



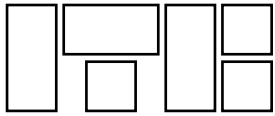
Instytut Techniki Budowlanej

00-611 Warszawa, ul. Filtrowa 1, tel. 22 825-04-71, fax. 22 825-52-86

**Ekspertyza dotycząca przyczyn powstania
awarii na budowie stacji C13 II linii metra
w Warszawie**

**Nr Umowy 236/IP/12
2013/12/Z00NG**

WARSZAWA wrzesień 2012



INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ
00-611 Warszawa, ul. Filtrowa 1

Skrytka pocztowa 998
Telefony: Dyrektor - 825-13-03
Centrala - 825-04-71

ZAKŁAD GEOTECHNIKI I FUNDAMENTOWANIA

Tytuł pracy: Ekspertyza dotycząca przyczyn powstania awarii na budowie stacji C13 II linii metra w Warszawie

Nr pracy usługowej: 236/IP/12 / 2013/12/ZOONG

Zleceniodawca:

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

Wykonawcy:

Kierownik Zespołu: dr n. t. Stanisław Łukasik

Zespół w składzie: dr n. t. Stanisław Łukasik upr. geol. VII-1139
dr inż. Tomasz Godlewski upr. geol. VI-0397
mgr Konrad Chada
mgr Łukasz Kaczyński
techn. Jolanta Sobiech

Prace rozpoczęto: wrzesień 2012 r.
zakończono: wrzesień 2012 r.

Wykonano w ilości 3 egzemplarzy + egzemplarz archiwalny

Spis treści

1	Wstęp.....	3
2	Cel i przedmiot ekspertyzy	3
3	Podstawa merytoryczna	3
4	Analiza przyczyn powstania awarii	5
4.1	Ogólna charakterystyka stacji C13.....	5
4.2	Chronologia robót i zdarzeń na budowie C13 (Powiśle)	7
5	Ocena wpływu skutków awarii na stateczność konstrukcji tunelu Wisłostrady.....	10
5.1	Konstrukcja tunelu Wisłostrady.....	10
5.2	Skutki awarii	11
5.3	Analiza przemieszczeń.....	13
5.4	Ocena wpływu	15
6	Zalecenia dotyczące metod i technologii zabezpieczenia tunelu Wisłostrady oraz budowy łącznika tunelu stacji C13	16
7	Wnioski	19

1 Wstęp

Niniejsza ekspertyza została wykonana na podstawie umowy 236/IP/12 (nr w ITB 2013/12/ZOONG) zawartej w dniu 31.08.2012 roku pomiędzy Miastem Stołecznym Warszawa w imieniu, którego działa Metro Warszawskie Sp. z o.o. z siedzibą w Warszawie, ul. Wilczy Dół 5 a Instytutem Techniki Budowlanej z siedzibą w Warszawie, ul. Filtrowa 1.

2 Cel i przedmiot ekspertyzy

Celem ekspertyzy jest ocena przyczyn awarii powstałej na budowie stacji C13 (Powiśle) II linii metra oraz jej wpływ na tunel drogowy Wisłostrady. Awaria polegała na niekontrolowanym wypływie nawodnionego gruntu z przodka drążonego tunelu do zachodniej części stacji C13. W wyniku awarii zostało zniszczone wzmocnienie gruntu wykonane metodą jet-grouting na drążonym tunelem łącznika między częścią zachodnią a wschodnią stacji. Przez powstałą wyrwę w obudowie zalegające wyżej nawodnione grunty zostały przemieszczone do wnętrza zachodniej części stacji C13. W efekcie końcowym powstała pustka pod kilkoma sekcjami tunelu Wisłostrady

Przedmiotem ekspertyzy są dwa obiekty, tj. łącznik zachodniej i wschodniej części stacji Powiśle (C13) oraz drogowy tunel Wisłostrady. Charakterystykę obiektów opracowano w oparciu o przekazaną dokumentację powykonawczą tunelu Wisłostrady oraz projekty i rysunki wykonawcze stacji C13.

3 Podstawa merytoryczna

Ekspertyzę opracowano na podstawie:

- ✓ wizji lokalnych,
- ✓ materiałów archiwalnych przekazanych przez Zleceniodawcę (dokumentacje, projekty),
- ✓ pomiarów z monitoringu geodezyjnego,
- ✓ wyników badań podłoża tunelu Wisłostrady metodą georadarową, sejsmiczną (MASW) przekazane przez AGP,
- ✓ wyjaśnień AGP w trakcie spotkań informacyjnych dotyczących projektowanych działań przez Wykonawcę,
- ✓ własnych analiz dostarczanych materiałów.

Spis wykorzystanych materiałów:

- [1] Projekt zabezpieczenia odcinka tunelu Wisłostrady (III/C13/0,28), AGP, Warszawa, wrzesień 2012r.
- [2] Projekt geotechniczny i konstrukcyjny. Raport i obliczenia. Tunel metra pod tunelem Wisłostrady. Warszawa, maj 2012, E-SGS-E-C13-GEO-REP-0003_R01
- [3] Analiza z badań uzupełniających dotyczących uszczegółowienia przebiegu stropu mio-plioceniowych łódź w rejonie projektowanej stacji C13 Powiśle, PW IDiM, Warszawa, lipiec 2012r.
- [4] Opisy i rysunki z Projekt i Budowy II linii metra od stacji „Rondo Daszyńskiego” do stacji „Dworzec Wileński” w Warszawie w zakresie zamierzenia budowlanego nr 7 dotyczącego stacji C13 Powiśle, AGP, Warszawa grudzień 2010r. wraz z późniejszymi zmianami.
 - 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. Projekt tuneli drążonych metodą TBM
- [5] Opis techniczny i rysunki do projektu wykonawczego konstrukcji tunelu Wisłostrady, BMJ Group, Warszawa, 1999-2001r.
- [6] Dokumentację hydrogeologiczną w zakresie prowadzenia odwodnienia przy budowie tunelu Wisłostrady, Warszawa, 1999r.
- [7] Wielobranżowy projekt koncepcyjny dla zaprojektowania i budowy odcinka centralnego II linii metra w Warszawie od Ronda Daszyńskiego do Dworca Wileńskiego, B.P. Metroprojekt i AMC, Warszawa, wrzesień 2008r.
- [8] Wybrane fragmenty (skany) z Dziennika Budowy stacji C13 Powiśle (Dz.B. nr 462_tom II C13), AGP, Warszawa, 2012r.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie;
- [10] Zdjęcia z budowy łącznika pomiędzy wschodnią a zachodnią częścią stacji metra C-13 „Powiśle”;
- [11] Dokumentacja geotechniczna dla II linii metra od stacji „Rondo Daszyńskiego” do stacji „Dworzec Wileński” w Warszawie, Stacja C13 „Powiśle”, Geoteko, Warszawa 2010
- [12] Pomiar przemieszczeń wraz z lokalizacją reperów dla tunelu Wisłostrady, Mostu Świętokrzyskiego i stacji C13 Powiśle do dnia 12.09.2012r., AGP

Informacje i materiały robocze przekazywane na spotkaniach roboczych w siedzibie Metra Warszawskiego w dniach: 23.08, 26.08, 29.08, 07.09, 10.09.2012r.

4 Analiza przyczyn powstania awarii

4.1 Ogólna charakterystyka stacji C13

Projekt [2], [4] stacji C13 przewiduje jej budowę w dwóch etapach. W pierwszej kolejności powstała część zachodnia i wschodnia stacji w osłonie ścian szczelinowych z zastosowaniem metody podstropowej. W drugim etapie drążony jest łącznik między nimi metodą, którą można nazwać górniczą.

Maksymalna głębokość wykopu wynosi około 24,00 m licząc od górnego poziomu konstrukcji oporowych dla części zachodniej oraz 22,50 m dla części wschodniej. Ściany szczelinowe podpierają 4 płyty: górne i pośrednie oraz fundamentową.

Pomiędzy zachodnią i wschodnią konstrukcją stacji znajduje się tunel drogowy Wistostrady, który podparty jest ścianami szczelinowymi. W celu połączenia obu części stacji metra C13 pomiędzy nimi zostanie wykonany łącznik składający się z trzech tuneli o długości około 40 m.

