



Politechnika Warszawska
Instytut Dróg i Mostów
Zakład Geotechniki i Budowli Podziemnych



00-637 Warszawa; Al. Armii Ludowej 16; tel./fax. +4822 825 89 46

Nr umowy: 237/IP/12

Tytuł opracowania:

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

Lokalizacja:

II LINIA METRA W WARSZAWIE

Inwestor:



Miasto Stołeczne Warszawa
Plac Bankowy 3/5
00-142 Warszawa

Inwestor zastępczy:



Metro Warszawskie Sp. z o.o.
ul. Wilczy Dół 5
02-798 Warszawa

Zamawiający:

Miasto Stołeczne Warszawa reprezentowane przez Zarząd Transportu Miejskiego w imieniu i na rzecz którego działa Metro Warszawskie Sp. z o.o. 02-798 Warszawa ul. Wilczy Dół 5

Autorzy opracowania:

Imię i nazwisko	Data	Podpis
dr inż. Wojciech Grodecki	19. 09.2012	
prof. dr hab. inż. Anna Siemińska-Lewandowska	19. 09.2012	

Spis treści

1. Wstęp.....	3
1.1 Podstawy formalne.....	3
1.2 Cel opracowania.....	3
1.3 Wykaz dokumentów stanowiących podstawę do opracowania ekspertyzy.....	3
2. Analiza przyczyn awarii na stacji metra C13.....	7
2.1 Analiza warunków geotechnicznych.....	7
2.2 Analiza warunków wodnych.....	13
2.3 Analiza budowy północnego łącznika tunelowego.....	15
2.3.1 Analiza stanu przygotowań do drążenia północnego łącznika.....	15
2.3.2 Analiza przebiegu drążenia północnego łącznika.....	15
2.3.3 Uwagi dotyczące prac związanych z budową północnego łącznika między zachodnią a wschodnią częścią stacji C13 Powiśle pod tunelem Wisłostrady i ich dokumentowania.....	18
2.4 Prawdopodobne przyczyny wpłynięcia nawodnionego gruntu do budowanego łącznika w nocy z 13 na 14 sierpnia 2012 r	19
3. Ocena wpływu skutków awarii na stateczność konstrukcji tunelu Wisłostrady.....	26
3.1 Opis konstrukcji tunelu Wisłostrady.....	26
3.2 Opis metod budowy tunelu Wisłostrady.....	26
3.3 Opis monitorowania przemieszczeń tunelu Wisłostrady.....	28
3.4 Analiza wyników przemieszczeń tunelu Wisłostrady.....	31
3.5 Przyjęty przez Wykonawcę sposób wypełnienia ubytków gruntu pod tunelem Wisłostrady.....	32
4. Wytyczne i zalecenia dotyczące technologii wykonania łączników tunelowych stacji metra C13.....	32
5. Podsumowanie i wnioski końcowe.....	35

1. Wstęp

1.1. Podstawy formalne.

Niniejsze opracowanie pt. : „Ekspertyza dotycząca określenia przyczyn awarii i metod jej usunięcia na stacji C13 odcinka centralnego II linii metra” wykonano na zlecenie Metra Warszawskiego Sp. z o.o. , ul. Wilczy Dół 5, 02 -798 Warszawa, umowa nr 237/IP/12 z dnia 31 sierpnia 2012r, działającego w imieniu i na rzecz Zarządu Transportu Miejskiego Miasta Stołecznego Warszawy.

1.2. Cel opracowania.

Celem ekspertyzy jest analiza przyczyn powstania awarii, ocena wpływu skutków awarii na stateczność konstrukcji tunelu Wisłostrady wraz z określeniem sposobu jej usunięcia umożliwiającego wznowienie ruchu w tunelu drogowym Wisłostrady oraz sformułowanie wytycznych i zaleceń dotyczących technologii budowy łączników tunelowych stacji metra C13.

1.3 Wykaz dokumentów stanowiących podstawę do opracowania ekspertyzy.

Ekspertyzę opracowano na podstawie następujących dokumentów dostarczonych przez Zleceniodawcę lub Wykonawcę łącznika tunelowego (AGP) na stacji C13 w wersji elektronicznej :

I. **Projekt budowlany AGP (08/2010) – wyciąg, dokumenty o numerach:**

- I.1 D-ILF-B-C13-000-LAY-0002_R03 Schemat trasy II Linii Metra, odcinek centralny
- I.2 D-ILF-B-C13-ARC-LAY-0011_R03 Projekt zagospodarowania terenu
- I.3 D-ILF-B-C13-ARC-LAY-0012_R03 Plansza informacyjna. Obszary ochrony konserwatorskiej
- I.4 D-ILF-B-C13-ARC-SPC-0011_R03_PL Projekt budowlany, Tom I, Rozdział 01
- I.5 D-PRT-B-C13-CST-FWG-0001-R03 Płyta fundamentowa
- I.6 D-PRT-B-C13-CST-FWG-0002-R03 Płyta peronu. Geometria
- I.7 D-PRT-B-C13-CST-FWG-0004-R03 Geometria poziomu – 9,754
- I.8 D-PRT-B-C13-CST-FWG-0005-R03 Geometria poziomu -5,204/ -3.854
- I.9 D-PRT-B-C13-CST-FWG-0007-R03 Geometria poziomu -0,819/ -3,604
- I.10 D-PRT-B-C13-CST-FWG-0009-R03 Geometria poziomu +2,296/+4,181
- I.11 D-PRT-B-C13-CST-FWG-0011-R03 Geometria poziomu + 7,381
- I.12 D-PRT-B-C13-CST-SEC-0001-R03 Przekrój A-A
- I.13 D-PRT-B-C13-CST-SEC-0002-R03 Przekroje C-C, D-D, E-E
- I.14 D-PRT-B-C13-CST-SEC-0003-R03 Przekroje B-B, D1-D1, F-F, G-G, G1-G1, H-H
- I.15 E-ILF-B-C13-CST-SPC-0002_R03_PL Projekt budowlany, Konstrukcja, Tom III, Rozdział 02
- I.16 E-PRT-B-D00-ACC-REP-0001-R00 Projekt budowlany, Analiza drgań i kontroli hałasu

II. Projekt łącznika stacji metra C13 pod tunelem Wisłostrady AGP, dokumenty o numerach:

- II.1 D-RCK-E-C13-GEO-LAY-0148-R00 Tunele drążone tarczą TBM, Stacja C13 – Zabezpieczenie gruntu podczas wchodzenia do stacji, z 22.05.2012
- II.2 D-SGS-E-C13-CST-FWG-0015-R01 Przejście pod tunelem Wisłostrady, Obudowa tymczasowa, z 05.2012
- II.3 D-SGS-E-C13-CST-FWG-0016-R01 (plik AUTOCAD i plik PDF) Przejście pod tunelem Wisłostrady, Obudowa tymczasowa, z 05.2012, D-SGS-E-C13-FWG-0016-R02 (plik PDF) Przejście pod tunelem Wisłostrady, Obudowa tymczasowa, z 07.2012
- II.4 D-SGS-E-C13-CST-FWG-0017-R01 (plik AUTOCAD i plik PDF) Przejście pod tunelem Wisłostrady, Obudowa stała, z 05.2012, D-SGS-E-CST-FWG-0017-R02 Przejście pod tunelem Wisłostrady, Obudowa stała, z 08/2012
- II.5 D-SGS-E-C13-CST-RFD-0216-R01 Zbrojenie obudowy stałej, z 05.2012
- II.6 D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0008-C00 (plik AUTOCAD), D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0008-C01 (plik PDF), Przejście pod tunelem Wisłostrady, Wzmocnienie gruntu, Pierwszy etap drążenia, z 05.2012; , D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0008-C02 Przejście pod tunelem Wisłostrady, Wzmocnienie gruntu, Pierwszy etap drążenia, z 07.2012
- II.7 D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0009-R00 (plik AUTOCAD i PDF) z 05.2012; D-SGS-E-C13 GEO-LAY-0009-R01 Przejście pod tunelem Wisłostrady-C13 za zachodnią część, Tunel północny-1. i 2. odcinek drążenia, z 07.2012
- II.8 D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0010-R00 (plik AUTOCAD) z 05.2012, D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0010-R01 (plik PDF), Przejście pod tunelem Wisłostrady – C13 Wschodnia strona, Północny, Południowy tunel – 2. Odcinek drążenia, z 07.2012
- II.9 D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0011-R00/R01/R02 Przejście pod tunelem Wisłostrady – wzmocnienie gruntu (jet grouting) pomiędzy osiami 12J-12K, z 07.2012
- II.10 D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0012-R00 Przejście pod tunelem Wisłostrady C13, zachodnia część, tunel południowy, 1. , 2. , 3. Odcinek drążenia, z 05.2012 ; D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0012-R01 Przejście pod tunelem Wisłostrady C13, zachodnia część, tunel południowy, 1. , 2. , 3. Odcinek drążenia, z 07.2012
- II.11 E-SGS-E-C13-GEO-REP-0003 R01 PL Projekt wykonawczy, Projekt geotechniczny i konstrukcyjny, Raport – Obliczenia, Tunel metra pod tunelem Wisłostrady, 05.2012
- II.12 D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0217-R00 (plik PDF) Przejście pod tunelem Wisłostrady-C13, Część zachodnia, tunel północny-odcinek drążenia, z 07.2012
- II.13 D-SGS-E-C13-CST-RFD-0217-R00 (plik AUTOCAD) Konstrukcja oporowa, Przejście pod tunelem Wisłostrady, tunel północny, odcinek drążenia, przekrój podłużny, etap 3, z 05.2012
- II.14 D-SGS-E-C13-CST-RFD-0217-R00 (plik PDF) Przejście pod tunelem Wisłostrady C13, zachodnia część, tunel północny, odcinek drążenia, 07.2012

Należy tu dodać, że we wszystkich dokumentach związanych z projektem łącznika stacji metra C13 pod tunelem Wisłostrady stwierdza się dużą niestaranność w datowaniu i numeracji dokumentów, zapisanych w różnych formatach (AUTOCAD i PDF) i z różnymi datami. Opiniującym trudno było ustalić, który z dokumentów

jest ostatnią rewizją oznaczoną jako **R** , jakie wprowadzono zmiany w stosunku do dokumentu wcześniejszego i który z nich był ostatecznie obowiązującym podczas budowy północnego łącznika.

III. Projekt tunelu Wisłostrady z 2000 r – dokumenty z ZDM:

- III.1 Opis techniczny do projektu wykonawczego konstrukcji tunelu
- III.2 Rys. 5 Plan ścian szczelinowych na odcinku 11p-14p, skan 0437
- III.3 Rys.3 Plan ścian szczelinowych na odcinku 11Lz – 13 Lz, skan 0438
- III.3 Rys. 4 Plan ścian szczelinowych na odcinku 18Lw – 13Lw, skan 0430
- III.4 Przekrój poprzeczny tunelu F – F, km 0 + 470, F1-F1 km 0+565, skan 0440
- III.5 Przekroje poprzeczne D2-D2, D1-D1, D-D , skan 0441
- III.6 Mapa sytuacyjna, skan 0442,
- III.7 Wlot do tunelu, skan 0446
- III.8 Rys.2 Plan ścian szczelinowych na odcinku 2L – 12Lw, skan 0447
- III.9 Rys.8 Plan ścian szczelinowych na odcinku 30p – 36p. skan 0448
- III.10 Rys. 7 Plan ścian szczelinowych na odcinku 23p – 29p, skan 0449
- III.11 Rys. 1 Plan ścian szczelinowych na odcinku 14Lz – 20 Lz, skan 0450
- III.12 Rys. 6 Plan ścian szczelinowych na odcinku 15p - 22p, skan 0451,
- III.13 Przekroje poprzeczne E2 – E2, E1 – E1, E – E, skan 0452
- III.14 Tunel Wisłostrady – widok z góry, skan 0453,
- III.15 Dokumentacja hydrogeologiczna cz. 1 i cz. 2, Przedsiębiorstwo Robót Wiertniczych HYDROPOL, lipiec 2001,
- III.16 Opracowanie „Zakres prac związanych z wykonaniem odwodnienia” Przedsiębiorstwo Robót Wiertniczych HYDROPOL, lipiec 2001,
- III.17 Wykaz piezometrów do prowadzenia pomiarów z.w.g. w trakcie eksploatacji tunelu Wisłostrady, Dokumentacja powykonawcza HYDROBUDOWA 6 SA
- III.18 Projekt wykonawczy konstrukcji tunelu – wanny, BMJ GROUP (Baks & Mestra), styczeń 2000 r,
- III.19 Plan ścian szczelinowych na odcinku 2L –12 Lw – dokumentacja powykonawcza, HYDROBUDOWA 6 SA
- III.20 Metryki ścian szczelinowych i baret z segmentu 3L, HYDROBUDOWA 6 SA,
- III.21 Zbrojenie segmentu 3L, BMJ GROUP (Baks & Mestra), grudzień 1999 r,
- III.22 Zbrojenie stropu segmentu 3L, BMJ GROUP (Baks & Mestra), grudzień 1999
- III.23 Zbrojenie wanny segmentu 3L, BMJ GROUP (Baks & Mestra), grudzień 1999

IV. Projekt tunelu Wisłostrady, dokumentacja powykonawcza – dokumenty z AGP

- IV.1 Przekrój poprzeczny tunelu w rejonie tuneli metra,
- IV.2 Plan ścian szczelinowych na odc. 2L-12Lw,
- IV.3 Zestawienie materiałów ścian szczelinowych,
- IV.4 Zbrojenia ściany szczelinowej typu Z1/1, B, Zw

V. Wielobranżowy Projekt Koncepcyjny dla zaprojektowania i budowy odcinka centralnego II linii metra w Warszawie, Autorzy: B.P. METROPROJEKT I AMC - ANDRZEJ M. CHOŁDZYŃSKI , wrzesień 2008 – wybrane fragmenty.

- VI. **Dziennik Budowy** dotyczący realizacji łącznika między wschodnią i zachodnią częścią stacji metra C13 Powiśle , nr 462_tom II_C13, str. 82 – 96
- VII. **Protokół WINB z dn. 14.08.2012**
- VIII. **Protokół WINB nr 283_2012 z 17.08.2012 r**
- IX. **Jet grouting, stacja C13, część zachodnia, etap 2** – wykonanie kolumn iniekcji strumieniowej oraz kolejność wykonywania obudowy tymczasowej, AGP, sierpień 2012.
- X. **Pismo z Studio Geotecnico Strutturale S.R.L.** z 10.08.2012, w sprawie kontroli iniekcji strumieniowej „jet grouting”, (dotyczące wschodniej części stacji C13)
- XI. **Przejście pod tunelem Wisłostrady, Przekrój podłużny, tunel północny. Schemat wierceń**, AGP, kwiecień 2012.
- XII. **Przejście pod tunelem Wisłostrady, Przekrój podłużny, tunel południowy. Schemat wierceń**, AGP, kwiecień 2012.
- XIII. **Analiza z badań uzupełniających dotyczących uszczegółowienia przebiegu stropu mio-poliocieńskich iłów w rejonie projektowanej stacji C13 Powiśle**, Politechnika Warszawska, Zakład Geotechniki i Budowli Podziemnych, lipiec 2012
- XIV. **Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 17.06.2011 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie**, Dz. U. Nr 144, Poz. 859
- XV. **Wyniki monitorowania, od lipca do września 2012, przemieszczeń tunelu Wisłostrady, korpusu stacji C13, poziomu wód gruntowych, AGP:**
 - XV.1 Wisłostrada – Internal Invar Bars (U-shape elements),
 - XV.2 Wisłostrada – Internal ground pins (U-shape elements),
 - XV.3 Wisłostrada – Internal miniprism (top slab),
 - XV.4 Wisłostrada – External optical targets 9d-walls),
 - XV.5 C13 Station – Inclino-metric readings
 - XV.6 C13 station – Piezometric readings
- XVI. **Zdjęcia z budowy łącznika nr P7160521 – P7160537 oraz P7170539 – P7170551**
- XVII. **Projekt zabezpieczenia odcinka tunelu Wisłostrady, Projekt wykonawczy, Stacja C13 Powiśle**, SGS Studio Geotecnico Strutturale, wrzesień 2012,
- XVIII. **Wyniki badania korpusu zachodniego zalanej wodą stacji C13 przez pletwonurka z 08.09.2012 r**

oraz

- XIX. PN-EN 12716:2002, Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych, Iniekcja strumieniowa**
- XX. Dokumentacja geotechniczna dla II linii metra od stacji „Rondo Daszyńskiego” do stacji „Dworzec Wileński” w Warszawie, GEOTEKO Projekty i Konsultacje Geotechniczne, ul. Wałbrzyska 3/5 , 02-739 Warszawa, lipiec 2010**
- XXI. PN-EN 1997-1:2007. Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne,**

