta wanny tunelu Wisłostrady opiera się na gruncie, zostaną wykonane otwory w płycie o średnicy 250 mm, przez które zostanie wprowadzany materiał wypełniający. Wewnątrz tunelu wszystkie urządzenia, pompy, betoniarki, ewentualnie urządzenia zasilające, itp. będą umieszczone w odległościach bezpiecznych poza strefą ich oddziaływania na niepodpartą wannę tunelu Wisłostrady. Materiał wypełniający będzie podawany, w zależności od warunków, w następujący sposób:
 - a) z czterech punktów wewnątrz tunelu Wisłostrady – na północ i na południe od osi stacji,
 - b) poprzez otwory, przez które wcześniej był realizowany korek denny,
 - c) jeśli to możliwe, poprzez otwór znajdujący się we wschodniej ścianie szczelinowej tunelu Wisłostrady.
- 4) Podczas prac zabezpieczających należy prowadzić ciągłą obserwację wypełniania pustek przez wcześniej wykonane otwory w płycie wanny Wisłostrady.
- 5) Pozostałe po wypełnieniu głównym puski pozostające pod wanną Wisłostrady, zostaną wypełnione iniekcją cementową pompowaną pod niskim ciśnieniem.

6) Technologia wzmocnienia w obszarze realizacji łącznika oraz możliwości wznowienia ruchu w Tunelu Wisłostrady będzie przedmiotem odrębnego opracowania.

Należy prowadzić stały monitoring konstrukcji tunelu Wisłostrady w okresie realizacji prac zabezpieczających oraz w całym okresie realizacji inwestycji.

Anna Siemińska-Lewandowska
prof. dr hab. inż. Anna Siemińska – Lewandowska

Stanisław Łukasik
dr n.t. Stanisław Łukasik

Wojciech Grodecki
dr inż. Wojciech Grodecki

Wojciech Wolski
prof. dr hab. inż. Wojciech Wolski

Piotr Rychlewski
mgr inż. Piotr Rychlewski

Krzysztof Grzegorzewicz
mgr inż. Krzysztof Grzegorzewicz

Tomasz Godlewski
dr inż. Tomasz Godlewski