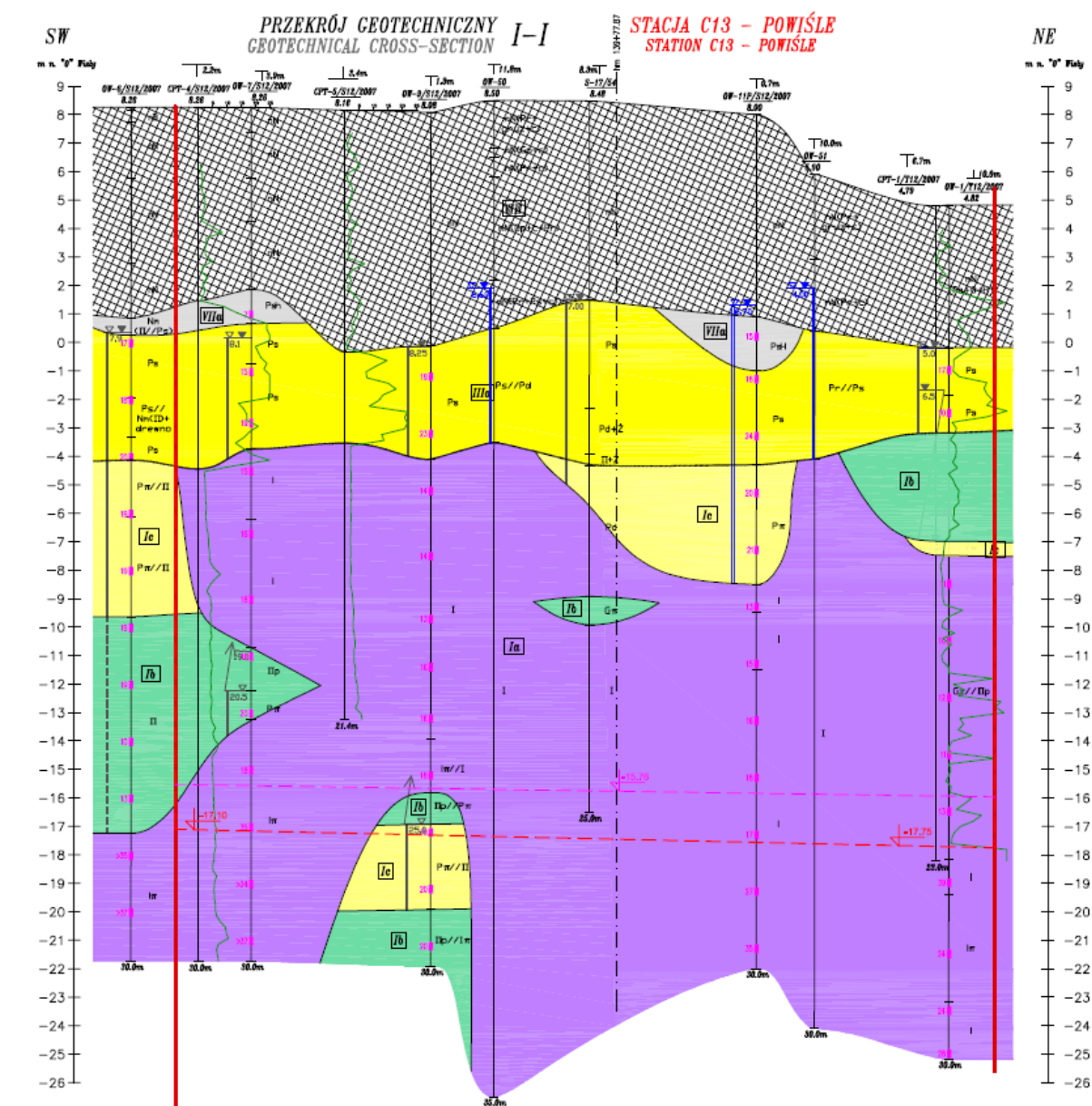
Analiza geotechniczna oraz raport obliczeniowy dla stacji C13 (Powiśle) zostały przygotowane w oparciu o dokument opracowany przez MMGEO “Geotechniczny model gruntu” z dnia 12-07-2010.

Projekt [4] przewiduje wykonanie łącznika w następującej kolejności: tunel północny, tunel południowy i na końcu tunel środkowy, który łączy oba w całość.

Obudowa wstępna składa się z żeber stalowych - 1 HEB240/0.75 m oraz z siatki stalowej lub z tworzywa sztucznego wzmocnionego włóknem szklanym i torkretem, przy grubości obudowy wynoszącej 30 cm. Po wydrążeniu tunelu oraz montażu obudowy wstępnej, wykonane zostanie sklepienie odwrotne obudowy ostatecznej. Grubość sklepienia wynosi 0,70 m, natomiast grubość obudowy ostatecznej waha się pomiędzy 0,6 m a 1,35 m. Centralny tunel będzie realizowany w fazie końcowej po wykonaniu wykopu tuneli północnego i południowego.

W przypadku stacji C13, profile gruntowe składają się (od góry) z warstwy stosunkowo zwartych piasków oraz ilów pylastych pokrywających ility plioceńskie o wysokiej

plastyczności I_p/I_c (sztywne, $I_L = 0-0,05$) oraz I_p/I_D (bardzo sztywne do twardych, $I_L < 0$). Iły rozciągają się do dużych głębokości (tzn. głębiej niż 25,0 m). Luźna/miękka warstwa gruntów antropogenicznych pokrywa serię piaszczystą. Analiza geotechniczna i analiza stateczności stacji C13 oraz by-passu zostały opracowane w [2] w oparciu o przekrój geologiczny (patrz poniższy rysunek), według wytycznych zawartych w dokumencie opracowanym przez MMGEO „Geotechniczny model gruntu” z dnia 12-07-2010.



Rys. 1 Przekrój geologiczny w rejonie stacji C13 przyjęty do obliczeń w [2] za [11]

Z informacji zawartej w [2] wynika, że podczas wykonywania iniekcji na obrysie tunelu północnego od wschodniej strony stacji C13 (styczeń-luty 2012) napotkano na inne

warunki gruntowe niż te uwzględnione w projekcie bazowym. Na podstawie tego faktu, AGP wykonało dodatkowe wiercenia [3] w celu bardziej precyzyjnego określenia budowy podłoża, a w szczególności ustalenia stropu itów plioceńskich.

Drażenie tunelu zgodnie z projektem odbywało się z dwóch stron. Poniżej przytoczono kolejność prac, którą ustalono w projekcie[2].

TUNEL PÓŁNOCNY- część zachodnia

5. wykonanie iniekcji, od wewnątrz stacji

- stalowe rury: $\varnothing 139,7$ mm; grubość= 10 mm)
- rury z włókna szklanego ($\varnothing 110$ mm; grubość= 10 mm) zagłębione w otworze $\varnothing 190$ mm na brzegu tunelu.

6. stabilizacja przodka śrubami zbrojonymi włóknem ($\varnothing 60$ mm; grubość = 10 mm, długość = 18,00 m)

7. wybieranie spągu (postęp: 1 metr); montaż obudowy tymczasowej na spągu (łuki stalowe HEB240 mm/0,75 m);

8. betonowanie sklepienia spągowego tunelu północnego

9. częściowe betonowanie ociosów w sekcji słupów (beton zbrojony)

10. zakończenie budowy końcowej kaloty

11. przejście TBM przez tunel północny

Środkowa część stacji C13 znajduje się pod tunelem Wisłostrady i zgodnie z projektem była realizowana metodą górniczą. Jako zabezpieczenie przewidziano iniekcję strumieniową (jet – grouting) a strop wyrobiska był wzmocniany stalowymi rurami.

Z obliczeń projektowych [2] wynika, że maksymalne pionowe przemieszczenie pod płytą dolną tunelu Wisłostrady to 6,5 mm. Maksymalne pionowe przemieszczenie pod płytą dolną tunelu Wisłostrady w warunkach stałych, po analizie konsolidacji gruntu, to 4,5 mm. Deformacje spowodowane pęcznieniem gruntu według oszacowania projektantów wynoszą około 2 mm.

4.2 Chronologia robót i zdarzeń na budowie C13 (Powiśle)

Ustalenie przyczyn powstania awarii wymaga wykonania analizy rozwiązań projektowych i wynikających z prowadzonych prac zdarzeń. Poniżej zestawiono najważniejsze wpisy do dziennika budowy. Pozwala to ustalić w miarę dokładnie kolejność robót i zdarzeń.

Od 05.07.2012 obowiązki Kierownika budowy zaczyna pełnić Pan Michał Antonowicz. W dniu 11.07.2012 inż. Valter Capata (Projektant) oświadcza (DzB nr 462 t.II str. 86-87), że prace wstępne dla wykonania przejścia przez ścianę szczelinową od strony zachodniej części C13 są zgodne z jego projektem P-SGS-E-C13-CST-PCG-0010-R1 [2].

Prace wyburzeniowe w ścianie szczelinowej rozpoczęto 4 dni później tj. 11 lipca br. W części zachodniej północnego tunelu wykonano montaż 6 pierścieni stalowych typ 11. W tym samym wpisie Projektant stwierdza, że skorygowano wcześniejsze rozwiązanie zabezpieczenia przodka ?? zastępując je torkretem (org. szprycbeton) o grubości 50 cm – rysunek D-SGE-E-C13-CST-RFD-0217-R00. W tym samym czasie trwają inne prace m. in. wzmocnianie gruntu za pomocą jet-groutingu od strony wschodniej zgodnie z rys. D-SGS-C13-GEO-LAY-0008-C01.

W dniu 22.07.2012 – wpisem poświadczono wykonanie 22 szt. „wkładów z włókna szklanego” z iniektem o nr 1A – 22A (i prośba do projektanta o zgodę na dalsze kontynuowanie prac przy łączniku). Po 4 dniach tj. 26.07. br. jest odpowiedź Projektanta, który stwierdza, że prace są prowadzone zgodnie z projektem i „zamiennymi poprawkami do niego”.

Kolejny wpis (08.08.2012) zawiera informacje, że zakończono drugi etap wzmocnienia w części wschodniej. W części zachodniej wykonywane są kolumny iniekcyjne zgodnie z rysunkiem D-SGS-E-C13-GEO-LAY-0217-R0 z 7.2012 – etap 1. W tym dniu wykonano 11 kolumn rur, a dla 9 dokonano wymiany ściany przodka na beton natryskowy.