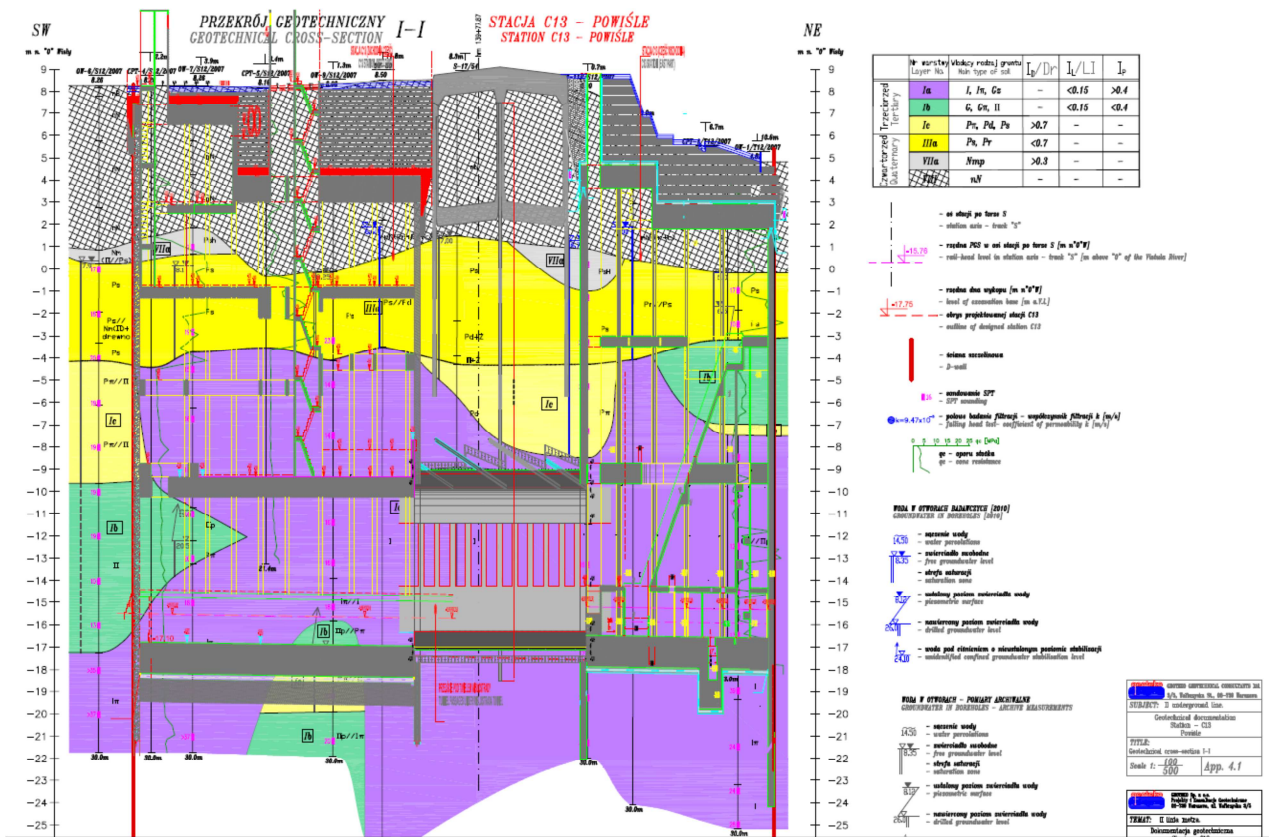
2. Analiza przyczyn awarii

2.1 Analiza warunków geotechnicznych

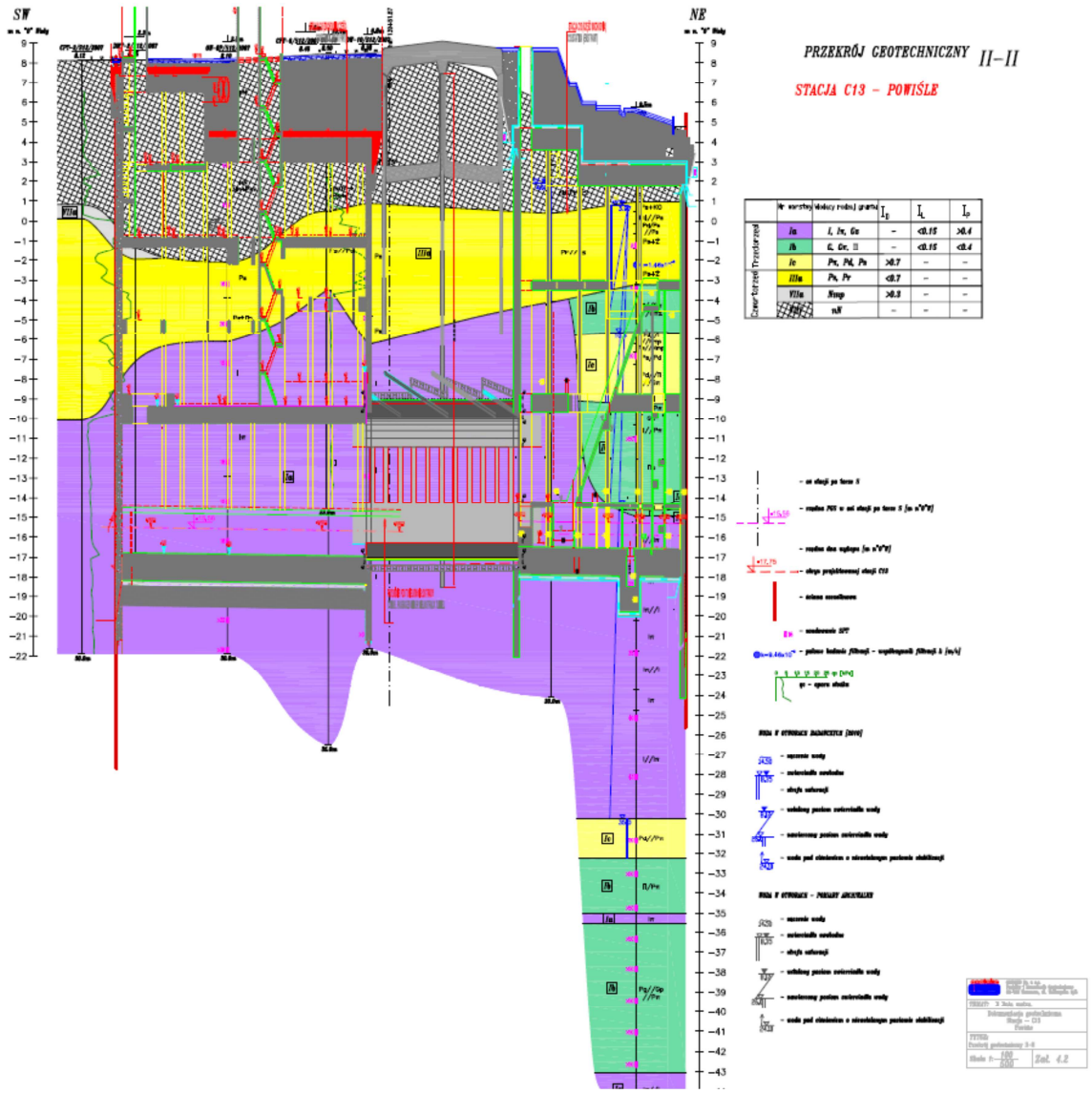
Badania geologiczne dla potrzeb dokumentowania warunków geotechnicznych w podłożu stacji C13 „Powiśle” II linii metra w Warszawie wykonywane były przez firmę GEOTEKO [XX] w latach 2003-2004, 2007 i 2010 (jako badania uzupełniające). Stacja C13 „Powiśle” zlokalizowana jest w całości w lewobrzeżnej części doliny Wisły. Powierzchnia terenu w tym rejonie (nadbudowa nasypami antropogenicznymi) wyniesiona jest do rzędnych 5.0–8.5 m n „0” Wisły. Wg GEOTEKO [XX] budowa geologiczna podłoża gruntowego w jej rejonie charakteryzuje się prawie poziomym położeniem stropu utworów trzeciorzędowych (rzędna –3 - -4 m n. „0” Wisły) jedynie nieznacznie opadając ku południowemu zachodowi (-9 - -10 m n „0”W). Pod powierzchniową warstwą nasypów gruntowo-gruzowo-humusowych, o miąższości 5-10 m, występuje ciągła warstwa piaszczystych osadów rzecznych o miąższości od 4 do 10 m. Składają się na nie utwory rzeczne tarasu praskiego osadzone w okresie zlodowacenia Wisły, reprezentowane przez piaski średnie i grube oraz osady rzeczne interglacjału eemskiego, wykształcone również w postaci piasków średnich i grubych z domieszką żwirów oraz piasków drobnych. Lokalnie, w stropie tej warstwy wyróżniono holocenijskie utwory zastoiskowe (głównie niespoiste namuły piaszczyste), rzadziej spoiste (gliny pylaste). Seria osadów rzecznych zalega na stropie pliocenijskich utworów ilastych (lokalnie pylastych lub gliniastych) Strop pliocenu układa się poziomo, równolegle w stosunku do powierzchni terenu na głębokości 8 – 14 m p.p.t (lokalnie 18 m p.p.t. – zagłębienie w stropie). Osady pliocenijskie reprezentowane są w przewadze przez ility i ility pylaste oraz podrzędnie przez pyły, pyły piaszczyste, gliny zwięzłe, a także nawodnione piaski pylaste i drobne. Grunty pylaste i piaski drobne tworzą w obrębie serii iłłów trzeciorzędowych nawodnione soczewki o nieregularnym układzie, zmiennej miąższości i zmiennej głębokości zalegania. Przekrój geotechniczny stacji C13 i północnego oraz południowego łącznika tunelowego metra wraz zaznaczonym tunelem Wisłostrady opracowany w 2010 r przez GEOTEKO pokazano odpowiednio na rys. 2.1 i 2.2.

Warunki geotechniczne budowy stacji C13, w tym łączników tunelowych, można określić jako bardzo złożone, zakwalifikowane wg normy Eurokod 7 [XXI] do trzeciej kategorii geotechnicznej. Z punktu widzenia robót tunelowych są to warunki trudne, gdyż drążenie wyrobiska stosunkowo dużym przekrojem (około 70 m²) odbywa się na styku dwóch warstw geotechnicznych o bardzo różniących się cechach mechanicznych – iłłów pliocenijskich, które są korzystnym podłożem do prowadzenia robót podziemnych oraz nawodnionych piasków drobnych i pylastych z napiętym zwierciadłem wód gruntowych.

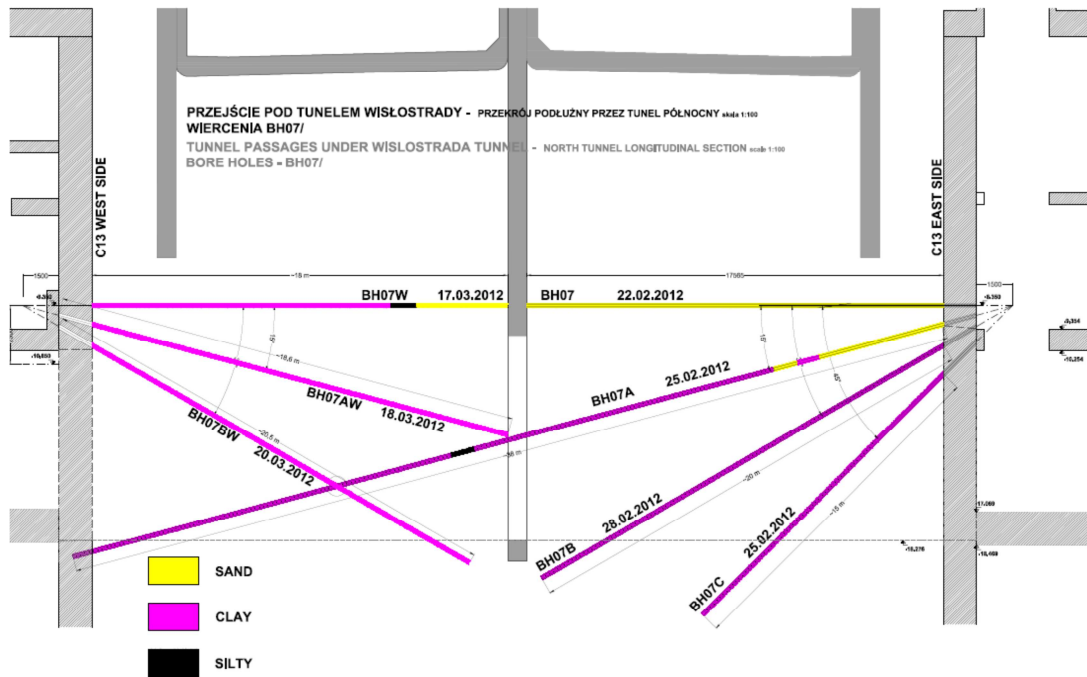
W celu uszczegółowienia przebiegu stropu warstwy iłów mio-pliedeńskich pod tunelem Wisłostrady, w 2012r Wykonawca stacji C13, AGP wykonał 14 otworów badawczych pod tunelem Wisłostrady, prostopadle do jego osi, zarówno ze wschodniego jak i zachodniego korpusu stacji C13. Układ otworów badawczych pokazano na rys. 2.3 i 2.4. Badania te były nadzorowane przez Politechnikę Warszawską, Zakład Geotechniki i Budowli Podziemnych [XIII]. Na podstawie wyników wierceń stwierdzono, że liczba warstw geotechnicznych i ich charakterystyka podana w dokumentacji [XX] z 2010 r nie uległa zmianie, natomiast uszczegółowiono przebieg stropu spoistych osadów trzeciorzędowych warstwy Ia - iłów plicieńskich. Pod tunelem Wisłostrady występowało wcięcie erozyjne w obrębie iłów mio-pliedeńskich wypełnione nawodnionymi piaskami (warstwa geotechniczna nr Ic), które według pierwotnej dokumentacji [XIX] w rejonie północnego łącznika sięgało głębokości - 8,5 m n „0” Wisły, a w rejonie tunelu południowego strop iłów występował na głębokości -6,2 m n „0” Wisły . Wyniki wierceń uzupełniających wykazały, iż wcięcie erozyjne sięgnęło głębiej: w rejonie tunelu północnego tzn. do rzędnej -11,0 m n „0” Wisły (rys. 2.5), zaś w rejonie tunelu południowego do głębokości -12,7 m n „0” Wisły (rys. 2.6).



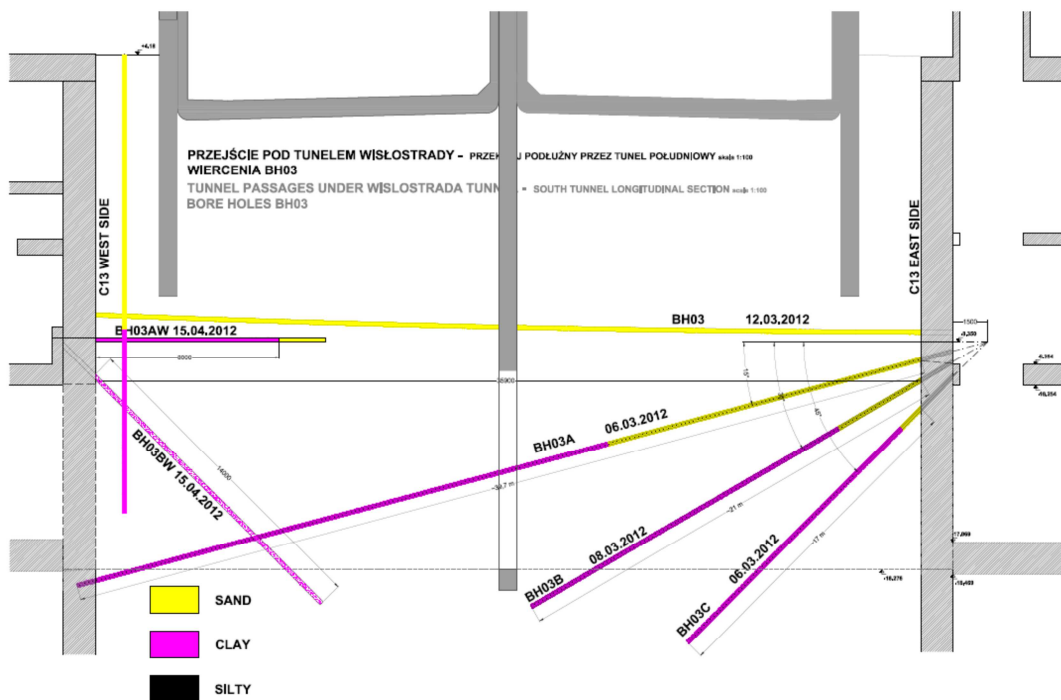
Rys. 2.1 Przekrój geotechniczny dla północnego łącznika stacji C13 wg [XX]