Kolejny wpis (08.08.2012) dokonany przez insp. nadzoru robót mostowych Jacka Gawlaka, który informuje o zakończeniu wzmocnienia jet – grouting (po stronie wschodniej) oraz wykonaniu otworów badawczych dla oceny jego skuteczności, z których wydostaje się duża ilość wody. Jednocześnie inspektor zwraca się o dokonanie oceny poprawności wykonanych prac i możliwości kontynuowania robót po stronie wschodniej „w związku z zaobserwowanymi przemieszczeniami przodka dla północnego łącznika w części zachodniej stacji”. W konkluzji autor wpisu wnosi o „ocenę poprawności prowadzonych prac w części zachodniej z założeniami projektowymi”. Odpowiedzią na ten wpis jest pismo V. Capaty z dn. 10.08.12 (Rzym), z którego wynika, że kontrolne otwory, z których wycieka znaczna ilość wody są niezbędne w celu oceny „efektywności interwencji”, a wyniki badań posłużą do określenia środków mających na „celu zintegrowanie słabych obszarów oraz pozwalające na

bezpieczną pracę w tunelu. Ta mało precyzyjna odpowiedź wynika prawdopodobnie z tłumaczenia na polski.

Kolejny wpis Kierownika Budowy (13.08.2012) stwierdzający, że w trakcie montażu 11. żebra ze ściany czołowej nastąpiły niekontrolowane wypływy nawodnionego gruntu. Roboty przerwano, ewakuowano 3 osoby oraz wezwano nadzór budowy.

Następne wpisy dotyczą wstrzymania robót - (inspektor PINB), eksperci WINB, wskazania rozpoczęcia monitoringu inż. J. Gawlak pochodzą z dn. 14.08.2012.

Ostatnie wpisy udostępnionej części dziennika pochodzą z 15.08.2012 i dotyczą wypełniania zachodniej części stacji wodą dla uzyskania szybkiej równowagi hydraulicznej w układzie stacja - otoczenie.

Określenie przyczyn awarii wymaga ustalenia sekwencji robót, ich wpływu na istniejące warunki geotechniczne, a także ustalenie odstępstw budowy geologicznej od prognozowanej we wcześniejszych dokumentacjach.

Autorzy [2] podkreślają, że w czasie wykonywania iniekcji na obrysie tunelu północnego, ale od strony wschodniej części stacji C13 (styczeń - luty 2012), napotymano inne warunki gruntowe niż te przyjęte do projektowania. Dla dokładnego rozpoznania budowy geologicznej w rejonie łącznika wykonano po 7 wierceń badawczych kierowanych dla obu tuneli (N i S) łącznika. Pełną analizę ich wyników zawiera opracowanie [3].

Analiza dokumentów dotyczących budowy geologicznej, robót prowadzonych w rejonie awarii pozwala stwierdzić, że przyczyną awarii było przebicie hydrauliczne. Według Eurokodu 7 przebicie hydrauliczne jest szczególnym przypadkiem zniszczenia przez erozję wewnętrzną, na styku gruntu z fundamentem lub na granicy warstwy spoistej z niespoistą. W chwili obecnej na podstawie posiadanych danych trudno jest jednoznacznie ustalić jego przyczynę, gdyż jak wynika z doświadczenia awarie geotechniczne zwykle nie mają jednej przyczyny. W tym przypadku istnieje kilka możliwych przyczyn: zbyt mały zasięg wzmocnienia za pomocą jet-groutingu, niewłaściwie wykonany „jet”, zbyt szybki postęp prac w stosunku do wiązania „jet-ów” lub niewykryta zmiana stropu utworów nieprzepuszczalnych. Brak niektórych danych nie pozwala na ustalenie czynników, które spowodowały przebicie.

Na załączniku 1 przedstawiono przekrój podłużny w osi tunelu północnego opracowany na podstawie posiadanych materiałów. Dla zobrazowania warunków geotechnicznych na załącznikach 2 i 3 przedstawiono ukształtowanie stropu utworów nieprzepuszczalnych oraz położenie względem tunelu.

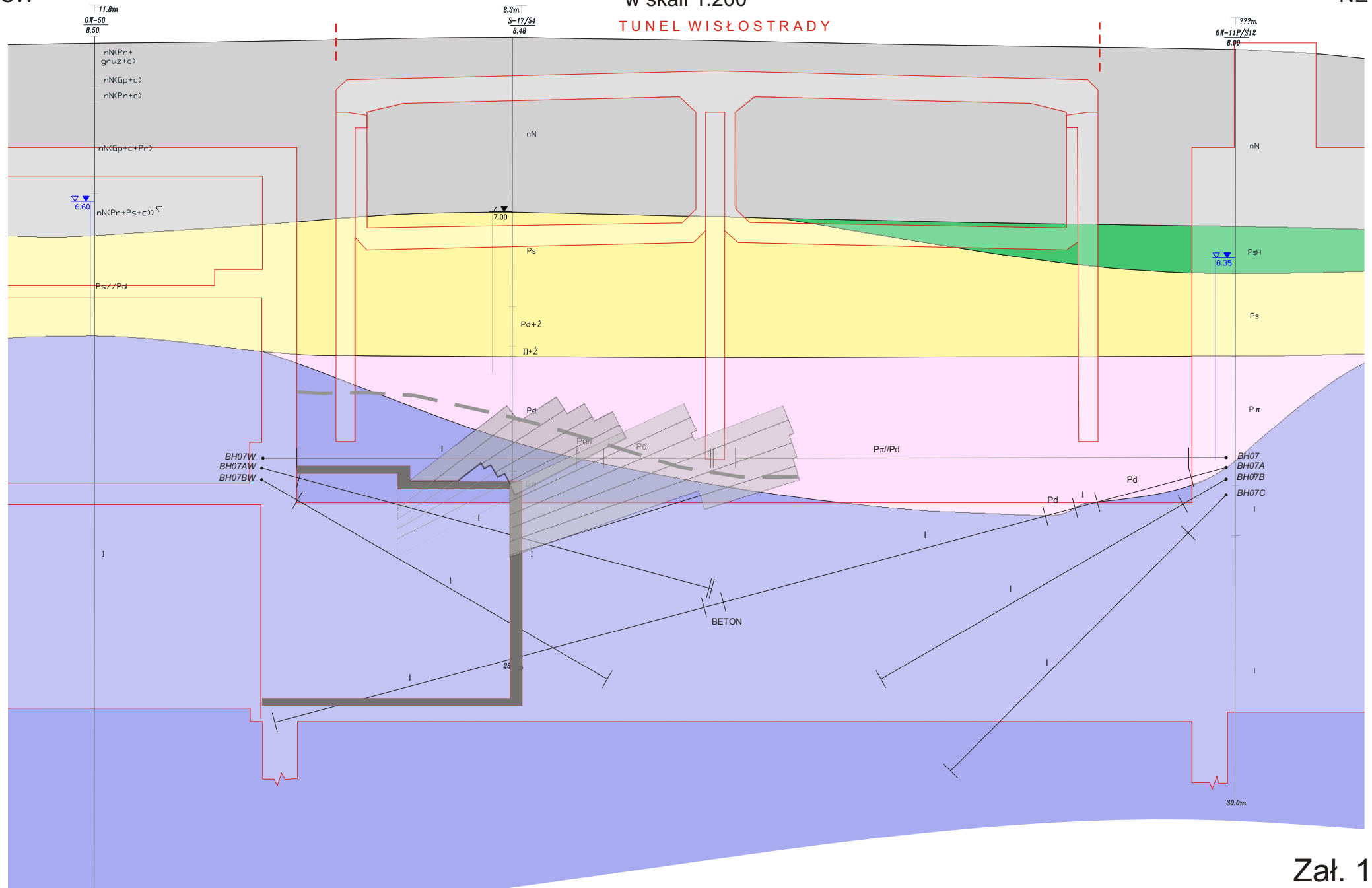
Przekrój przez stację "Powiśle" wzdłuż północnego tunelu metra