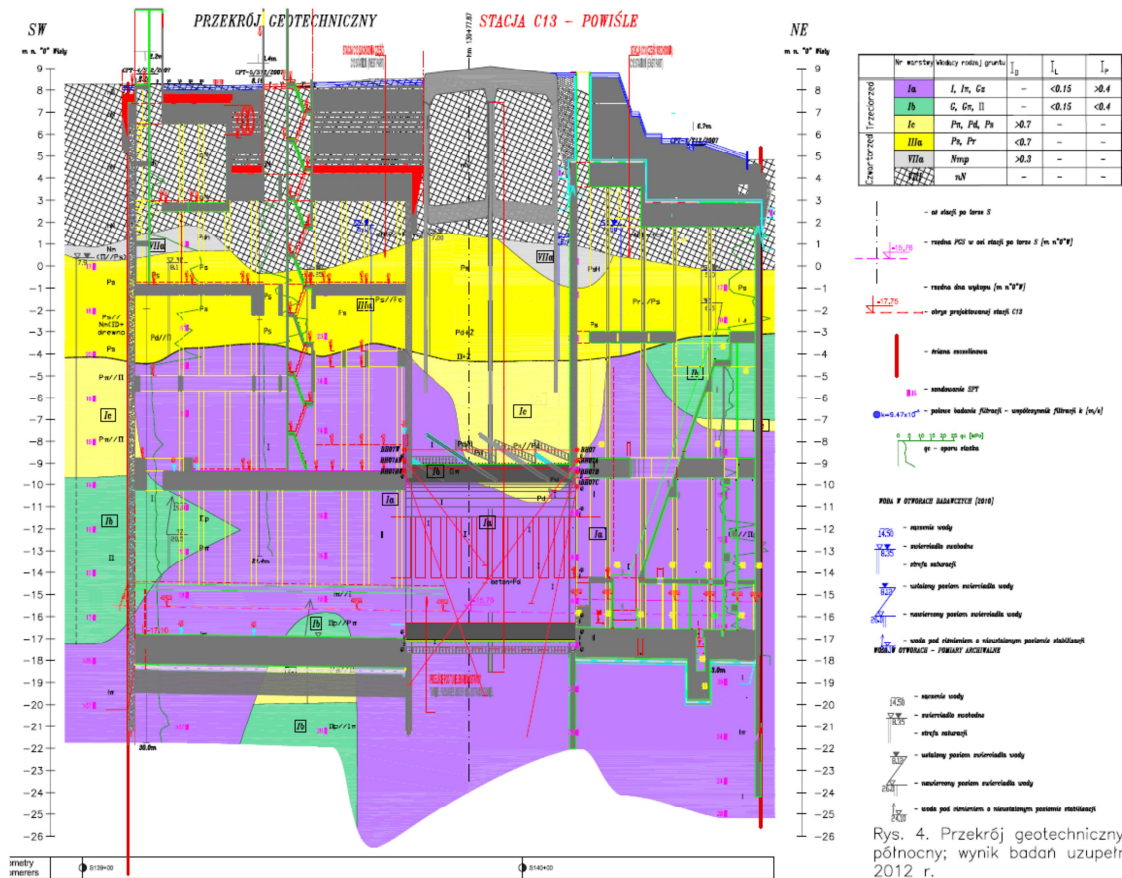
Rys. 2.2 Przekrój geotechniczny dla południowego łącznika stacji C13 wg [XX]



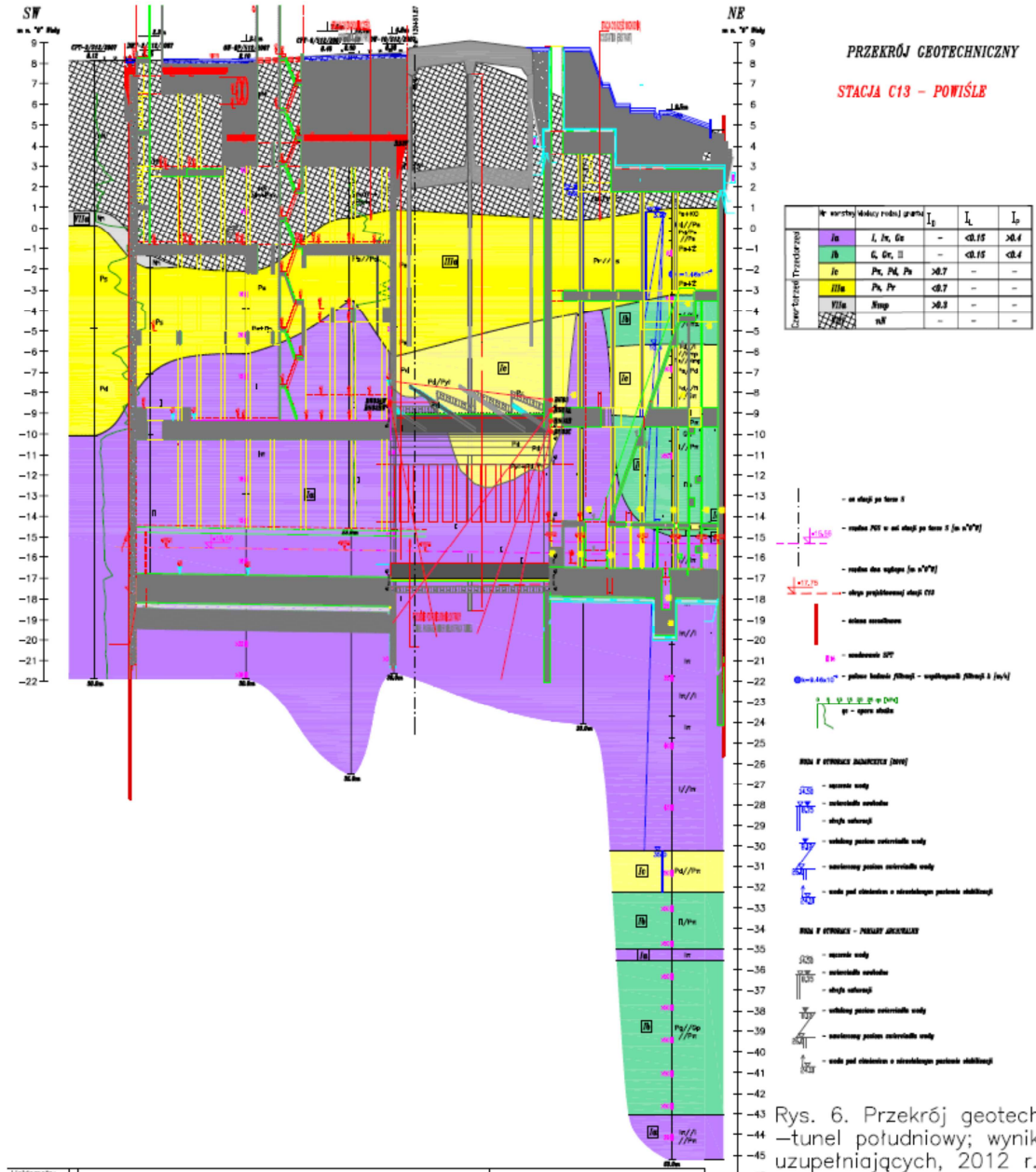
Rys. 2.3. Schemat wierceń uzupełniających pod łącznikiem północnym metra pod tunelem Wisłostrady [XI]



Rys. 2.4 Schemat wierceń uzupełniających pod łącznikiem południowym metra pod tunelem Wisłostrady [XII]



Rys. 2.5 Wyniki badań uzupełniających –północny łącznik, wcięcie erozyjne w iłach płoceńskich wypełnione nawodnionym piaskiem sięga głębokości -11,0 m n „0” Wisły [XIII]



Rys. 6. Przekrój geotechniczny –tunel południowy; wynik badań uzupełniających, 2012 r.

Rys. 2.6 Wyniki badań uzupełniających – południowy łącznik, wcięcie erozyjne w iltach plicieńskich wypełnione nawodnionym piaskiem sięga głębokości -12,7 m n „0” Wisły [XIII]

Należy dodać, że uściślenia przebiegu stropu iłów plioceńskich pod tunelem Wistostrady, można było dokonać dopiero po przeprowadzeniu wierceń pod tunelem, co na etapie opracowywania dokumentacji w 2010 r nie było z przyczyn technicznych możliwe. Zwraca się również uwagę na fakt, że przekroje geotechniczne, które są opracowywane na podstawie wierceń, stanowią najbardziej prawdopodobną interpretację uzyskanych wyników choć zawsze istnieje margines niepewności co do układu warstw, szczególnie w obszarach działalności lodowca i w dolinach rzek. Iły w tym rejonie są zaburzone glacitektonicznie. Może być prawdopodobne, że nieco inny wzajemny układ warstw mocnych (iły) i słabych (piaski, piaski pylaste) był jednym z czynników, które mogły wpłynąć na powstanie analizowanej awarii.

2.2 Analiza warunków wodnych

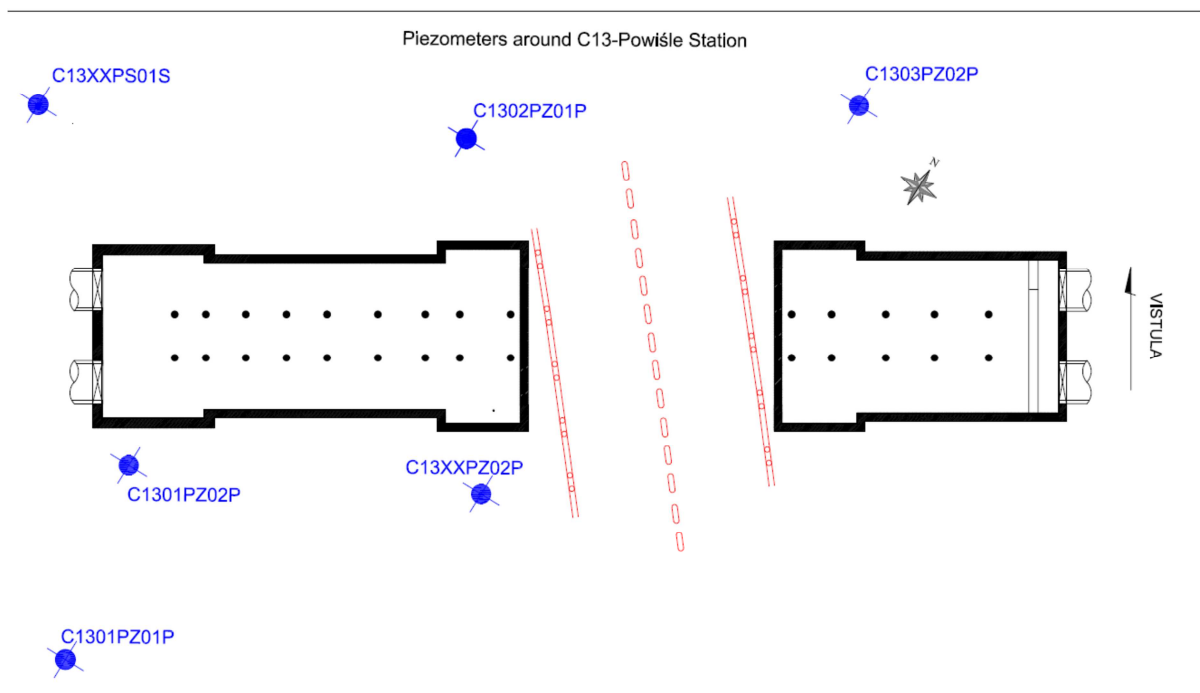
Na podstawie [XX] stwierdzono, że w podłożu stacji C13 „Powiśle” występuje jeden aluwialny poziom wodonośny Ia (piaski rzeczne), który charakteryzuje się wysokimi współczynnikami filtracji $k = 1,0 \div 1,5$ m/h. Wg danych z 2010 r w rejonie budowanej stacji C13 (pomiar od kwietnia do lipca) statyczne zwierciadło wody pierwszej warstwy wodonośnej stabilizowało się na głębokości 7.25 m p.p.t. (ok. 0,60 m n „0” Wisły). Stwierdzono również, że w obrębie iłów plioceńskich występują nawodnione przewarstwienia piaszczysto-pylaste o spodziewanych niewielkich wydajnościach rzędu kilku m³/h.

Prognozowano, że wbudowanie konstrukcji stacji w iły plioceńskie 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 [XX].

Tegoroczne suche lato, jak również brak opadów śniegu i deszczu w zimie i na wiosnę spowodowały, że poziom wody w Wiśle jest wyjątkowo niski, a więc i poziom wód gruntowych jest niższy niż to opisano w dokumentacji z 2010 r. Stacja C13 jak i drążone łączniki znajdują się w strefie przybrzeżnej, gdzie występuje drenujący wpływ rzeki.

Na podstawie pomiarów w piezometrach zainstalowanych wokół stacji (rys.2.7) stwierdza się, że obecnie z.w.g. w części zachodniej stacji C13 stabilizuje się na rzędnej – 0,83 m n „0” Wisły, a stan wody w rzece na rzędnej – 1,25 m n „0” Wisły czyli o około 40 cm poniżej poziomu wody w zachodnim korpusie stacji.

Przebieg zmian z.w.g. od lutego do sierpnia 2012 pokazano na rys. 2.7. Jak widać z wykresu, w analizowanym okresie przed wystąpieniem awarii, nie stwierdzono istotnych zmian położenia zwierciadła wód gruntowych.



Rys. 2.7 Układ piezometrów wokół stacji C13 oraz wyniki pomiarów z.w.g. od lutego do sierpnia 2012 r [XV.6]

2.3 Analiza budowy północnego łącznika tunelowego

2.3.1 Analiza stanu przygotowań do drążenia północnego łącznika pomiędzy zachodnią a wschodnią częścią stacji C13 Powiśle

Z rysunku D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0009-R01 [II.7] zamieszczonego w pakiecie P-SGS-E-C13-CST-PCG-0010-R02 z lipca 2012 wynika, że drążenie ww. łącznika powinno być poprzedzone następującymi pracami zapewniającymi bezpieczeństwo robót :

- W etapie 1 przewidziano wywiercenie nad przyszłym wyrobiskiem 15 poziomych otworów o średnicy 190 mm w rozstawie 0,40 m i wprowadzenie do nich stalowych rur o średnicy 139,7 mm , grubości ścianki 12,5 mm i długości 10,0m. Przestrzeń pomiędzy otworami a rurami miała być wypełniona iniekcją (rys. 2.8)
- W etapie 2 przewidziano wykonanie po stronie północnej łącznika 6 rur stalowych w podobnej technologii jak wyżej zaś po stronie południowej też 6 rur o średnicy 110 mm z włókna szklanego też osadzonych w otworach o średnicy 190 mm i zainiektowanych. Oba rodzaje rur rozmieszczono głównie w górnej części przekroju przyszłego wyrobiska w taki sposób, by znalazły się na zewnątrz stalowych ram obudowy tymczasowej łącznika. Według wymienionego rysunku pod taką osłoną miano wykonać wyrobisko na długości odpowiadającej ustawieniu 8 ram w odległościach 0,75 m między sobą i zakończyć ten fragment robót wykonaniem ściany z 2 warstw zbrojonego betonu natryskowego o łącznej grubości 50 cm, stabilizującej przodek wyrobiska. Oprócz wspomnianych ram w skład obudowy tymczasowej wchodziła warstwa betonu o grubości 30 cm zbrojonego włóknem szklanym natryskiwanego sukcesywnie po ustawieniu kolejnej ramy na ich konstrukcję i na przestrzeń pomiędzy ramami (rys. 2.9).
- Dodatkowo w celu zapewnienia stateczności przodka podczas drążenia łącznika zaprojektowano wprowadzenie równoległe do jego osi , głównie w górnej części przekroju poprzecznego 40 sztuk rur o średnicy 60/40 z włókna szklanego o grubości 10 mm w wywiercone otwory o średnicy 100 mm. Otwory te wypełnione miały być iniekcją. Długość rur – 18 m (rys. 2.10).

Pod takim „parasolem” ochronnym miano przystąpić do drążenia.

Na rysunku D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0217-R00 również z lipca 2012 [II.12], otrzymanym w wersji elektronicznej od służb nadzoru budowlanego Inwestora pokazano, że w stosunku do wcześniej wymienionego rysunku nastąpiła zmiana, polegająca na ustawieniu nie 8 lecz 6 ram obudowy tymczasowej – w obu wersjach typu 11 (rys. 2.11)

2.3.2 Analiza przebiegu drążenia łącznika

Zapis w Dzienniku budowy [VI] dokonany przez Kierownika Budowy Pana Michała Antonowicza w dniu 18.07.2012 potwierdza ustawienie 6 ram typu 11, wykonanie betonu natryskowego „zakrywającego konstrukcję pierścieni” oraz „że zgodnie z decyzją Projektanta – patrz rysunek D-SGS-E-C13-CST-RFD-0217-R00, korygujący wcześniejszy rysunek wykonano ścianę korka o grubości 50 cm przy użyciu szprycbetonu”. Nie jest jasne o jaki poprzedni rysunek chodzi i na czym ta korekta miała polegać. Należy przy tym zaznaczyć, że rysunek, na który powołuje się Kierownik Budowy nosi datę 05.2012 [II.13]. Brak jest wyjaśnienia czy ta data została wpisana omyłkowo a poprawnie powinno być 07.2012. To, że może to być pomyłka może świadczyć rysunek D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0217-R00 z datą 07.2012 [II.12]

bowiem na obu zaznaczono taki sam przebieg stropu iłów w przekroju wzdłużnym łącznika, a taki przebieg został zinterpretowany dopiero w opracowaniu z lipca 2012 wykonanym w Zakładzie Geotechniki i Budowli Podziemnych Politechniki Warszawskiej [XIII]. Dopiero to opracowanie posłużyło Projektantowi do wykonania obu rysunków.

Można uznać, że wykonywanie robót do dnia 18.07.2012 czy to wg rysunku przywołanego przez Kierownika Budowy czy też wymienionego ostatnio rysunku odbywało się na podstawie takiego samego projektu. Kolejne prace miały na celu wydrążenie dalszych fragmentów wyrobiska zgodnie z rysunkiem D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0217-R00 [II.12].

Z danych [IX] udostępnionych przez Wykonawcę – konsorcjum AGP wynika, że w dniu 29.07.2012 rozpoczęto wykonywanie pierwszych kolumn z iniekcji strumieniowej – „jet grouting”, w celu wytworzenia wyprzedzającego „parasola” ze wzmocnionego gruntobetonu, pod ochroną którego drążono by dalszą część łącznika. W projekcie przewidziano 38 kolumn wykonywanych metodą iniekcji strumieniowej o 4-ech rodzajach długości i stałej średnicy 120 cm : 7 szt. o długości 10 m z pozostawieniem 5 m bez iniekcji, 10 szt. o długości 9 m (odcinek bez iniekcji -4,5 m), 9 szt. o długości 8 m (odcinek bez iniekcji -4 m) i 10 szt. o długości 6m (odcinek bez iniekcji – 3 m). Rozmieszczenie kolumn iniekcji strumieniowej – „jet grouting” w przekroju poprzecznym drążonego tunelu pokazano na rys. 2.12.

W projekcie przewidziano też dodatkowe zabezpieczenie przyszłego wyrobiska rurami z włókna szklanego o średnicy 60/40, o grubości 10 mm i długości 12 m, wprowadzonymi do otworu wiertniczego o średnicy 100 mm i wypełnionego iniekcją. Rury te w liczbie po 11 szt. zostały rozmieszczone wzdłuż zewnętrznego zarysu przyszłych ram typu 1 obudowy tymczasowej, poczynając od poziomu osi wzdłużnej łącznika ku kalocie wyrobiska.

W Dzienniku budowy [VI] z dnia 26.07.2012 widnieje zapis Kierownika Budowy o wykonaniu tego ostatniego zabezpieczenia i jednocześnie prośba skierowana do Projektanta o zgodę na kontynuowanie prac. Pod tą samą datą znajduje się odpowiedź Projektanta, który stwierdził, że prace te przebiegają prawidłowo i zezwala na ich kontynuowanie (skan listu [X]). Aż do dnia 8.08.2012 brak wpisów do Dziennika budowy. Czyżby wszelka działalność budowlana zamarła ?

Dopiero pod tą datą widnieje wpis Kierownika Budowy, z którego wynika, że zakończono wykonywanie drugiego etapu wzmocniania gruntu pod tunelem Wiślostrady metodą iniekcji strumieniowej – „jet grouting” we wschodniej części stacji wg rysunku D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0008-C01, przekrój A-A [II.6]. W części zachodniej korpusu stacji wykonywane są prace – kolumny metodą iniekcji strumieniowej – „jet grouting”, zgodnie z rysunkiem D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0217-R00 z 07.2012 [II.12] – etap 1.

W dalszym ciągu tego wpisu jest informacja, że „ Do 8.08.2012 wykonano następujące prace – kolumny nr 38,35,32,34,37 (o długości 10 m), 30,23,26,25,29,27,24, (o długości 9 m),19,20,16,15 (o długości 8 m) i 7,9,3 i 6 (o długości 6 m)”. Odnosząc się do tego zapisu można wyciągnąć wniosek, że do 8.08.2012 wykonano 5 z projektowanych 10 szt. kolumn o długości 10 m, 7 z 10 szt. kolumn o długości 9 m, 4 z projektowanych kolumn o długości 8 m i 4 z projektowanych kolumn o długości 6 m. Łącznie więc wykonano 20 szt. kolumn z zaprojektowanych 38.

W dokumencie zatytułowanym „ Jet GROUTING, stacja C13, część zachodnia , etap 2” [IX], a który dostarczyło autorom niniejszego opracowania konsorcjum AGP w dniu 28.08.2012, wykazano, że wszystkie 38 kolumn zostały wykonane, za wyjątkiem kolumn o numerach 12 i 13. Ostatnie 8 szt. w dniu 8.08.2012. Porównując zapis Kierownika Budowy i powyższy dokument można dostrzec wyraźne różnice w ocenie zakresu wykonanych robót „jet grouting”.

W przytoczonej notatce Kierownika Budowy znajduje się niezbyt zrozumiały zapis : „wymiana ściany przodka gr. 50 cm metodą betonu natryskowego”. Do tego zapisu wkrótce powrócimy.

Kolejnego wpisu do Dziennika budowy pod datą 8.08.2012 dokonał Inspektor Nadzoru Robót Mostowych pan Jacek Gawlak. Streszczając : „zakończono prace związane ze wzmocnieniem gruntu metodą jet grouting dla przejścia pod tunelem Wisłostrady we wschodniej części stacji C13 i wykonano otwory badawcze (prawdopodobnie 3 – przyp. autorów) dla oceny skuteczności tego wzmocnienia”. W związku z faktem, iż wydostaje się z nich znaczna ilość wody Inspektor prosi Projektanta „ o ocenę poprawności wykonanych prac i wyrażenie opinii na temat możliwości kontynuowania robót na łączniku w części wschodniej. W związku z zaobserwowanymi przemieszczeniami przodka w części zachodniej stacji proszę Projektanta o ocenę poprawności przeprowadzonych prac w części zachodniej z założeniami projektowymi.”

Powracając do notatki Kierownika Budowy dotyczącej wymiany ściany przodka i konfrontacji z zaobserwowanymi jego przemieszczeniami, które zaniepokoiły Inspektora Nadzoru można domniemywać, że doszło do tak znacznych odkształceń ściany, iż konieczna była jej naprawa poprzez „wymianę” i doprowadzenie do zachowania stateczności przodka. W Dzienniku budowy brak wzmianki o sposobie wykonania tych zabiegów i ich skuteczności. W następstwie wpisu do Dziennika budowy z 8.08.2012 Inspektora Nadzoru Kierownik Budowy swoim wpisem z datą 10.08.2012 poinformował o załączeniu odpowiedzi Projektanta, która sprowadziła się do uznania, że wszystko jest w porządku [X]. Po tej odpowiedzi prawdopodobnie przystąpiono do dalszych prac przy budowie łącznika w części północnej stacji z zachodu na wschód. Brak jest jednak przez kilka dni zapisów w Dzienniku budowy o wykonywaniu tych prac.

O tym, że takie prace wykonywano można się dowiedzieć natomiast z przekazanego w dniu 28.08.2012 autorom niniejszego opracowania przez AGP dokumentu [IX]. Zapisano w nim, że w dniach 11, 12 i 13.08.2012 wykonano drążenie, wstępny beton natryskowy, ustawiono 3 ramy stalowe obudowy tymczasowej, rozparto je między sobą a następnie wykonano zasadniczą warstwę betonu natryskowego. Również pod datą 13.08.2012 umieszczono zapis o wykonaniu kolejnego fragmentu wyrobiska pod 4-tą ramę i wykonano wstępny natrysk betonu. Na tym kończy się opis wykonanych prac.

13.08.2012 Kierownik Budowy dokonuje wpisu do Dziennika budowy, którego fragment cytujemy : „W trakcie montażu jedenastego żebra z kolei w tunelu północnym od strony zachodniej ze ściany czołowej nastąpiły niekontrolowane nagłe wypływy nawodnionego gruntu.”

W tym miejscu nasuwa się następująca uwaga autorów niniejszego opracowania: zgodnie z projektem i zapisem w Dzienniku budowy dokonany przez Kierownika Budowy z dnia 18.07.2012, że w części zachodniej ustawiono 6 pierścieni (ram, żeber) typu 11, mogło by to oznaczać, iż ustawiono 4-tą ramę typu 1 lecz nie udało się już zamontować ramy 5-ej. Tymczasem w przywołanym dokumencie AGP zapisano, że ustawiono 3 ramy typu 1, a nie udało się ustawić ramy 4-ej. Wobec tej różnicy w dokumentach nie można ustalić jednoznacznie miejsca powstania awarii, tj. wplynięcia gruntu wraz z wodą do wyrobiska.

Dla uzupełnienia należy jeszcze przytoczyć niektóre informacje o przebiegu awarii, a które znajdują się w protokole z oględzin, sporządzonym w dniu 14.08.2012 przez ekspertów nadzoru budowlanego w Wojewódzkim Inspektoracie Nadzoru Budowlanego [VII] i zawarte w tym protokole wyjaśnienia Kierownika Budowy Pana Michała Antonowicza. Otrzymał on informację o godz. 0.15 (14.08.2012) od pracowników montujących stalowy element

obudowy, iż „nastąpiło wypłynięcie nawodnionego gruntu ze strony czoła realizowanych robót”.. .. „Wypływ gruntu następował etapowo. Ostatni miał miejsce ok. godz. 7 rano”.... „Dla poprawy zabezpieczenia przed ewentualnymi, dalszymi wypływami gruntu, obecnie trwają prace polegające na zasypywaniu poziomu – 3 urobkiem z cementem.”

Jeszcze tego dnia podjęta była decyzja o zalaniu tego poziomu wodą, a następnie dalsza decyzja o zalaniu również wyższej kondygnacji zachodniej części stacji do poziomu zbliżonego do poziomu wody w Wiśle.

2.3.3 Uwagi dotyczące prac związanych z budową północnego łącznika między zachodnią a wschodnią częścią stacji C13 Powiśle pod tunelem Wisłostrady i ich dokumentowania

Przytoczony długi opis fragmentu projektu budowy północnego łącznika w jego części zachodniej, opis robót poprzedzający zdarzenie z 13 na 14.08.2012, zawarty we wpisach do Dziennika budowy i wyżej przytoczonych dokumentach dostarczonych przez Wykonawcę-konsorcjum AGP oraz pismo Projektanta z 10.08.2012 pozwalają autorom opinii na sformułowanie następujących uwag :

- zaobserwowana przez Inspektora Nadzoru deformacja ściany czołowej przodka z betonu natryskowego (wpis 8.08.2012) mogła mieć za przyczynę słabą przyczepność tego betonu do gruntu – iltu, bardzo dużą grubość (50 cm) a zwłaszcza wysokość ściany sięgającą 9 m. Nie posiadamy informacji o metodzie wykonywania betonu natryskowego – suchej czy mokrej, o sposobie zbrojenia tego betonu, o jego składzie, konsystencji i dodatkach przyspieszających wiązanie. Można również upatrywać powodu tych deformacji w wykonywanych przez tę ścianę kolumn w technologii iniekcji strumieniowej – „jet grouting”. Była to pierwsza ściana wykonywana w technologii betonu natryskowego na budowie łącznika pomiędzy częściami zachodnią i wschodnią stacji Powiśle,
- zapis w Dzienniku budowy dokonany w dniu 8.08.2012 przez Kierownika Budowy, odnoszący się do stanu wykonania kolumn „jet grouting” na ten dzień jest tak skonstruowany, że najpierw wyliczono jako wykonane kolumny nr 38,35,32,30,23,26,19,25,29,20 i 16 po czym dokonano „wymiany ściany przodka gr. 50 cm metodą betonu natryskowego” a następnie wyliczono jako wykonane dalsze kolumny o numerach: 27,37,15,24,7,9,3,34 i 6. Nie jest więc jasne czy po wykonaniu tej pierwszej partii kolumn dokonano „wymiany ściany przodka” czy też zrobiono to po wykonaniu również drugiej partii. Według dokumentu AGP [IX] dotyczącego wykonywania kolumn „jet grouting” wszystkie kolumny o wyżej wymienionych numerach zostały wykonane do 5.08.2012. W dokumencie tym podano, że w dniu 8.08.2012 wykonano jeszcze 9 kolumn w tym jedną o numerze 12 jako nieudaną. Czy zatem dopiero po wykonaniu tych kolumn ściana zaczęła ulegać deformacjom, co zauważył Inspektor Nadzoru, i jeszcze tego samego dnia została dokonana jej „wymiana” ? Tego zapis Kierownika Budowy nie rozstrzyga,
- podobnie ma się sprawa z kolumnami „jet grouting”. Kierownik Budowy wylicza konkretne numery wykonanych kolumn do 8.08.2012. Jest ich 20 sztuk i nawet doliczając ewentualnie kolejnych 9 lub 8 szt., które mogły być wykonane 8.08.2012 po dokonaniu wspomnianego zapisu w Dzienniku Budowy to i tak brakowałoby jeszcze 10 kolumn. Dokument AGP [IX] potwierdza wykonanie wszystkich kolumn przewidzianych w projekcie w liczbie 38, w tym dwie nieudane (nr 12 i 13). Ustalenie

stanu faktycznego mogłoby mieć istotny wpływ na ustalenie przyczyn wplynięcia gruntu do wyrobiska w nocy z 13 na 14.08.2012,

- obok liczby wykonanych kolumn „jet grouting” ważna jest ich jakość. Powinny one zapewnić odpowiednie uszczelnienie nadkładu gruntu nad prowadzonym wyrobiskiem i zapewnić jego odpowiednią wytrzymałość. Notatka Inżyniera Nadzoru dotycząca znacznych wycieków wody z otworów kontrolnych we wschodniej części stacji, usytuowanych w rejonie wcześniej wykonanych kolumn „jet grouting” wg rysunku D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0008-COI [II.6], przekrój A-A, wskazuje, że nie osiągnięto tam zadowalającej szczelności. Może to nasuwać wątpliwości co do jakości wykonania kolumn. Autorzy niniejszego opracowania nie dysponowali dokumentacją w postaci metryk kolumn części zachodniej stacji, wynikami badania wytrzymałości materiału wypływającego z odwiertów podczas wykonywania kolumn itp., a także wynikami kontrolnych odwiertów wykonywanych (jeśli je wykonano) w celu ustalenia szczelności „parasola ochronnego” jak to miało miejsce we wschodniej części stacji, co również utrudnia ustalenie przyczyn awarii. Być może Projektant przeanalizował opisane wyżej dokumenty i na tej podstawie w piśmie z dnia 10.08.2012 [X] zalecił kontynuację prac przy drążeniu północnego łącznika z zachodu na wschód,
- gdyby przyjąć, że ostatnie kolumny „jet grouting” zostały wykonane 8.08.2012 to minęło zaledwie niecałe 3 dni, po których przystąpiono do drążenia łącznika. Pierwsze ramy były ustawiane jeszcze pod pewnym zabezpieczeniem poziomymi rurami o długości 10 m, wykonanymi w ramach przygotowań do drążenia łącznika na długości 6 ram typu 11 i w miejscu, w którym nadkład iłów był stosunkowo gruby. Temu można przypisać fakt ustawienia 3 lub 4 ram typu 1 obudowy tymczasowej. Nie mniej, decyzja o drążeniu tak dużego wyrobiska o powierzchni około 70 m² w niełatwych warunkach geologicznych i hydrogeologicznych, pod będącym w eksploatacji tunelem Wisłostrady była obarczona dużym ryzykiem, którego projektanci i wykonawca nie docenili.