w skali 1:200

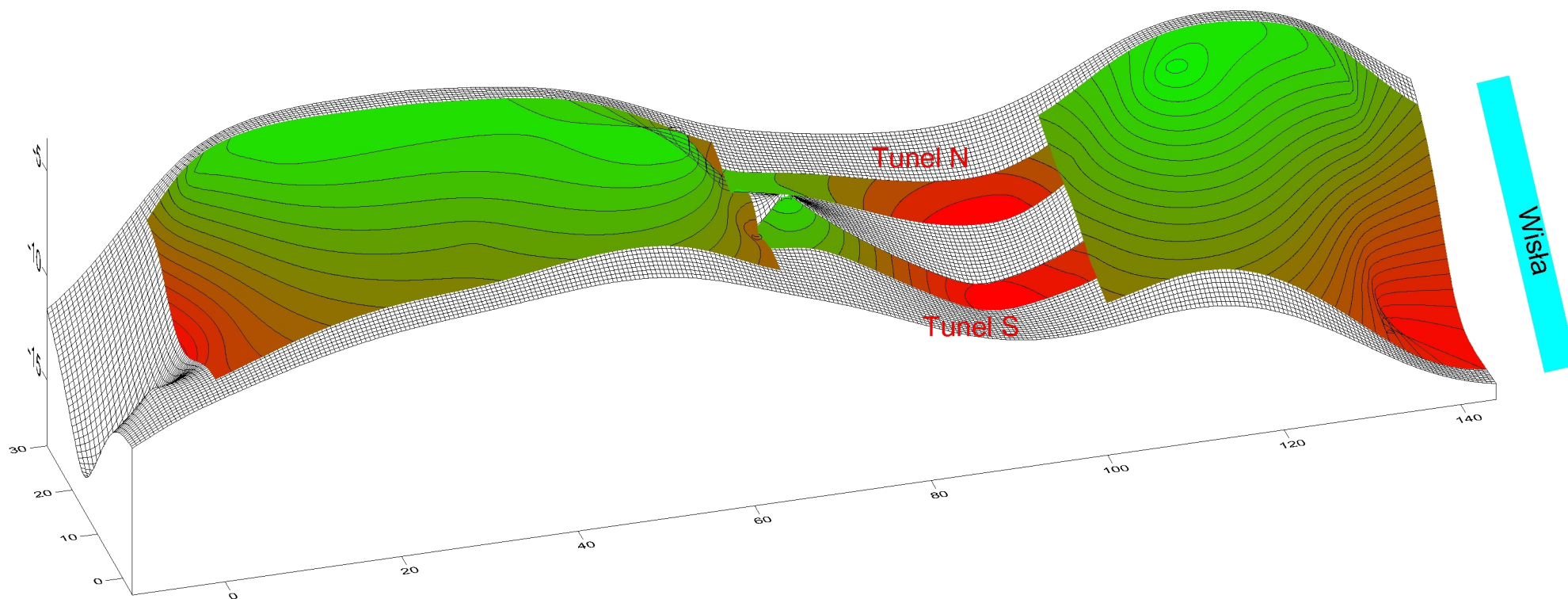
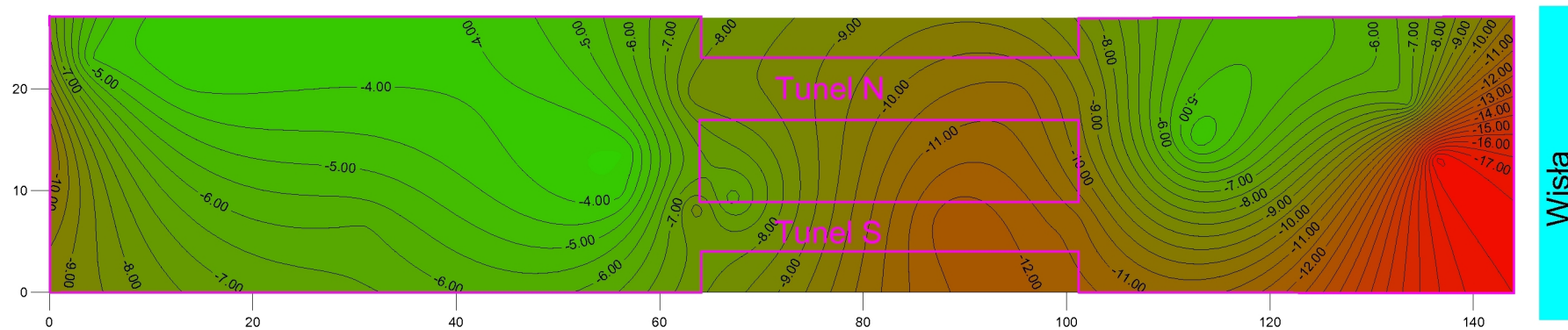
TUNEL WISŁOSTRADY

SW

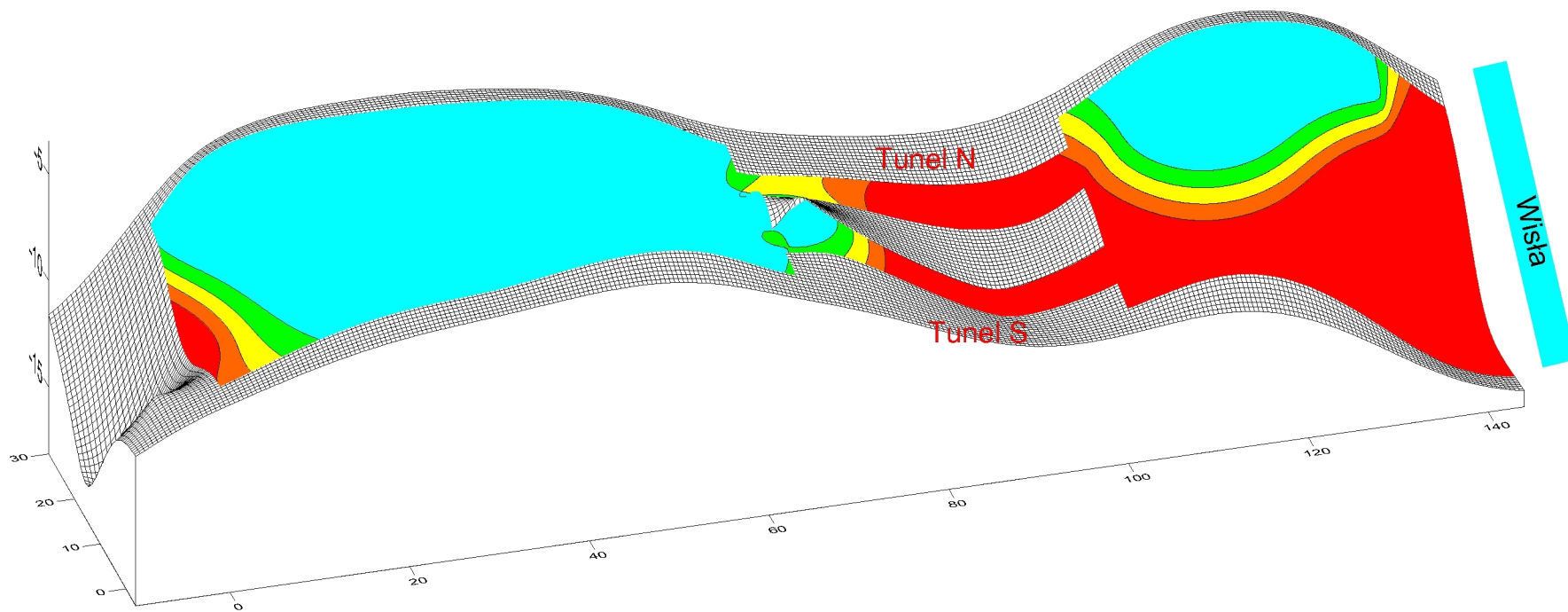
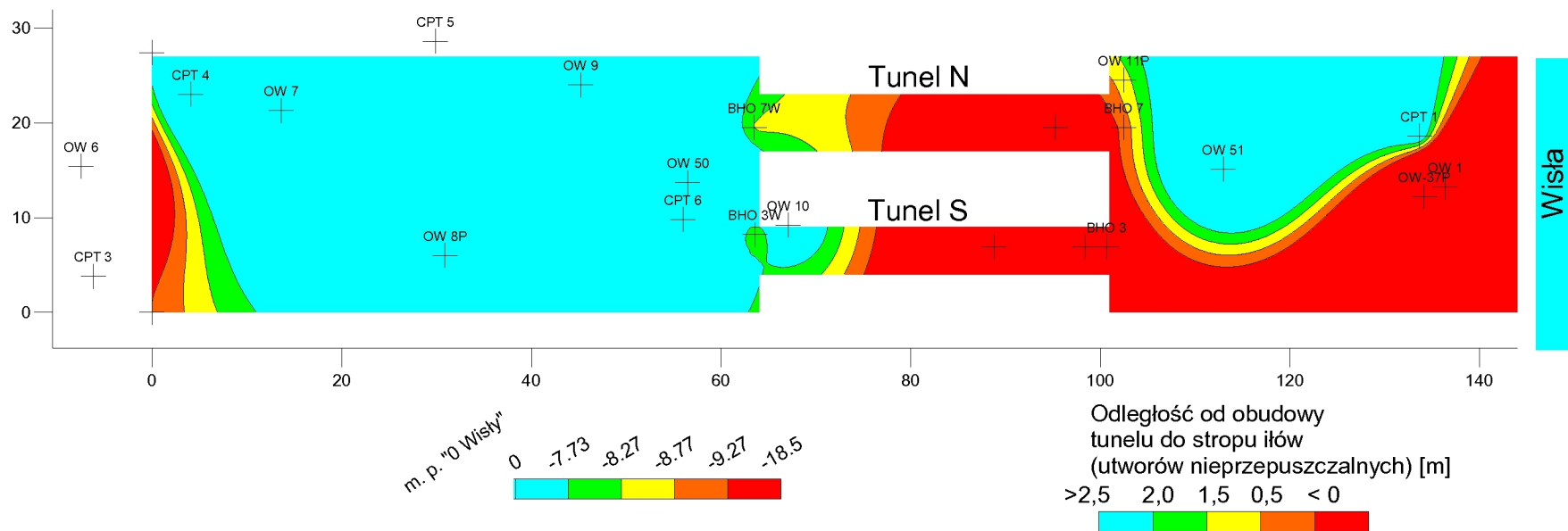
NE