2.4 Prawdopodobne przyczyny wplynięcia nawodnionego gruntu do budowanego łącznika w nocy z 13 na 14 sierpnia 2012

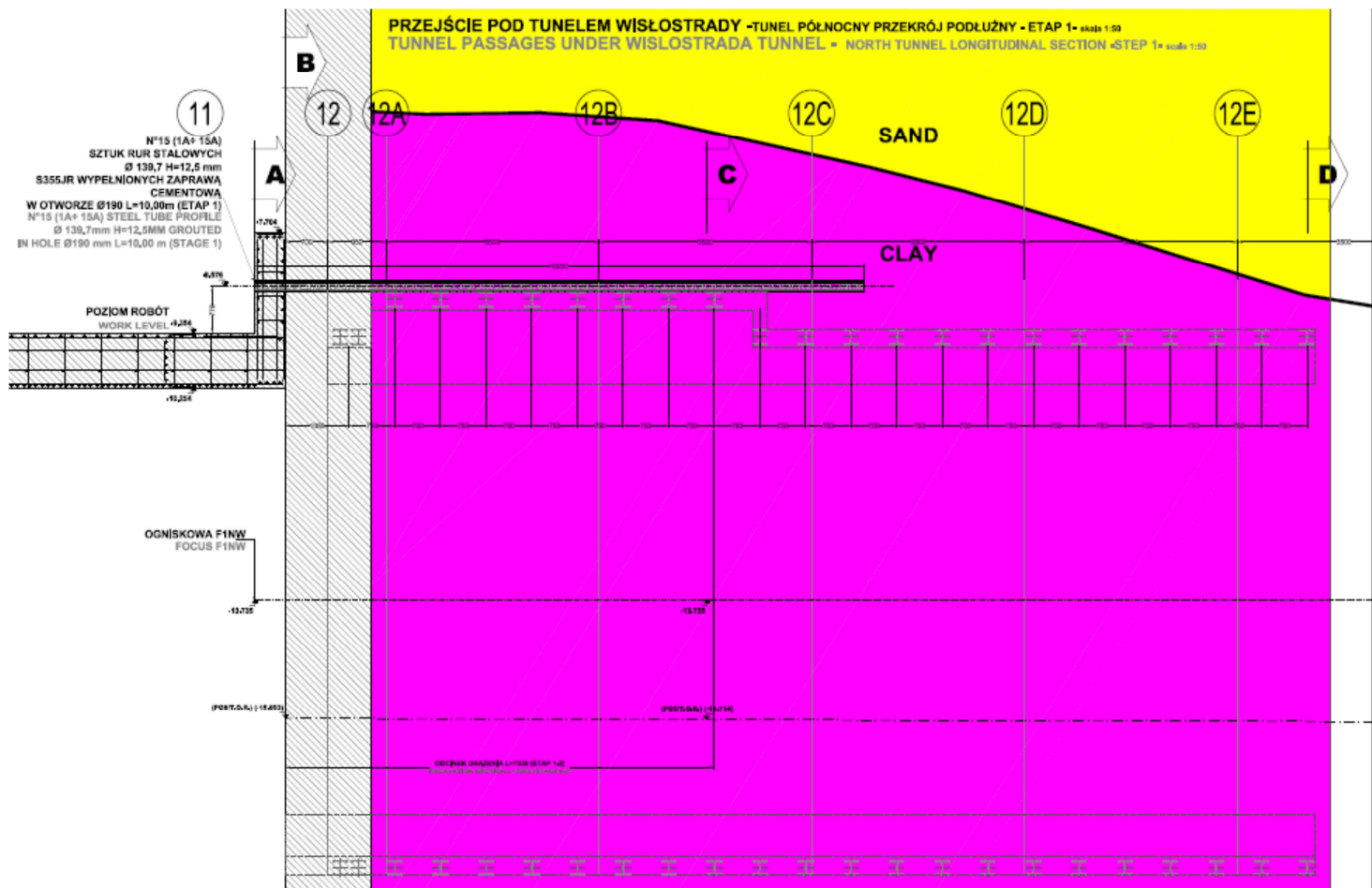
Zazwyczaj awarie nie mają tylko jednej przyczyny. W przypadku zdarzenia, które miało miejsce podczas robót podziemnych przy budowie północnego łącznika jest prawdopodobne, że nałożyły się na nie takie przyczyny jak np. :

- nie wykryte podczas badań wykonanych przez GEOTEKO [XX] i podczas badań uzupełniających w lutym i w marcu 2012, opracowanych przez Zakład Geotechniki i Budowli Podziemnych Politechniki Warszawskiej [XII] lecz mogące wystąpić w iłach niewielkie wkładki słabych gruntów pylastych lub organicznych, silnie nawodnionych. W obu dokumentacjach zwracano uwagę na tę możliwość. Jeśli podczas wykonywania wyrobiska natrafiono by na takie wkładki to następowało by ich wplynięcie do wyrobiska i eskalacja tego zjawiska na większą skalę tj. wplywanie również wyżej leżących warstw nawodnionych piasków. Tym można by tłumaczyć szacowaną objętość około 6500 m³ gruntu, który wypełnił wyrobisko łącznika i dalej przedostał się do zachodniej części stacji,
- jeżeli nawet przyczyną awarii nie było natrafienie na wspomniane przewarstwienia piasku w ile wypełnione wodą, to i tak naszym zdaniem, kolumny „jet grouting”

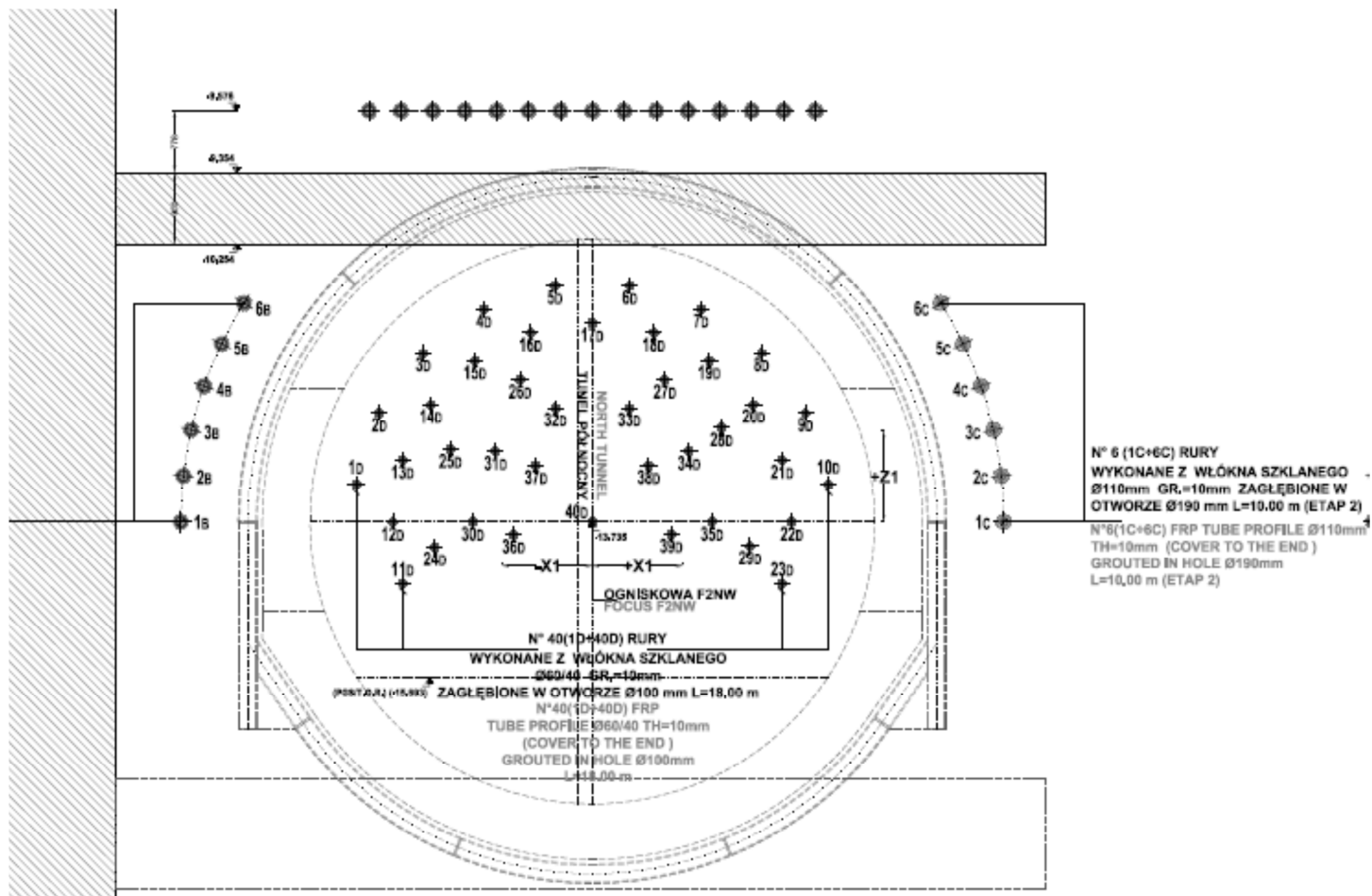
mogły być zbyt krótkie by uszczelnić i wzmocnić warstwy piasków leżące nad łtami plioceńskimi i uchronić wyrobisko przed przebicciem hydraulicznym,

- ewentualne nie osiągnięcie celu w jakim wykonano „parasol ochronny” w postaci kolumn w technologii iniekcji strumieniowej – „jet grouting” nad wyrobiskiem, a więc przede wszystkim uszczelnienie i wzmocnienie gruntu wyprzedzająco nad i przed prowadzonym wyrobiskiem. Udowodnienie hipotezy dotyczącej niedostatecznej jakości tych kolumn i ostateczne ustalenie liczby wykonanych kolumn (patrz uwagi wyżej), wobec nieposiadania stosownej dokumentacji odbiorczej i kontrolnej, w momencie pisania niniejszego opracowania, jest niemożliwe i musi pozostać tylko w sferze przypuszczeń,
- zbyt wczesne przystąpienie do drążenia łącznika bo zaledwie po 3 dniach od wykonania ostatnich kolumn „jet grouting”, w tym 2 najdłuższych – 10 m,
- nie przywiązanie dostatecznej uwagi przez Projektanta do informacji Inspektora Nadzoru o zaobserwowanych znacznych wyciekach wody z otworów kontrolnych we wschodniej części stacji i o deformacjach ściany przodka w drążonym łączniku ze strony zachodniej,
- przyjęcie zbyt dużej powierzchni przekroju poprzecznego wyrobiska. Pomimo licznych konstrukcji zaprojektowanych w celu zapewnienia bezpiecznego wykonania łącznika, wielkość tego przekroju wynosząca w miejscu zdarzenia około 70 m² w okolicznościach, o których była mowa w poprzednim punkcie, wydaje się wskazywać raczej na konieczność prowadzenia robót na dwie warstwy. W takim przypadku górna warstwa urabianego gruntu mogłaby mieć przekrój około 25-30 m². Wymagałoby to zaprojektowania innej konstrukcji ram obudowy tymczasowej.

Podsumowując, nie wskazujemy na jedną przyczynę wystąpienia awarii lecz na różne i prawdopodobnie nie wszystkie okoliczności, które mogły przyczynić się do zaistnienia tego zdarzenia.

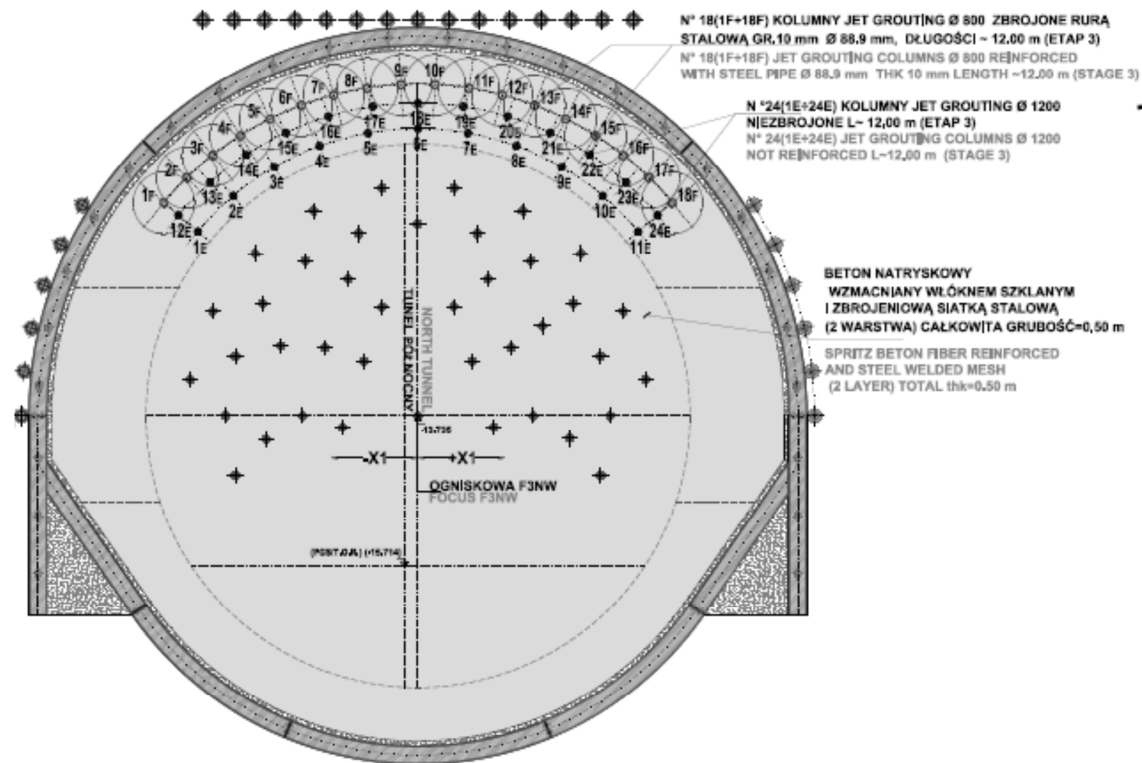


Rys. 2.8 Wstępne prace zabezpieczające drażnienie północnego łącznika – etap 1 – przekrój wzdłużny [II.7]

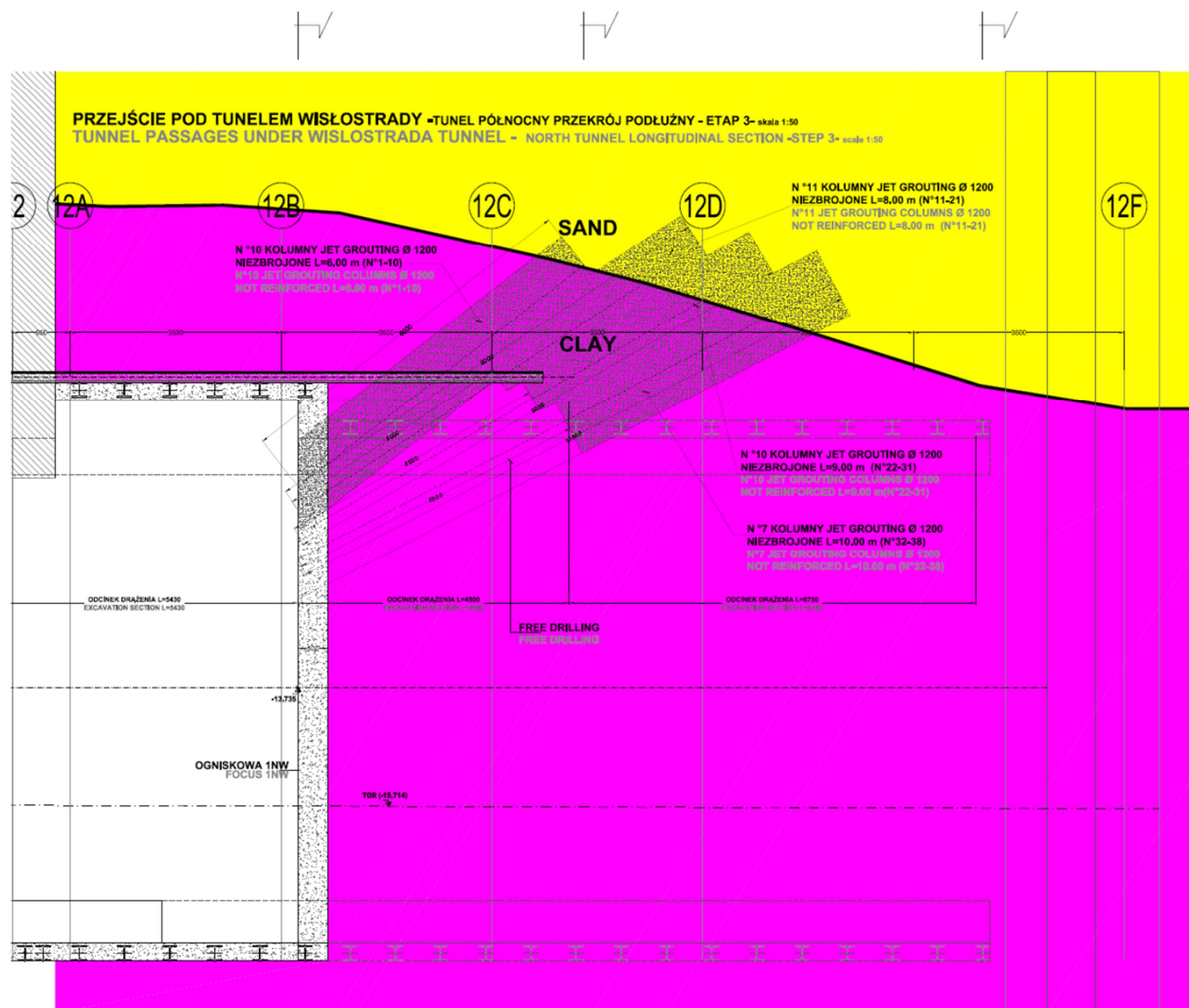


Rys. 2.9 Wstępne prace zabezpieczające drążenie północnego łącznika – etap 2 – przekrój poprzeczny [II.7]

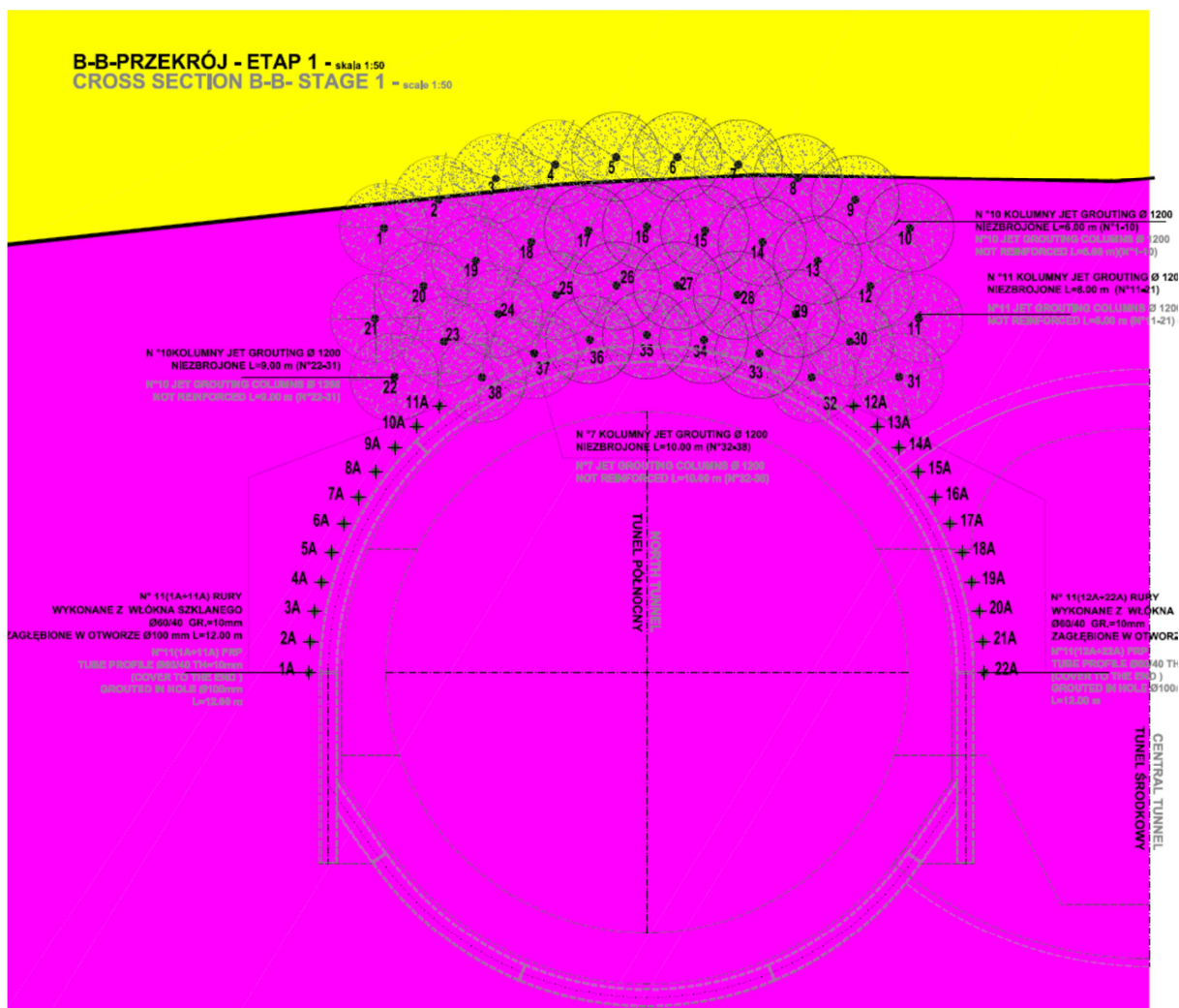
C-C-PRZEKRÓJ - ETAP 3 - skala 1:50
CROSS SECTION -C-C -STAGE 3- scale 1:50



Rys. 2.10 Wstępne prace zabezpieczające drażnienie północnego łącznika – etap 3 – przekrój poprzeczny [II.7]



Rys. 2.11 Zmiana w stosunku do pierwotnych założeń [II.7] odnośnie liczby stalowych ram na pierwszym odcinku drażenia wg [II.12].



Rys. 2.12 Rozmieszczenie kolumn „jet grouting” w przekroju porzecznym na drugim odcinku drążenia północnego łącznika wg [II.12] (UWAGA: zgodnie z dokumentacjami geologicznymi strop iłów zapada w kierunku południowo – zachodnim, a nie jak na rysunku 2.12 w kierunku północnym)

3. Ocena wpływu skutków awarii na stateczność konstrukcji tunelu Wisłostrady

3.1 Opis konstrukcji tunelu Wisłostrady

Tunel drogowy pod Wybrzeżem Kościuszkowskim w Warszawie nazywany w tym opracowaniu Tunelem Wisłostrady wybudowano w latach 1999 – 2001 wg projektu opracowanego przez konsorcjum BMJ Group (BAKS Sp. z o.o. z siedzibą w Warszawie i MESTRA Engineering Ltd. z siedzibą w Helsinkach).

Konstrukcję tunelu, zawierającego 2 x po trzy pasy ruchu, stanowi dwunawowa rama żelbetowa składająca się z rygla tworzącego strop tunelu, który oparty jest na ścianach, zaprojektowanych jako ściany szczelinowe, ze środkowym podparciem w formie baret. W nawach ramy wykonano szczelne wanny żelbetowe, posadowione bezpośrednio na podłożu. Wanny nie są połączone konstrukcyjnie z płytą stropu, a ich ściany, wyprowadzone do wysokości oczepów ścian szczelinowych, są oddzielone od konstrukcji ścian szczelinowych pionową izolacją. Nie ma również połączenia konstrukcyjnego między stropem a ścianami szczelinowymi. Taki układ konstrukcyjny powoduje, że rama tunelu jest znacznie bardziej podatna na przemieszczenia aniżeli sztywny układ ramowy z monolitycznymi węzłami w połączeniach stropu i płyty dennej ze ścianami. Ściany szczelinowe i baretę zabezpieczają wanny przed wyporem wody gruntowej, gdyż ściany wanien wsparte są o oczepy. Przekrój poprzeczny tunelu Wisłostrady w rejonie tuneli metra pokazano na rys. 3.1. Konstrukcję tunelu podzielono na dylatowane między sobą segmenty o długości 17 m każdy. Budowane północny i południowy łącznik tunelu metra na stacji C13 Powiśle przebiegają pod tunelem Wisłostrady w rejonie segmentów oznaczonych jako 4L, 5L, 6L (rys. 3.2)

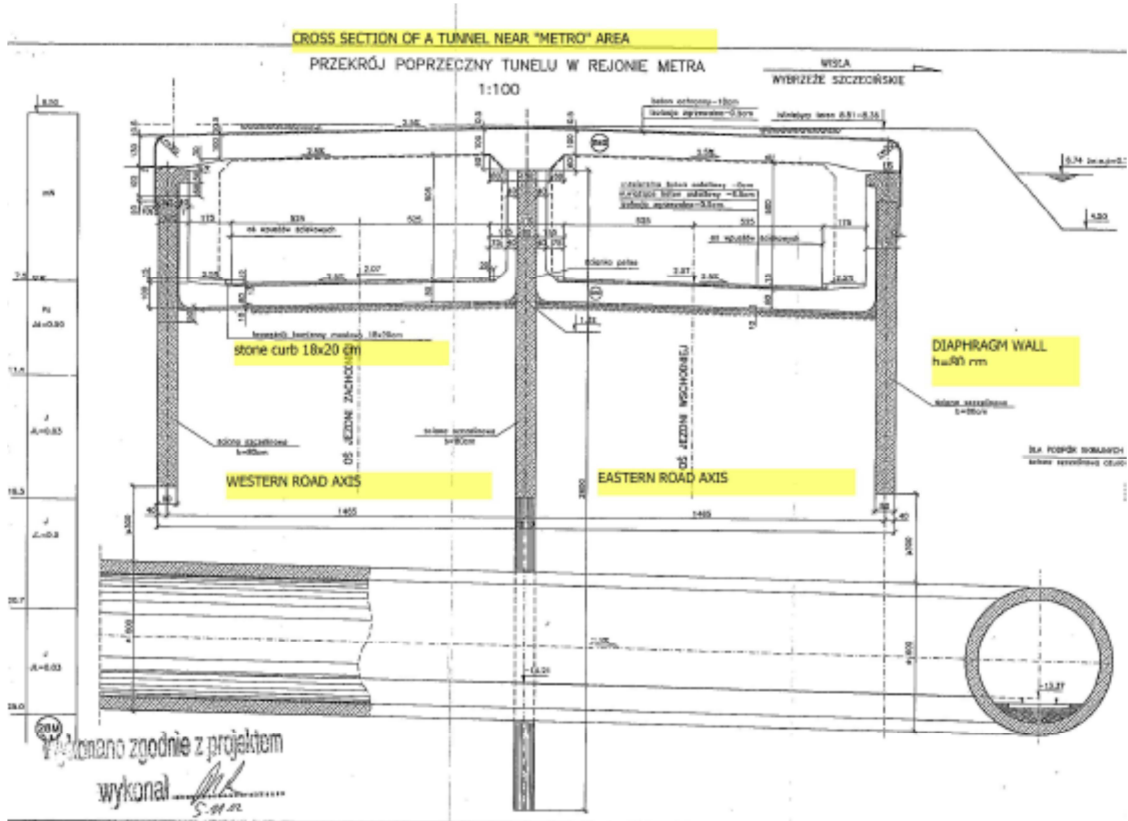
Izolację, wymagających pełnej szczelności wanien żelbetowych wykonano jako nieprzerwaną powłokę bitumiczno – lateksową, zbrojoną siatką wiskozową, układaną na wyrównanych powierzchniach ścian szczelinowych i na podłożu betonowym pod dnem wanny.

3.2 Opis metody budowy tunelu Wisłostrady

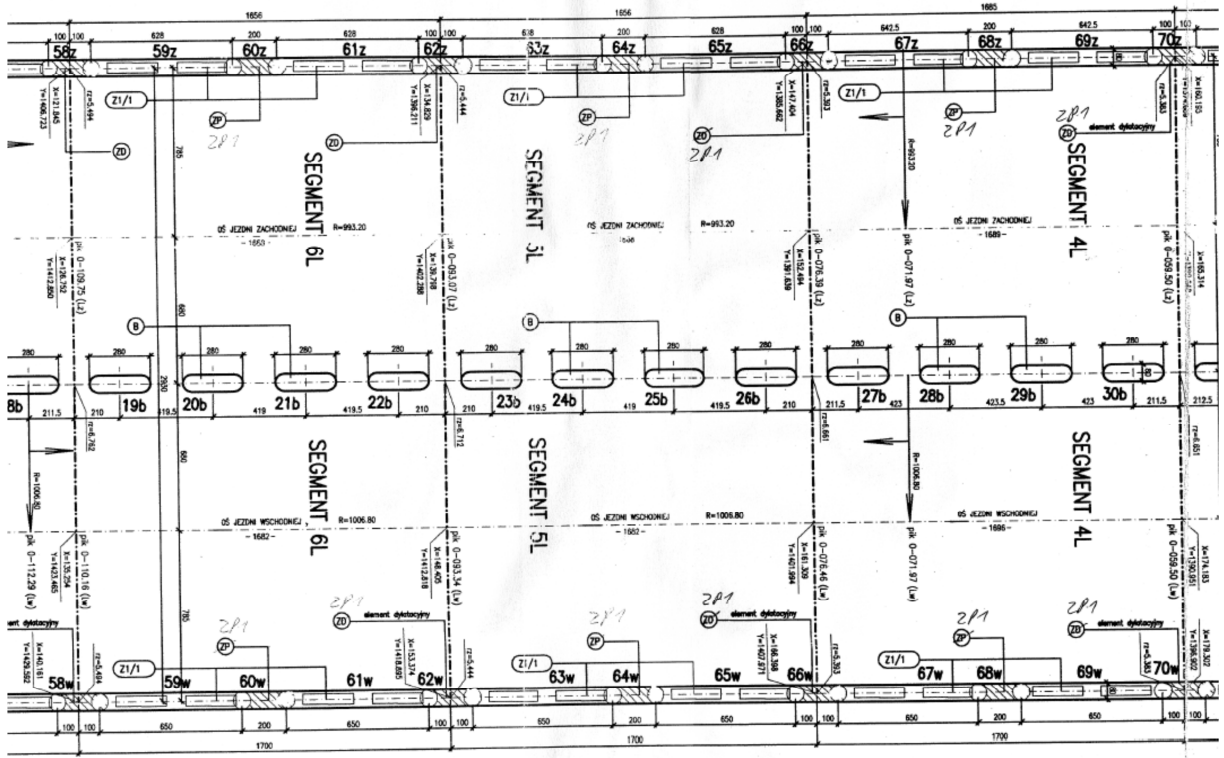
Tunel Wisłostrady budowano tzw. metodą stropową, w następujących fazach:

- wykonanie sekcjami, żelbetowych ścian szczelinowych oraz baret na całej długości tunelu,
- wykonanie oczepów łączących i usztywniających sekcje ścian szczelinowych,
- wykonanie płyty stropowej tunelu z pozostawieniem otworów technologicznych,
- wybranie gruntu pod stropem tunelu do rzędnej posadowienia płyty dennej wanny, z jednoczesnym prowadzeniem odwodnienia na czas budowy,
- wykonanie izolacji płyty dennej i ścian wanny żelbetowej,
- wykonanie konstrukcji wanny żelbetowej tunelu, izolacja zewnętrzna stropu,
- prace wykończeniowe.

Tunele bardzo często stanowią naturalną tamę dla przepływu wód gruntowych. Dlatego, zewnętrzne ściany szczelinowe tunelu Wisłostrady mają głębokość 12 m i 5,5 m, dzięki czemu, pod krótszymi sekcjami możliwa jest filtracja wody pod dnem tunelu ze Skarpy Warszawskiej do Wisły i odwrotnie w przypadku wysokich stanów wody w rzece. W rejonie drążonych tuneli metra są to sekcje o długości ok. 2 m.



Rys. 3.1. Przekrój poprzeczny tunelu Wiślostrady w rejonie tuneli metra [IV.1]



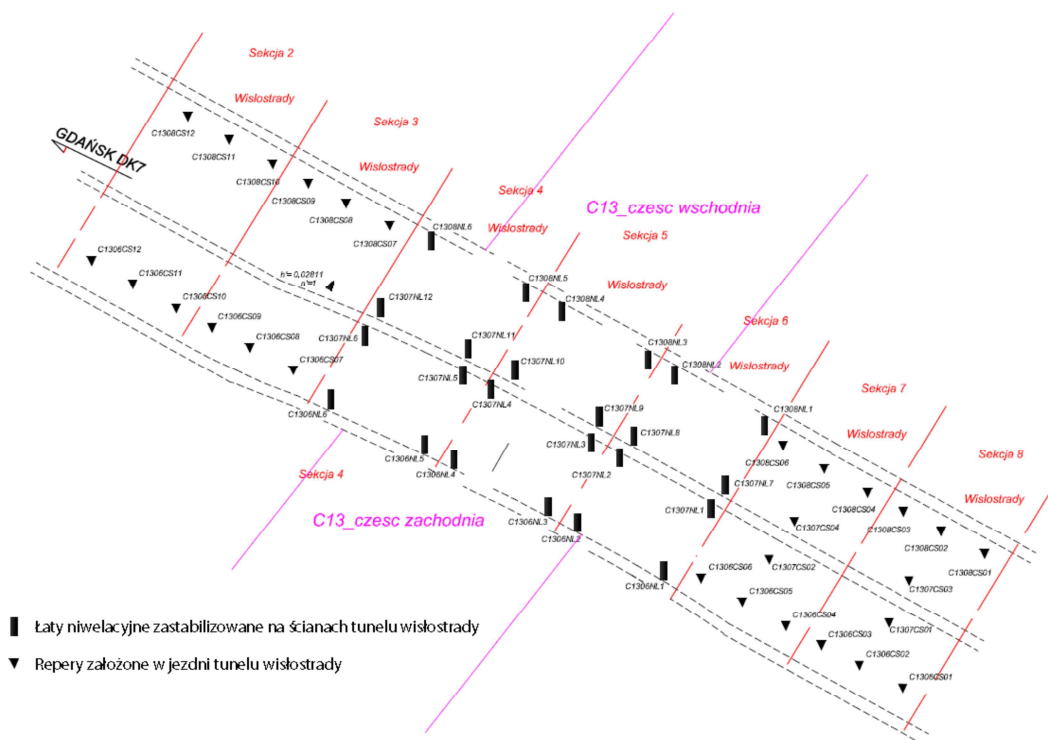
Rys. 3.2 Segmenty 4L, 5L, 6L pod którymi przebiegają tunele metra [III.8]