Mapa stropu utworów nieprzepuszczalnych w obszarze stacji C13



Mapa położenia stropu utworów nieprzepuszczalnych względem tunelu



5 Ocena wpływu skutków awarii na stateczność konstrukcji tunelu Wisłostrady

5.1 Konstrukcja tunelu Wisłostrady

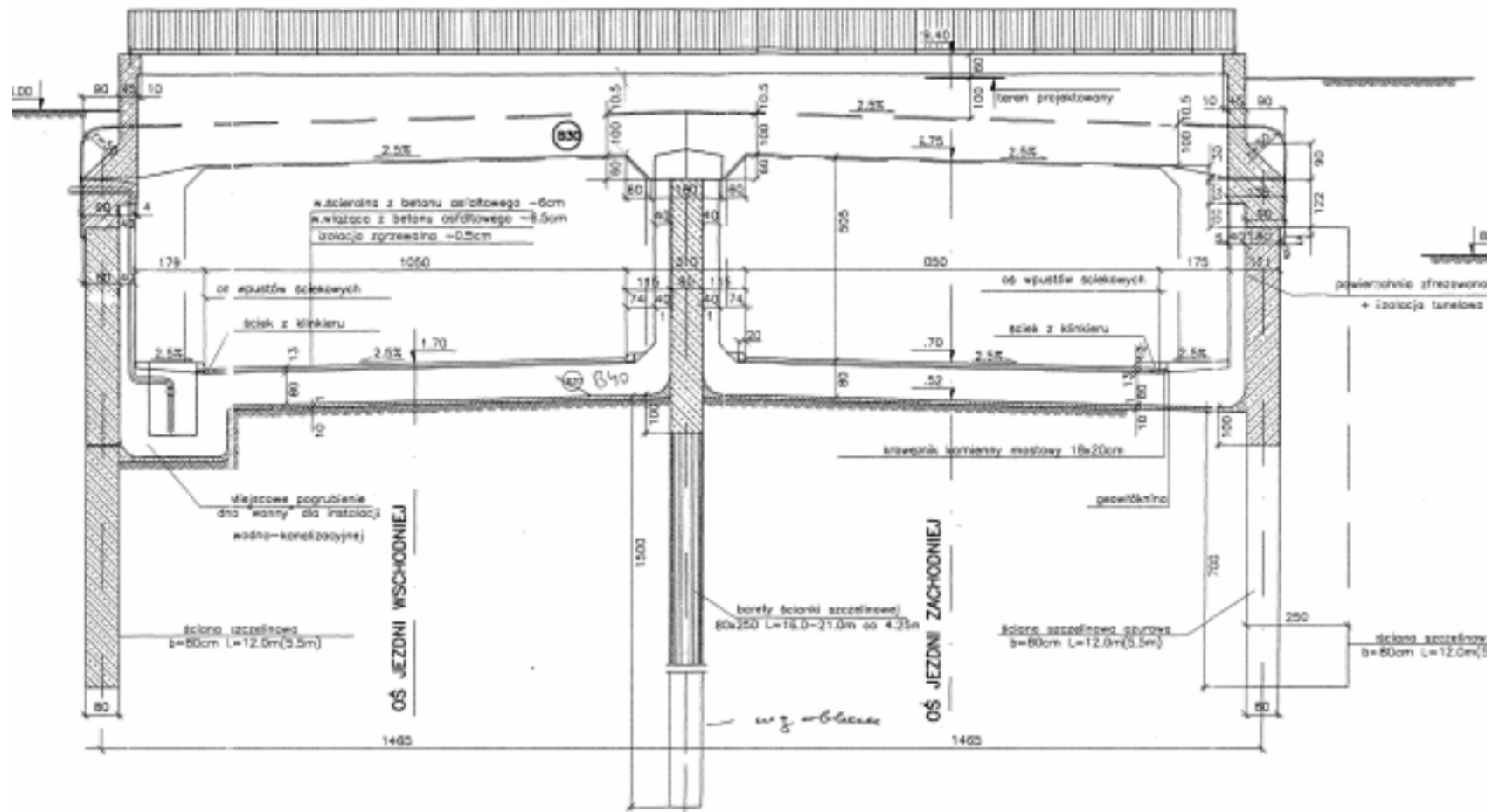
Tunel Wisłostrady wg opracowania [5] to konstrukcyjnie dwunawowa rama żelbetowa, ze słupami w formie ścian szczelinowych i rygłem w formie płyty stropowej, oparty przegubowo na skrajnych ścianach z utwierdzeniem na ścianie środkowej. Schemat konstrukcyjny przedstawiono w zał. 4. Ściany szczelinowe w tym układzie konstrukcyjnym pełnią rolę fundamentów osłonowych przejmujących obciążenia własne i eksploatacyjne oraz kotwi w przypadku ewentualnego podtopienia wanny w stanach powodziowych Wisły. Wspomniane wanny to szczelna konstrukcja żelbetowa posadowiona bezpośrednio na gruncie, ze ścianami bocznymi wyprowadzonymi aż do wsparcia o oczepy ścian szczelinowych zewnętrznych i płytę stropu. Jest to celowe zabezpieczenie przed ewentualnym wyporem wanny na skutek podniesienia się wód gruntowych. Każda z wanien prowadzi ruch w jednym kierunku mieszcząc jezdnie, chodnik służbowy i urządzenia zabezpieczające tunel Wisłostrady.

Cała konstrukcja jest zdylatowana na sekcje o dł. 17 m. Opisana awaria związana z budową łącznika stacji C13 Powiśle dotyczy obszaru obejmującego sekcję 4, 5 i 6. Konstrukcję zewnętrznych ścian szczelinowych stanowią zgodnie z [5] ciągłe żelbetowe ściany szczelinowe o gr. 80 cm zwieńczone oczepem. Segment ściany składa się z odcinków o szerokości 680 cm i długości 12 m, przedzielonych odcinkami skróconymi o szerokości 170 cm. Z uwagi na przebieg tunelu Wisłostrady prostopadle do kierunku spływu wód do Wisły, pozostawione przerwy mają pozwalać na swobodny przepływ wody pod dnem tunelu. Pod ścianą środkową elementy nośne stanowią barety o szerokości 250 cm o dł. 16-21 m, w odstępach co 4,25 m.

Płyta stropowa będąca rygłem ramy konstrukcji w przekroju ma kształt daszkowy, na długości tunelu jest podzielona dylatacjami, umożliwiającymi swobodną pracę każdej z powstałych sekcji.

Konstrukcję wanny tunelu tworzy płyta denna wylana na pokrytym izolacją (nieprzerwana powłoka bitumiczno-lateksowa zbrojona siatką wiskozową) podłożu betonowym oraz dwie ściany boczne, przylegające do pokrytych izolacją tunelową ścian szczelinowych. Grubość

Przekrój tunelu drogowego Wisłostrady



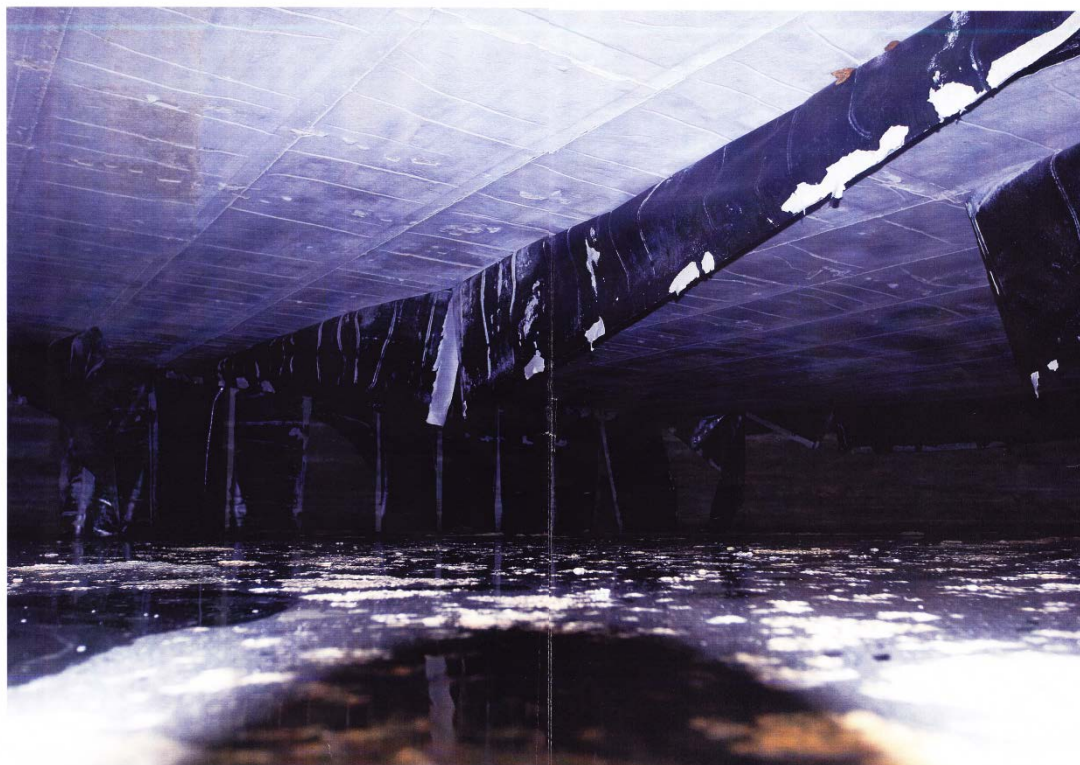
płyty dennej wanny wynosi 80 cm, poziom jezdni w miejscu przebiegu łącznika wynosi ok. 2 m p.p.”0” Wisły.

5.2 Skutki awarii

Obecna ocena skutków awarii opiera się wyłącznie o dane, badania i pomiary udostępnione do dnia 10.09.2012r. [1], [12], [inventaryzacja gruntu w stacji], [dane z monitoringu]. Wykonawca (AGP) w celu określenia wielkości ubytku powstałego na skutek niekontrolowanego wypływu wody z gruntem w trakcie drążenia północnej części łącznika pomiędzy korpusami stacji C13 przeprowadził następujące czynności:

- a) przeprowadził dodatkowe pomiary w istniejącej sieci monitorującej zachowania konstrukcji tunelu Wisłostrady, zwiększył ilość punktów pomiarowych w tunelu oraz objął dodatkowymi pomiarami konstrukcje zlokalizowane na sąsiednich obszarach tj. rampę Mostu Świętokrzyskiego i jego ramię oraz pierwszy filar znajdujący się na brzegu;
- b) wykonał nieinwazyjne badania geofizyczne:
 - pomiary georadarem wykonane w 4. przekrojach podłużnych z wnętrza tunelu (1 na jezdni wschodniej i 2 na jezdni zachodniej),
 - pomiary sejsmiczne (MASW) w 3. przekrojach podłużnych z wnętrza tunelu (1 na jezdni wschodniej i 2 na jezdni zachodniej);
- c) wykonał dokumentację fotograficzną obszaru znajdującego się pod tunelem pomiędzy powierzchnią wody oraz spodem płyty;
- d) dokonał pomiarów podwodnych objętości osadów, które wlały się do części zachodniej stacji.