3.3 Opis monitorowania przemieszczeń tunelu Wisłostrady

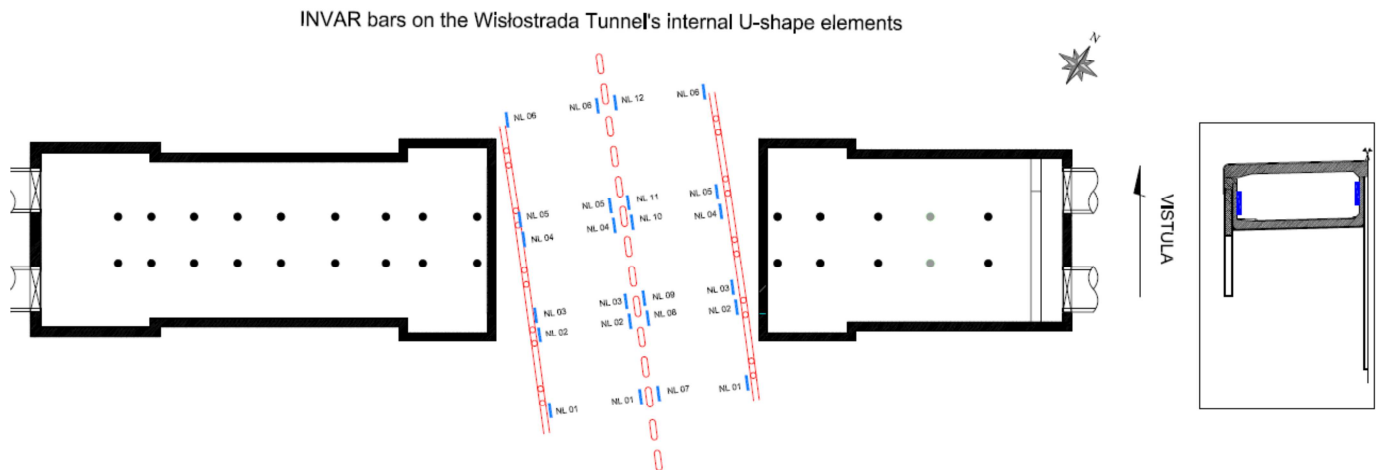
Przed rozpoczęciem drążenia tuneli metra, na obszarze trzech segmentów tunelu Wisłostrady (4L, 5L i 6L), pod którymi przebiegają północny i południowy łącznik oraz na segmentach sąsiednich po północnej (2L i 3L) oraz południowej (7L i 8L) stronie, zainstalowano szereg punktów pomiarowych. Ich lokalizację na jezdniach i na ścianach wianien pokazano na rys. 3.3. Monitorowanie przemieszczeń konstrukcji tunelu Wisłostrady prowadzone jest od 7 sierpnia do chwili obecnej, z wyjątkiem punktów pomiarowych na jezdniach, które obserwowane są od 15.08. 2012r. Pomiary wykonywane są w następujących punktach:

- na reperach zainstalowanych na ścianach wanny wg schematu na rys. 3.4 , w czterech liniach pomiarowych odpowiadającym zewnętrznym i wewnętrznej ścianom wanny tunelu, na długości trzech segmentów tunelu 4L, 5L i 6L,
- w punktach zainstalowanych na jezdni w segmentach sąsiednich 2L, 3L oraz 7L i 8L wg rys 3.3.
- w punktach zainstalowanych na stropie tunelu wg rys. 3.5
- na zewnętrznej powierzchni ścian szczelinowych tunelu Wisłostrady wg rys. 3.7

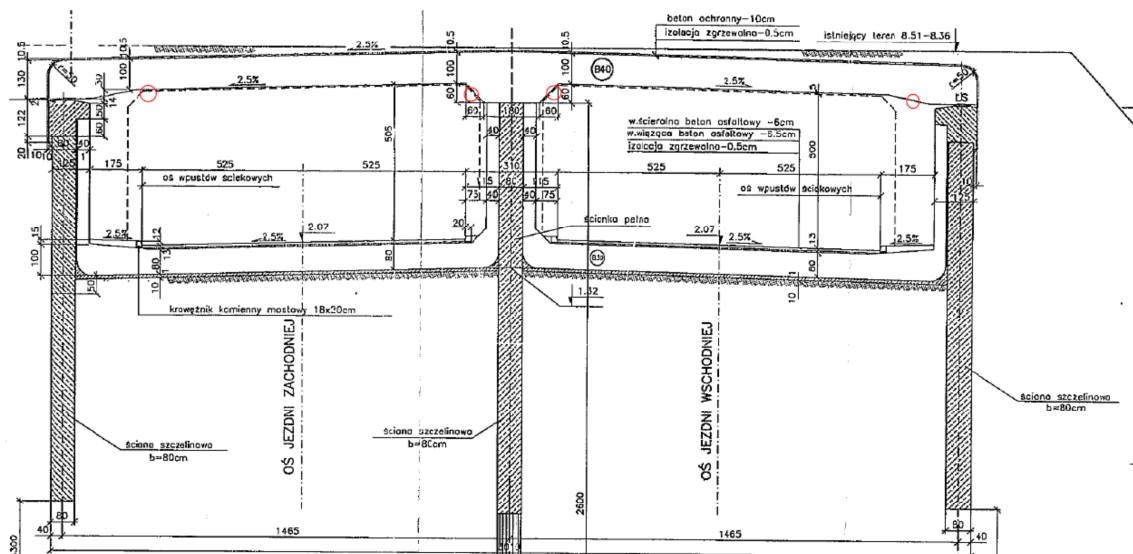
Szkic rozmieszczenia łąt niwelacyjnych zastabilizowanych na ścianach oraz reperów zastabilizowanych w jezdni tunelu wisłostrady



Rys. 3.3 Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych w trzech segmentach tunelu Wisłostrady nad budowanymi łącznikami metra [XV.1]

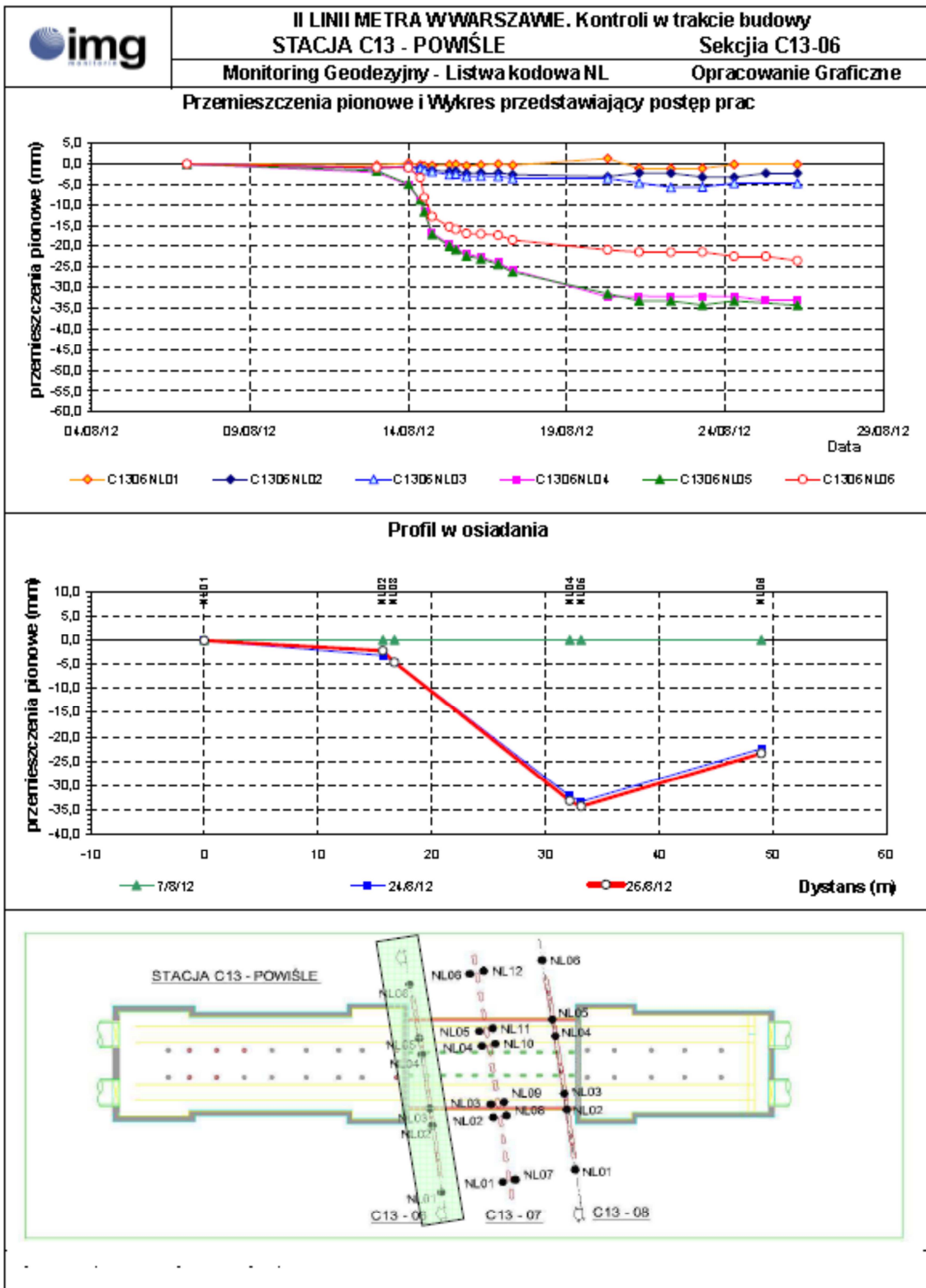


Rys. 3.4 Lokalizacja reperów na ścianach wanien [XV.1]



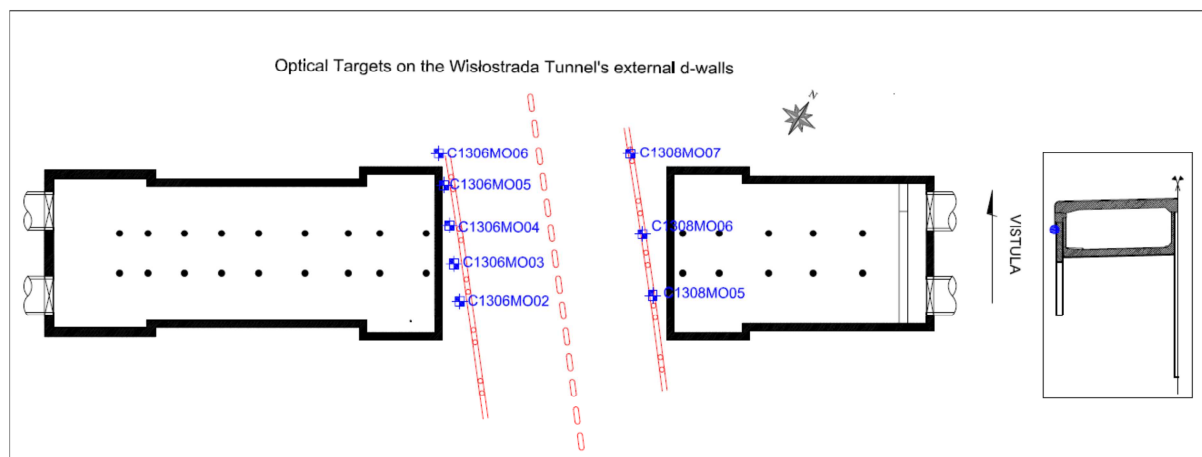
Rys. 3.5 Lokalizacja reperów (pryzmatów) na stropie tunelu Wislostrady [XV.3]

Przykładowy wydruk z prowadzonego monitoringu wanien pokazano na rys. 3.6. Takie same wykresy osiadania są opracowywane dla każdej linii pomiarowej zainstalowanej na wannach tunelu. Pomiary przemieszczeń stropu odpowiadają osiadaniom ścian szczelinowych tunelu i są zbieżne z wynikami pomiarów na reperach zewnętrznych zainstalowanych na ścianach zewnętrznych tunelu (rys. 3.7).



Uwagi/notes: Niwelacja trygonometryczna dokładność +/- 1.5mm. Pomiarzy przy pomocy stacji bazowej od 20.08.2012/
 Trigonometric leveling accuracy +/- 1.5mm. Measurements with total station from 20.08.2012

Rys. 3.6 Przykładowy wydruk z rejestracji osiadania linii 06 w tunelu Wiślostrady, znajdującej się najbliżej miejsca awarii [XV.1], linia 07 odpowiada środkowej ścianie, a linia 08 ścianie wschodniej



Rys. 3.7 Położenie reperów na zewnętrznej powierzchni ścian szczelinowych tunelu Wisłostrady [XV.4]

3.4 Analiza wyników przemieszczeń tunelu Wisłostrady

Jak wspomniano w punkcie 3.3 obserwacje konstrukcji tunelu były prowadzone od 7 sierpnia 2012 r i do momentu awarii w nocy z 13 na 14 sierpnia nie przekraczały jednego do kilku milimetrów w każdym z mierzonych punktów, a więc mieściły się w granicach błędu pomiaru.

Bezpośrednio po awarii największy przyrost przemieszczeń stwierdzono w osiach 06 i 07 na reperach zainstalowanych na ścianach segmentu 4L, 5L i 6L, a konkretnie w punktach położonych w sąsiedztwie dylatacji między segmentem 4L i 5L w zachodniej wannie tunelu Wisłostrady (rys. 3.6). Od 14.08. godz. 5.00 do 17.08. godz. 7.00, czyli przez trzy doby, konstrukcja zachodniej wanny osiadła o 20 mm, a wschodniej o 17 mm. Następnie przyrost osiadania był powolniejszy i do 29.08. br. ustabilizował się na wartości około 35 mm w wannie zachodniej i 23 mm wschodniej. Od 29.08. br. stwierdza się powolny przyrost osiadania w granicach 1 mm/dobę.

Wg ostatniego odczytu z 12 września br. zachodnia wanna od momentu awarii osiadła równomiernie o około 42 mm, a wschodnia o 27 mm przy ścianie środkowej i 14 mm przy ścianie wschodniej, a więc we wschodniej wannie ten przyrost osiadania nie jest równomierny na szerokości wanny.

Reasumując, konstrukcje wanien znajdują się w stanie równowagi chwiejnej. Najprawdopodobniej zaklinowały się na ścianach szczelinowych i pomiędzy sobą w dylatacjach. Za korzystny dla zachowania tego stanu można uznać równomierny charakter osiadania na szerokości zachodniej wanny oraz w każdym z punktów pomiarowych sąsiadujących z dylatacją między segmentami 4L i 5L.

Ze względu na opisaną w punkcie 3.1. konstrukcję tunelu Wisłostrady, osiadania wanien są niezależne od przemieszczeń stropu i zewnętrznych ścian szczelinowych. Osiadania stropu nie przekraczają 9 mm w tunelu zachodnim i 5 mm w tunelu wschodnim. Pomiarzy na zewnętrznych powierzchniach ścian szczelinowych wykazują osiadania w granicach 3 mm.

Przemieszczenia reperów zainstalowanych na jezdniach w sąsiednich segmentach (2L i 3L oraz 7L i 8L) nie przekraczają kilku milimetrów, co oznacza, że wpływ awarii i ubytek dużej objętości gruntu spod płyty dennej zachodniej wanny jest ograniczony tylko do trzech segmentów tunelu.

3.5 Przyjęty przez Wykonawcę sposób wypełnienia ubytków gruntu pod tunelem Wisłostrady

Pod płytą denną obydwu wanien, 2m poniżej ich dolnej krawędzi znajduje się woda wypełniająca niecki powstałe po wyflukaniu gruntu. Wanny nie są oparte na podłożu na długości około 50 m – wanna wschodnia i 60 m zachodnia. Przed opracowaniem sposobu wypełnienia tych ubytków wykonano badania georadarem oraz badania sejsmiczne, a także zdjęcia pustej przestrzeni pod zachodnią i wschodnią wanną. Dodatkowo przeprowadzono inspekcję w części stacji zalanej gruntem i wodą korzystając z pomocy nurka. Wykonawca zaprezentował, w postaci odpowiednich przekrojów wzdłużnych i poprzecznych przez zachodnią część stacji C13, stan jej wypełnienia gruntem pochodzącym z zawału [XVIII]. Na podstawie tych danych Wykonawca II linii metra, firma AGP, wykonał projekt uzupełnienia ubytków i wzmocnienia podłoża pod tunelem Wisłostrady [XVII], który przedstawił opiniodawcom na spotkaniu 10 września br. Zaproponowany sposób usunięcia awarii polega na stopniowym, w kilku fazach, wypełnianiu ubytku gruntu o objętości około 6500 m³ pod zachodnią (na długości około 60 m) i wschodnią (na długości około 50 m) wanną tunelu, tłoczonymi pod niskim ciśnieniem samopoziomującymi się mieszankami betonowymi typu A i B, o odpowiednio dobranej recepturze i wytrzymałości na ściskanie nie mniejszej niż 3 MPa. Kolejne etapy oraz czynności kontrolne zostały szczegółowo opisane w cytowanym wyżej dokumencie [XVII]. Autorzy niniejszej ekspertyzy pozytywnie zaopiniowali przedstawioną koncepcję, zakładając, że podczas wykonywania prac będzie prowadzony szczegółowy nadzór inwestorski nad postępem robót, ewentualnymi zmianami w harmonogramie kolejnych etapów tłoczenia mieszanek betonowych i recepturach oraz nad dodatkowymi badaniami uszczegółowiającymi podane w dokumentacji dane. W piśmie rekomendującym zaproponowany przez Wykonawcę sposób wypełnienia, autorzy ekspertyzy zwrócili uwagę na konieczność dalszego monitorowania przemieszczeń płyty dennej obydwu wanien oraz ścian szczelinowych tunelu Wisłostrady na zewnętrznych ich powierzchniach. W chwili pisania niniejszego opracowania rozpoczęto wypełnianie ubytków przez otwory pod krótszymi sekcjami ścian szczelinowych (o długości 5,5 m), wydłużono też czas podawania mieszanki typu A, o objętości około 200 m³ dziennie, do 8 dni

Odrębnym zagadnieniem pozostaje sposób usuwania z zachodniego korpusu stacji C13 wody i gruntu oraz wpływ tej fazy robót na stateczność tunelu Wisłostrady. Naszym zdaniem będzie to możliwe dopiero po wykonaniu przewidzianych w projekcie prac, kontroli stanu podłoża pod tunelem. Dopiero po uzyskaniu całkowitej pewności, że prace pod tunelem i w zachodniej części stacji zostały wykonane prawidłowo i że przedstawiony będzie realistyczny projekt budowy całego łącznika (północnego, południowego i centralnego) zapewniający najwyższy stopień bezpieczeństwa prowadzenia robót wykonawczych, możliwe będzie rozważenie dopuszczenia ruchu samochodowego w tunelu Wisłostrady.

4. Wytyczne i zalecenia dotyczące technologii wykonania łączników tunelowych stacji metra C13

Jakiegokolwiek prace projektowe powinny być poprzedzone dokładnym rozpoznaniem efektów prowadzonych prac mających na celu wypełnienie ubytków gruntu powstałych pod tunelem Wisłostrady w wyniku zdarzenia z 13 na 14 sierpnia 2012 r. Aby móc wypowiedzieć się na temat metod odbudowy północnego łącznika pomiędzy zachodnią a wschodnią częścią stacji C13 oraz dostosowanych do nich technologii niezbędna jest, między innymi, znajomość jakości zakresu wykonanych prac, omówionych w punkcie 3.5, aktualnego

przebiegu stropu itów na długości łącznika i w jego otoczeniu, rodzaju i granulometrii gruntu wypełniającego wykonane wyrobisko łącznika.

Proponując metodę wykonania północnego łącznika, a nie mając takich ww. danych przyjęto założenie, że strop itów pod zachodnią jezdnią tunelu Wisłostrady doznał bardzo znacznego zaburzenia na tyle, że został wymyty aż do spągu wykonanego wyrobiska i zmieszany z piaskiem z warstw wyżej leżących wpłynął do zachodniego korpusu stacji. W części przyszłego łącznika pod wschodnią jezdnią tego tunelu przebieg stropu itów, być może, nie uległ istotnym zmianom w stosunku do stanu sprzed awarii. Dalszym założeniem jest, że wpływający grunt wypełnił wyrobisko całkowicie, aż do stropu wykonanej obudowy tymczasowej zachodniej części łącznika. Przyjęto też, że gruntem tym jest piasek drobnoziarnisty.

Proponujemy budowę, a w części zachodniej częściową odbudowę łącznika, rozpoczynając od wschodniej części stacji w kierunku zachodnim. Przebieg prac wyglądałby następująco :

- W części zachodniej stacji – wykonać przegrodę w osi 12A w postaci kolumn „jet grouting”, zbrojonych stalowymi rurami. Tam gdzie geometria przestrzeni między czołową ścianą szczelinową stacji a ścianą szczelinową tunelu Wisłostrady na to pozwala wykonać tę przegrodę z podwójnego rzędu kolumn.
- W części wschodniej stacji :
 1. Wykorzystać wykonany wcześniej „ochronny parasol” w postaci 12 - metrowych kolumn „jet grouting”. Zweryfikować szczelność gruntu pod ww. „parasolem” z uwagi na przywołany wcześniej wpis Inspektora Nadzoru do Dziennika budowy dotyczący znacznych wycieków wody z otworów kontrolnych. Jeśli to będzie konieczne – należy wykonać dodatkowe kolumny „jet grouting” lub doszczelnić za pomocą iniekcji niskociśnieniowej.
 2. Wyciąć ścianę szczelinową wg zarysu górnej części przekroju przyszłego wyrobiska do poziomu odpowiadającemu połączeniu segmentów A i B ram obudowy tymczasowej i rozpocząć urabianie gruntu, ustawianie kolejno ram obudowy tymczasowej i wykonanie betonu natryskowego. Z uwagi na bardzo duże wymiary wyrobiska w przekroju poprzecznym, rzędu 70 m², zalecamy drążenia wyrobiska łącznika w 3 warstwach. Dlatego też, chcąc wykorzystać składowane na placu budowy stalowe ramy, sugerujemy uzupełnić segment B w odpowiednią stopę do oparcia na gruncie wraz z jej usztywnieniem
 3. Wykonywać wyrobisko i jego obudowę pozostawiając w centralnej części przyporę gruntową, która oprócz natryskiwania betonu (ok.10 cm) na ścianę przodka stanowić będzie dodatkowy czynnik zapewniający jej stateczność. Należy zachować rozstawy ram i grubość betonu natryskowego jak w projekcie. Tak postępując wykonać ok. 6 m wyrobiska i zakończyć je ścianą ze zbrojonego betonu natryskowego.
 4. Wykonać drugi etap „parasola ochronnego” w postaci kolumn „jet grouting”, podobnie jak w projekcie, dochodzącego do baret tunelu Wisłostrady i jeśli to możliwe, przewiercając się przez nie na odległość 2 do 3 m poza nie.
 5. Po usunięciu ściany ze zbrojonego betonu natryskowego kontynuować prace jak w punkcie 3.
 6. Z odległości 2-3 m od baret wykonać poziome sondowania rozpoznawcze gruntu przed czołem przodka w celu upewnienia się co do jego rodzaju. Jeśli będą to ity – zbliżyć wyrobisko do baret i wybudować kolejną ścianę z betonu natryskowego. Powinna ona być odpowiednio wzmocniona stalowymi przyporami.
 7. Przez tę ścianę i baretę (barety) wykonać uszczelnienie i wzmocnienie gruntu za nimi, w części pod zachodnią jezdnią Wisłostrady na odległość co najmniej kilku metrów. Rodzaj

iniekcji i iniektu należy dobrać do granulometrii gruntu wypełniającego zawał. Obszar - bryła zainiektowanego gruntu powinien być tak zaprojektowany aby umożliwił bezpieczne wykonanie w nim sztolni o przekroju poprzecznym, umożliwiającym wykonywanie z niej iniekcji zarówno w układzie promienistym jak i przed czołem przodka. Proponuje się sztolnię na ramach stalowych z poszyciem drewnianym.

8. Wybudować ww. sztolnię na odległość kilku metrów od baret w kierunku zachodnim, podpierając przeciętą baretę podwójną ramą stalową.

9. Ze sztolni prowadzić systematyczne iniektowanie gruntu zawału stosując metodę *tube à manchette* (rurka mankietowa) w układzie promienistym otworów iniekcyjnych. Iniekcja powinna objąć bryłę gruntu sięgającą ok. 3 m poza zewnętrzny zarys wyrobiska łącznika.

10. Powtarzając powyższe czynności, dojść ze sztolnią aż do przegrody wykonanej w osi 12A wykonując bieżącą kontrolę skuteczności uszczelnienia gruntu i osiągnięcia projektowanej jego wytrzymałości.

11. Odpompować wodę i usunąć grunt ze środka zalanej zachodniej części stacji.

12. Od strony zachodniej usunąć górną część przegrody do poziomu połączenia segmentów A i B ram obudowy tymczasowej.

13. Rozpocząć urabianie zainiektowanego gruntu w kalocie pod, być może, zachowaną obudową łącznika na długości pierwszych 6 ram typu 11. Gdyby ta obudowa się nie zachowała w stanie zapewniającym stateczność wyrobiska – przystąpić do jej wymiany w górnej części. W przypadku stwierdzenia, że jest w dobrym stanie – kontynuować drażnienie łącznika cały czas w górnej jego części zachowując krok urabiania, stawiania segmentów ram A i B i wykonywania betonu natryskowego jak w projekcie. Należy przy tym zwracać uwagę na zachowanie stateczności przodka utrzymując przyporę gruntową w części środkowej i po każdym ustawieniu ramy – natryskiwać na ścianę gruntową warstwę betonu. Tak postępując – dojść do baret tunelu Wisłostrady.

Następnie w obu częściach przejścia pod tym tunelem można jednocześnie prowadzić dalsze prace tj.:

15. Wykonać przekop ze skarpami, w części środkowej przekroju poprzecznego łącznika, do poziomu podparcia segmentu E ram obudowy tymczasowej. Pozostawić półkę o szerokości około 2 m w poziomie podparcia wyżej postawionych ram – poziom spodu segmentu B.

16. Na przemian wkopywać się w kierunku poprzecznym do osi łącznika na szerokość około 2 m i podeprzeć wyżej stojące części ram (2 do 3) segmentem E. Czynność tę wykonywać tylko po jednej stronie tak, by te chwilowo nie podparte ramy po stronie ich przeciwnej opierały się jeszcze na gruncie. Zaleca się też by opisane roboty ustawiania części E ram odbywały się na zmianę – raz po jednej stronie a raz po drugiej tzn., że nie można dopuścić do sytuacji aby 2 lub 3 te same ramy były nawet na chwilę niczym nie podparte. Ważne jest też, aby nie prowadzić tych robót w kolejnych przekrojach lecz w pewnym oddaleniu od siebie.

17. Po ustawieniu części ram E i po natychmiastowym ich obetonowaniu można przystąpić do pogłębiania wyrobiska w celu zmontowania segmentów D, spągowej części obudowy tymczasowej i do uzupełnienia jej betonem natryskowym.

18. Po zakończeniu tych wszystkich robót wykonać przebicie przez barety tunelu Wisłostrady podpierając ich górną część podwójnymi ramami stalowymi – jak w projekcie SGS.

19. Wykonać stałą, żelbetową obudowę łącznika.

Przebieg faz budowy łącznika północnego, jaki zaproponowano powyżej uległby modyfikacji, jeśli okazałoby się niemożliwe uzyskanie za pomocą kolumn „jet grouting” dostatecznej ochrony wyrobiska w części pod wschodnią jezdnią tunelu Wisłostrady, co mogło by prowadzić do powtórzenia się awarii z sierpnia br. Wiedzy na temat skuteczności działania „parasola” z kolumn „jet grouting” powinny dostarczyć stosowne badania kontrolne, których zakres należałoby określić w odpowiedniej specyfikacji.

Ewentualna modyfikacja polegałaby na wykonaniu iniekcji niskociśnieniowych uszczelniających i wzmacniających dolną część warstwy piasków zalegających nad łożami. Należałoby prowadzić tę operację albo poprzez zachodnią ścianę szczelinową wschodniej części stacji albo, po pozytywnej weryfikacji skuteczności „parasola” z kolumn „jet grouting” opisanego powyżej w punkcie 1. – przez ścianę z betonu natryskowego opisaną w punkcie 3.

Innym sposobem mogłoby być zastosowanie sztucznego zamrażania gruntu, który wpłynął do wnętrza wyrobiska, za pomocą ciekłego azotu.

Niezależnie od ostatecznie wybranej metody, w obecnym stanie wiedzy należy, naszym zdaniem, zachować daleko idącą ostrożność w prowadzeniu prac rekonstrukcyjnych pod tunelem Wisłostrady i nie przesądzać już dziś o możliwości ich wykonywania w warunkach otwarcia w nim ruchu.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Budowa trzech łączników tuneli metra na stacji C13 pod istniejącym tunelem Wisłostrady w złożonych warunkach geotechnicznych jest trudnym zadaniem inżynierskim, obarczonym dużym ryzykiem wynikającym zarówno z czynników naturalnych (warunki geologiczne) jak i technicznych (przyjęta metoda i technologia wykonania).

Do czynników sprzyjających wystąpieniu awarii, która zdarzyła się w nocy z 13 na 14 sierpnia 2012 r można między innymi zaliczyć:

- Złożone warunki geotechniczne (budowę zakwalifikowano do III kategorii geotechnicznej). Drążenie wyrobiska stosunkowo dużym przekrojem (około 70 m²) odbywało się na styku dwóch warstw geotechnicznych o bardzo różniących się cechach mechanicznych – łożów plicieńskich, które są korzystnym podłożem do prowadzenia robót podziemnych oraz nawodnionych piasków drobnych i pylistych z napiętym zwierciadłem wód gruntowych. Może być prawdopodobne, że nieco inny wzajemny układ tych warstw był jednym z czynników, które mogły wpłynąć na powstanie analizowanej awarii.
- Nie wykryte podczas badań, lecz mogące wystąpić w łożach niewielkie wkładki słabych gruntów pylistych lub organicznych, silnie nawodnionych. Jeśli podczas wykonywania wyrobiska natrafiono by na takie wkładki to następowało by ich wpynięcie do wyrobiska i eskalacja tego zjawiska na skutek przebicia hydraulicznego na większą skalę tj. wpływanie również wyżej leżących warstw nawodnionych piasków. Tym można by tłumaczyć szacowaną objętość około 6500 m³ gruntu, który wypełnił wyrobisko łącznika i dalej przedostał się do zachodniej części stacji,
- Ewentualne nie osiągnięcie celu w jakim wykonano „parasol ochronny” w postaci kolumn „jet grouting” nad wyrobiskiem, a więc przede wszystkim uszczelnienie i wzmocnienie gruntu wyprzedzająco nad i przed prowadzonym wyrobiskiem. Udowodnienie hipotezy dotyczącej niedostatecznej jakości tych kolumn i ostateczne

ustalenie liczby wykonanych kolumn (patrz uwagi w punkcie 3.4.), wobec nieposiadania stosownej dokumentacji odbiorczej i kontrolnej, w momencie pisania niniejszego opracowania, jest niemożliwe i musi pozostać tylko w sferze przypuszczeń,

- Zbyt wczesne przystąpienie do drążenia łącznika bo zaledwie po 3 dniach od wykonania ostatnich kolumn „jet grouting”, w tym 2 najdłuższych – 10 m.
- Nie przywiązanie dostatecznej uwagi przez Projektanta do informacji Inspektora Nadzoru o zaobserwowanych znacznych wyciekach wody z otworów kontrolnych we wschodniej części stacji i o deformacjach ściany przodka w drążonym łączniku ze strony zachodniej,
- Przyjęcie zbyt dużej powierzchni przekroju poprzecznego wyrobiska. Pomimo licznych konstrukcji zaprojektowanych w celu zapewnienia bezpiecznego wykonania łącznika, wielkość tego przekroju wynosząca w miejscu zdarzenia około 70 m² w okolicznościach, o których była mowa w punkcie 2.4, wydaje się wskazywać raczej na konieczność prowadzenia robót na dwie warstwy. W takim przypadku górna warstwa urabianego gruntu mogłaby mieć przekrój około 25-30 m². Wymagałoby to zaprojektowania innej konstrukcji ram obudowy tymczasowej.

Zazwyczaj awarie nie mają tylko jednej przyczyny. Analizując wydarzenie z 14 sierpnia 2012 r, które miało miejsce podczas robót podziemnych przy budowie północnego łącznika stacji C13 „Powiśle”, można przyjąć jako prawdopodobne nałożenie się kilku czynników. Nie wskazujemy więc na jedną przyczynę awarii lecz na różne okoliczności, które przyczyniły się do jej wystąpienia. Dopiero po uzyskaniu całkowitej pewności, że prace pod tunelem i w zachodniej części stacji zostały wykonane prawidłowo i że przedstawiony będzie realistyczny projekt budowy całego łącznika (północnego, południowego i centralnego) zapewniający najwyższy stopień bezpieczeństwa prowadzenia robót wykonawczych, możliwe będzie rozważenie dopuszczenia ruchu samochodowego w tunelu Wisłostrady.

Na koniec należy zwrócić uwagę, że budowa dwóch pozostałych łączników (południowego i centralnego) będzie odbywać się w jeszcze trudniejszych warunkach gruntowych i wodnych.