Powyższe działania wykazały istnienie pustej przestrzeni pod płytą Wisłostrady pomiędzy bocznymi ścianami szczelinowym Wisłostrady, która rozciąga się na ok. 70 m pod jezdnią zachodnią oraz na ok. 42 m pod jezdnią wschodnią. Przestrzeń ta jest wypełniona wodą do ok. 2 m od spodu płyty, co potwierdziły fotografie wykonane z wnętrza – fot. 1 przykładowa.



Fot.1. Widok z wnętrza pustki pod tunelem Wisłostrady w kierunku głowicy wschodniej, widoczny spód wanny sekcji 4 i 5 i zniszczona izolacja [materiały AGP].

Pomiary na stacji wykazały obecność osadu składającego się z ok. 6500 m³ materiału stałego, głównie piasku, wewnątrz stacji, co odpowiada objętości ubytku materiału wyniesionego spod płyty jezdni tunelu Wisłostrady – rys.2.



Rys. 2. Wizualizacja stwierdzonej pustki i jej zasięgu na rzucie poprzecznym przez konstrukcję tunelu Wisłostrady [materiały AGP].

Tuż po zdarzeniu, w celu ustabilizowania napływu wody do wnętrza zachodniego korpusu stacji, wpompowano wodę. Obecnie sytuacja jest chwilowo ustabilizowana, co nie zmienia faktu, że płyta jezdni została pozbawiona naturalnej podpory gruntowej z podłoża i jest zawieszona pomiędzy bocznymi ścianami szczelinowymi, a jej równowaga jest zagrożona. Dalsza analiza wpływu opisanych skutków awarii na stateczność konstrukcji tunelu będzie opierać się głównie o udostępnione pomiary przemieszczeń.

5.3 Analiza przemieszczeń

Tunel Wisłostrady:

Na potrzeby oceny skutków awarii prowadzony jest monitoring dla elementów konstrukcji tunelu Wisłostrady za pomocą:

- łat niwelacyjnych zastabilizowanych na ścianach tunelu w sekcjach 4, 5 i 6, gdzie rejestrowane są przemieszczenia pionowe, dokładność pomiaru +/- 1,5mm;
- reperów zastabilizowanych w jezdni tunelu Wisłostrady w sekcjach 2, 3 i 7, 8, gdzie rejestrowane są przemieszczenia pionowe, dokładność pomiaru +/- 1,5 mm;
- mini pryzmatów zastabilizowanych w stropie tunelu Wisłostrady po obu stronach dylatacji sekcji 4, 5 i 6, gdzie rejestrowane są przemieszczenia w trzech kierunkach:

poziome w kierunku północnym i wschodnim oraz przemieszczenia pionowe, dokładność pomiaru +/- 1mm;

- wskaźników optycznych (tzw. tarcz) na zewnętrznych ścianach szczelinowych tunelu Wistotrydy po 1. linii pomiarowej od strony głowic zachodniej i wschodniej stacji, na długości realizacji łącznika (sekcje 4, 5 6), rejestrowano pomiary poprzeczne, wzdłużne i pionowe, dokładność pomiaru +/- 1 mm.

Analiza opisanych pomiarów przemieszczeń dotyczy okresu zaistnienia awarii (13/14 sierpnia 2012) lub tuż przed (pomiar bazowy) do dnia 12.09.2012r. Wyniki pomiarów łat niwelacyjnych, które wskazują na zachowanie wanny tunelu w poszczególnych sekcjach, wykazały osiadania tych elementów konstrukcji tunelu w granicach od +0,5 mm do -42,5 mm. Największe średnie osiadania (ok. 30 mm) wykazuje wanna w sekcji 4. w nawie po stronie zachodniej, w miejscu wystąpienia awarii. Natomiast największe różnice na długości sekcji stwierdzono w sekcji 5 nawy po stronie zachodniej, gdzie różnica osiadań pomiędzy częścią północną sekcji (bliżej wyływu) a południową wynosi ok. 30÷35 mm – zał. 5.

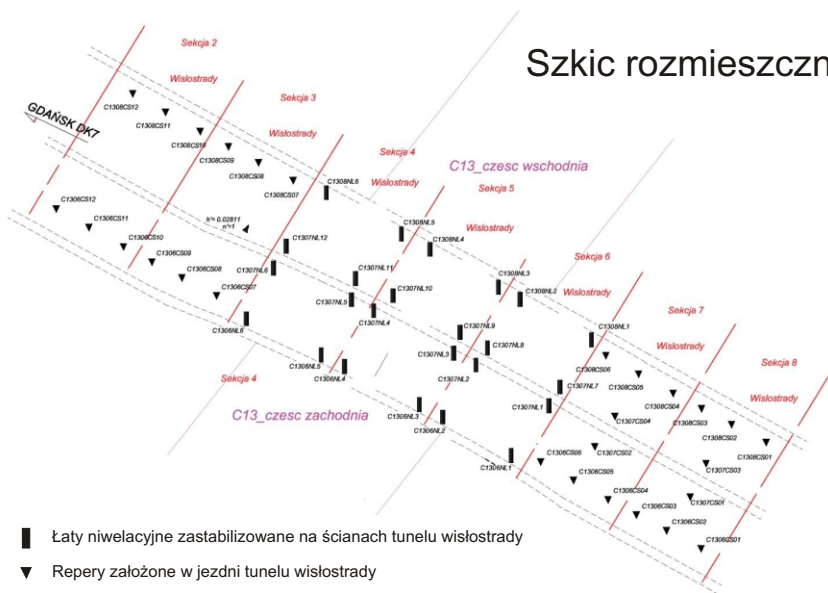
Najmniejsze osiadania stwierdzono w sekcji 6 dla obydwu naw (do 3,5 mm). Pozostałe sekcje w obu nawach w kierunku południowym (7 i 8) i północnym (2) nie wykazują osiadań lub są one mierzone na poziomie błędu pomiaru (+/-1,5 mm). W sekcji 3 nieco zwiększone wartości (do ok. 5 mm) w stosunku do sąsiednich wykazują repery zlokalizowane najbliżej miejsca wyływu, co może świadczyć o lokalnym rozluźnieniu podłoża pod tą sekcją.

Pomiary z ostatnich kilku dni (7-12.09.12) nie wykazują istotnych zmian w wartościach przemieszczeń (w granicach błędu pomiaru), co świadczy o ustabilizowaniu osiadań.

Analizując wartości pomierzonych przemieszczeń na pryzmatach zamontowanych na konstrukcji płyty stropowej to odpowiadają one do lokalizacji (sekcji) pomiarom wykonanym dla wanien, natomiast rejestrowane wartości są dużo niższe. Największe przemieszczenia są w sekcji 4. nawy zachodniej (średnio ok. 8 mm), podobnie może być w sekcji 5. ale brak kolejnych pomiarów od strony wschodniej tej sekcji uniemożliwia szczegółową analizę (ostatni pomiar z 17-18.09.12). Zwiększone osiadania są rozłożone koncentrycznie wokół miejsca awarii (wyływu), i wynoszą 6÷10 mm. Po stronach zewnętrznych (wschodniej i południowej) sekcji 4, 5 i 6 mierzone przemieszczenia nie przekraczają 3 mm.

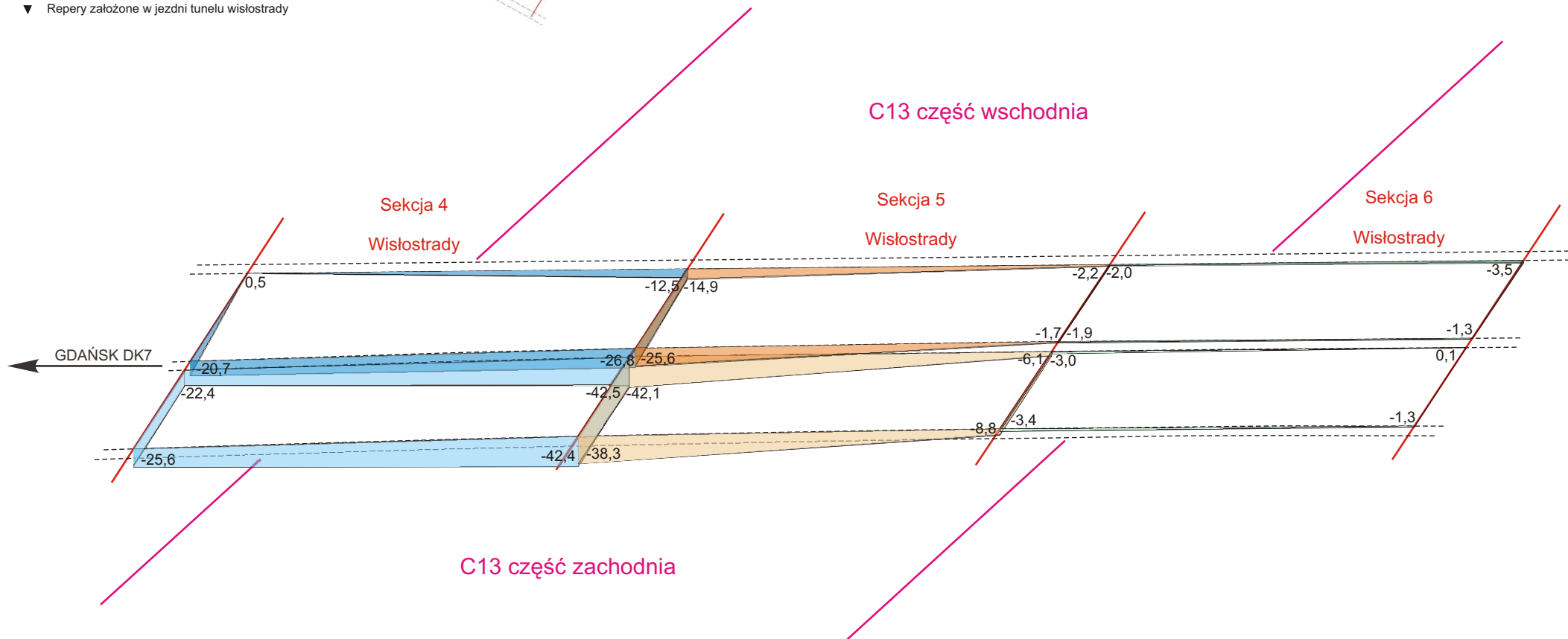
W przypadku pomiarów tarcz optycznych zainstalowanych na zewnętrznych ścianach szczelinowych to udostępnione pomiary dla linii pomiarowych od strony części zachodniej

Szkic rozmieszczenia łąt niwelacyjnych



- Łaty niwelacyjne zastabilizowane na ścianach tunelu wisłostrady
- ▼ Repery założone w jezdni tunelu wisłostrady

Osiadania sekcji 4-6



wykazują nieznaczne przemieszczenia poprzeczne (do 5 mm). Po stronie wschodniej udostępniono pomiary z sierpnia 2012 (10-25.08.12), gdzie nie obserwuje się żadnych zmian przemieszczeń.

Stacja C13 Powiśle

W przypadku konstrukcji stacji Powiśle Wykonawca udostępnił wyniki pomiarów przemieszczeń ścian szczelinowych dla dwóch inklinometrów zlokalizowanych w ścianach bezpośrednio sąsiadujących z tunelem Wisłostrady. Dla ściany głowicy zachodniej pomiary dotyczyły okresu od 29.02.2012r. do 19.07.2012r. Wykresy z kumulacją przemieszczeń poprzecznych obrazują pracę ściany podczas kolejnych faz głębiania wykopu stacji, gdzie największe przemieszczenia są w poziomie dna wykopu lub tuż poniżej. Uwagę mogą zwracać jedynie dosyć wysokie wartości tych przemieszczeń dochodzące w okresie lipca do ok. 50mm w fazie docelowej rzędnej wykopu stacji.

Elementy Mostu Świętokrzyskiego:

Poza prowadzeniem ciągłego monitoringu konstrukcji ww. tunelu, monitorowane są również konstrukcje zlokalizowane na sąsiednich obszarach, tzn. rampa mostu jak również jego ramię i pierwszy filar znajdujący się na brzegu. Nie zmierzono żadnych osiadań pod ww. obiektami.

5.4 Ocena wpływu

Analizując wielkości pomierzonych i udostępnionych przemieszczeń wywołanych awarią, w kontekście rozwiązań konstrukcyjnych tunelu Wisłostrady należy stwierdzić, że:

- wymycie gruntu spod sekcji tunelu znajdujących się w obszarze planowanego łącznika naruszyło statykę konstrukcji tunelu Wisłostrady;
- w obecnym stanie płyta jezdni tunelu została pozbawiona naturalnej podpory gruntowej i jest zawieszona pomiędzy ścianami szczelinowymi;
- wartości zarejestrowanych przemieszczeń konstrukcji wanien w sekcjach 4. i 5. wskazują na utratę podparcia przez te elementy, które teoretycznie powinny gwałtownie osiąść;
- naruszona równowaga parć działająca na ściany szczelinowe tunelu spowodowała przemieszczenie ścian szczelinowych, blokując obluzowane bloki wanien, co

w połączeniu z wzajemnym zakleszczeniem zapobiegło niekontrolowanym osiadaniom 3 podmytych sekcji, a być może zawaleniu się tunelu;

- rejestrowane wartości przemieszczeń pionowych ścian szczelinowych w rejonie wystąpienia awarii wskazują na postępujący proces osiadania konstrukcji;
- wartości osiadań rejestrowane w sekcji 6. oraz na płycie jezdni w sekcji 3. wskazują prawdopodobną strefę rozluźnienia kolejnych partii gruntu przyległych do powstałej pustki;

Przemieszczenia poprzeczne dla ściany szczelinowej po stronie zachodniej wynoszą 5 mm, z wychyleniem w kierunku zachodnim. Po stronie wschodniej odnotowano odchylenie ok. 2 mm w kierunku wschodnim. Wartości pomierzone są niewiele większe niż błąd pomiaru.

6 Zalecenia dotyczące metod i technologii zabezpieczenia tunelu Wisłostrady oraz budowy łącznika tunelu stacji C13

Po awarii na budowie łącznika w nocy z 13 na 14 sierpnia br. ruch samochodowy i pieszy w tunelu został wstrzymany. W celu ustabilizowania napływu wody i wyrównania ciśnień po obu stronach stacji wraz z zawartym w niej gruntem, do wnętrza zachodniego korpusu stacji została wpompowana woda.

W drugiej dekadzie września, kiedy kończono opracowywanie niniejszej ekspertyzy sytuacja przedstawiała się następująco: zachodnia część stacji C13 była zalana wodą i wypełniona gruntami, które na skutek przebiccia hydraulicznego zostały przemieszczone spod tunelu Wisłostrady, poziom wody w stacji i na zewnątrz korpusu są zbliżone, co świadczy o zrównoważeniu ciśnienia hydrostatycznego. Na podstawie pomiarów oszacowano, że w stacji znajduje się ok. 6500 m³ gruntów i tyleż samo wynosi ubytek poniżej tunelu drogowego Wisłostrady.

Do dnia dzisiejszego, poza prowadzeniem ciągłego monitoringu konstrukcji ww. tunelu, monitorowane są również konstrukcje zlokalizowane na sąsiednich obszarach, tzn. rampa mostu jak również jego ramię i pierwszy filar znajdujący się na brzegu. Nie zaobserwowano żadnych osiadań pod w/w obiektami.

Konsorcjum AGP przedstawiło projekt działań naprawczych dla zapewnienia bezpieczeństwa tunelu, który zdaniem ITB może być realizowany. Rozwiązania i kierunek działań uznaje się za

poprawny, choć z uwagi na istniejące ograniczenia niezbędne jest monitorowanie zachowania się tunelu w trakcie wypełniania pustki. Należy podkreślić, że proces wypełniania pustki ma nie tylko przywrócić podparcie podmytym sekcjom tunelu, ale również ułatwić dokończenie budowy łącznika. Analiza warunków geotechnicznych wskazuje, że poważny problem stanowić będzie wypompowanie wody ze stacji w taki sposób by ponownie nie uruchomić procesu przebiccia hydraulicznego. Proces stabilizacji podmytej części tunelu Wisłostrady może być długotrwały i wymagać wielokrotnego uzupełniania podłoża.

Projekt [1] precyzuje kolejność działań naprawczych następująco:

- 1) wylanie warstwy materiału o dużej wytrzymałości dla stworzenie zabezpieczenia uniemożliwiającego przedostawanie się materiału do wnętrza stacji,
- 2) wypełnienie istniejącej pustej przestrzeni pod tunelem w celu przywrócenia płyty do użytku;
- 3) badania kontrolne wykonywanych czynności;
- 4) pierwszy etap wypełnienia/wzmocnienia pustek pomiędzy wypełnieniem a płytą jezdni;
- 5) wzmocnienie części gruntu pod wypełnieniem;
- 6) badania kontrolne wykonywanych czynności;
- 7) izolacja oraz drugi etap wzmocnienia pustek pozostających pod płytą następująca po osadzeniu się wypełnienia oraz warstw znajdujących się pod nim;
- 8) kontrole i testy;
- 9) przywrócenie ruchu.

Podczas wszystkich faz prac naprawczych, elementy tunelu muszą być monitorowane jak dotychczas.

Do wypełniania pustki użyte zostaną dwa rodzaje mieszanek wiążących. Składniki mieszanek to: cement, popiół lotny, kruszywo i dodatki uplastyczniające oraz zapobiegające segregacji.

Pierwsza mieszanka pozwala uzyskiwać wytrzymałości na ściskanie wynoszącą ponad 3 MPa a druga ponad 2 MPa. Mieszanki powinny być samopoziomujące, bez segregacji w czasie sedymentacji w wodzie.

Działania takie jak wzmacnianie gruntu pod wypełnieniem, pod płytą denną tunelu nie zostały sprecyzowane gdyż nie ma wystarczających danych, aby je projektować już na obecnym etapie. Ponieważ zastosowanie kolejnych elementów/działań wymaga znajomości

skutków wcześniejszych prac to projektowanie może być prowadzone tzw. metodą obserwacyjną. Z tego powodu bardzo ważną rolę pełni inspektor nadzoru inwestorskiego, który na bieżąco będzie obserwować prace i wyniki badań kontrolnych.

Proces wypełniania pustki przewiduje pompowanie mieszanki początkowo przez dwa istniejące otwory w bocznej ścianie szczelinowej po stronie zachodniej znajdujące się nad wlotem do budowanego łącznika północnego. Wylewanie mieszanki będzie się odbywać cyklicznie z przerwami, aby umożliwić wiązanie betonu w kolejnych warstwach. Zakładane ilości pompowanej mieszanki jak i długość przerw powinna być potwierdzona badaniami rozptywu oraz czasem wiązania w warunkach budowy.

Kontrola stanu podłoża pod tunelem odbywać się będzie przy wykorzystaniu sondowań CPT. Sondowania będą wykonywane z poziomu jezdni tunelu przy zapewnieniu bezpiecznego ich przeprowadzenia. Ostateczne uzupełnianie pustki odbywać się z poziomu jezdni tunelu przez wykonane, co 6 m, w dwóch rzędach naprzemiennie.

Wszelkie otwory wykonywane w płycie dennej wanny zgodnie z zasadami sztuki powinny omijać zbrojenie w miarę możliwości.

W ekspertyzie przytoczono jedynie najważniejsze sprawy gdyż szczegółowy opis podjętych działań zawiera projekt [1].

Zaleca się, aby wszystkie działania były odnotowywane w dzienniku budowy a badania dokumentowane w raportach. Z przedstawionych dokumentów nie wynika, że prowadzony był nadzór geotechniczny nad prowadzonymi pracami. Zdaniem ITB jest on konieczny i mógłby funkcjonować, jako część nadzoru inwestorskiego.

Oddzielnym problemem jest ustalenie kolejności działań, technologii prac i aktualizacji projektu wykonawczego dla wykonania łącznika. W naszej ocenie jest to poważny problem zwłaszcza w rejonach gdzie strop iłów znajduje się poniżej stropu tuneli łącznika. Wykonawca Projektant stacji nie przedstawili wystraszających danych, aby się odnieść do proponowanego rozwiązania zabezpieczenia łącznika przed nadmiernym napływem wody. Analiza ukształtowania stropu iłów plioceńskich oraz możliwość występowania w serii plioceńskiej utworów pylastych wskazuje na konieczność krytycznej analizy stosowanych rozwiązań zabezpieczających górotwór i jego zmianę. Proponujemy, aby były analizowane, co najmniej trzy możliwości zabezpieczenia tunelu na czas drążenia. Niektóre fragmenty tunelu południowego będą drążone w warunkach, kiedy znaczny % przekroju stanowić będą

nawodnione piaski. To wskazuje, że należy rozważyć również możliwość np. zamrożenia górotworu w rejonie łącznika.

Stwierdzenie AGP, że „Po zakończeniu wzmocnienia całego obszaru będącego pod wpływem zdarzenia, włącznie z drugą fazą wypełnień spodniej części tunelu w celu wypełnienia pustek powstałych po ostatecznych osiadaniach, a także po przeprowadzeniu testów oraz ostatecznych badań kontrolnych, będzie można przywrócić ruch w tunelu” w chwili obecnej możemy traktować jedynie, jako deklarację. W tym kontekście odpowiedź na pytanie, kiedy możliwe będzie przywrócenie ruchu w tunelu wymaga doprowadzenia stanu tunelu technicznie akceptowalnego poziomu. Ustalenia sposobu zabezpieczenia łącznika i określenie technologii jego wykonania na podstawie nowego projektu stanowi zadanie Wykonawcy. Istnieje wiele metod wzmocniania gruntów i rozwiązania zadania jakim jest drążenie łącznika na stacji C13. Nie możemy narzucać rozwiązań, a jedynie propozycje poddać krytycznej analizie. Budowa z uwagi na kontrakt jest odpowiedzialnością głównie Wykonawcy.

7 Wnioski

Na podstawie analizowanych dokumentów można stwierdzić, że

1. Strop drążonego północnego tunelu łącznika znajdzie się pod niewielkim nadkładem nieprzepuszczalnych iłów plioceńskich, a w centralnej części wchodzi nawet w nawodnione piaski. Zgodnie z aktualnym projektem tunel jest drążony pod osłoną iniekcji strumieniowej, kolumny jet – grouting są zaprojektowane o zmiennej długości 8÷12 m i średnicy 1200 mm. Część kolumn zaprojektowano w taki sposób, że początkowy odcinek nie był iniektowany (ok. ½ długości kolumny). Należy wyrazić wątpliwość czy osiągnięto zamierzone parametry projektowe.
2. Analiza geometrii układu tunel – grunt wzmocniony na tle granicy ił – nawodnione piaski pod ciśnieniem ponad 10 m słupa wody, prowadzi do wniosku o niewystarczającym zabezpieczeniu przed przebicciem hydraulicznym. Na wysokości 10. – 11. żebra nieprzepuszczalny nadkład nad obudową wynosił tylko nieco ponad 1 m. W otrzymanej dokumentacji brak jest metryk poszczególnych kolumn jet-ów, co nie pozwala na ocenę ich jakości, a tym samym zapewnienia wystarczającej stateczności.
3. Wykonawca tunelu miał świadomość zmienności warunków geotechnicznych i zlecił wykonanie dodatkowych badań. Wiercenia z pełnym uzyskiem rdzenia wykonano w osi

tunelu północnego i południowego od strony wschodniej jak i zachodniej. Jak podają autorzy [3] badania miały posłużyć uszczegółowieniu położenia stropu łtów plioceńskich. Na ich podstawie stwierdzono, że wcięcie „erozyjne” w rejonie tunelu północnego osiąga rzędną -11,0 m n.p. „0” Wisły. Z tego wynika, że warunki gruntowo-wodne nie są zgodne z przyjmowanymi we wcześniejszych dokumentacjach.

4. Proponowane w projekcie wzmocnienie gruntów za pomocą jet-groutingu przy potencjalnie dużej zmienności położenia stropu łtów było obarczone dużym ryzykiem. Wydaje się, że w projekcie niedostatecznie oszacowano wpływ iniekcji na iltę oraz silnie nawodnione piaski.
5. W ocenie ITB awaria została spowodowana przebicciem hydraulicznym.
6. Awaria na budowie stacji C13 spowodowała zagrożenie utraty stateczności i przekroczenie stanu granicznego użyteczności. Wymycie gruntu spod 3 – 5 sekcji tunelu znajdujących się powyżej łącznika naruszyło statykę konstrukcji tunelu Wisłostrady. Sekcje 4, 5, 6 zostały prawdopodobnie całkowicie, a sekcje 3 i 7 częściowo zostały pozbawione podpory gruntowej.
7. Zmieniona statyka ścian szczelinowych spowodowała przemieszczenie ścian szczelinowych, co doprowadziło do zaklinowania wanien. Proces ten zapobiegł większym uszkodzeniom tunelu. Rejestracja przemieszczeń wanien wskazuje na postępujący proces osiadania.
8. Wykonane przez AGP badania georadarem oraz MASW (sejsmika) pozwoliły oszacować ubytek gruntu spod tunelu Wisłostrady na ok. 6500 m³. Obniżenie podłoża rozciąga się na długości ok. 60 m (tunel zachodni) i do 50 m (tunel wschodni). Maksymalne obniżenie wynosi 8 m pod tunelem zachodnim i 6 m pod wschodnim. Woda gruntowa występuje na głębokości ok. 2 m poniżej spodu płyty dennej wanny tunelu.
9. Zagrożenie uszkodzenia tunelu Wisłostrady jest realne. W pierwszej kolejności należy wypełnić pustkę po wymyłym gruncie. Propozycje AGP dotyczące technologii wypełnienia i rodzaju mieszanek zostały zaakceptowane w dniu 10.09.2012 r. Technologia wypełnienia pustki i szczegółowy skład mieszanek przedstawiono w projekcie zabezpieczenia [1].
10. Zwraca się uwagę, że przywrócenie tunelu do ruchu oznacza również zapewnienie właściwej współpracy konstrukcji tunelu z podłożem. Awaria zmieniała warunki pracy tunelu i wymusiła zastosowanie nowych rozwiązań. Wanny muszą odzyskać pełną

nośność i szczelność (również w stanach powodziowych jak np. w 2010 roku), podobnie należy odbudować kontakt podłoża ścianami szczelinowymi. Cały proces projektowy usunięcia skutków awarii pod tunelem należy prowadzić metodą obserwacyjną. Po zakończeniu prac naprawczych należy sprawdzić warunki pracy konstrukcji, a w przypadku wątpliwości dokonać właściwych iniekcji uzupełniających. Sprawdzenie współpracy tunelu z podłożem powinno się odbyć zgodnie z opracowanymi warunkami odbioru. Na wykonane prace należy oczekiwać gwarancji.

11. Zdaniem ITB sytuacja na budowie samego łącznika jest problemem Wykonawcy, który może go rozwiązywać własnymi siłami lub z uwagi na dość trudne warunki geotechniczne współpracować ze Zleceniodawcą oczekując doradztwa. Istnieje natomiast konieczność zatwierdzenia przez władze budowlane nowego projektu budowy łącznika. Możliwe jest tu zastosowanie różnych wzmocnienia gruntu. Wybór należy do Wykonawcy, ale przy gwarancjach całkowitego bezpieczeństwa tunelu Wisłostrady. Z dokumentacji geologicznej wynika, że południowy tunel łącznika może mieć trudniejsze warunki geotechniczne.
12. Należy przypomnieć Wykonawcy, że realizowane zadanie należy do III kategorii geotechnicznej. Projekt budowlany stacji powinien spełniać wszystkie wymagania Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. z dn. 27.04.2012). Budowa II linii metra odbywa się na podstawie kontraktu „projektuj i buduj” na gruncie prawa polskiego. Zgodnie z § 5 pkt. 1 ust. 1,3 i 5 rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 17.06.2011 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekt budowlane metra i ich usytuowanie Wykonawca/Projektant ma obowiązek uwzględnić w projekcie wpływ metra na obiekty sąsiednie, uwzględnić warunki wynikające z badań geologicznych, hydrogeologicznych oraz geotechnicznych a także ograniczyć skutki ewentualnej awarii urządzeń lub katastrofy budowlanej.