

# **MONITORING TECHNOLOGICZNYCH RAM ZABEPIECZENIA PRZEJŚĆ POPRZECZNYCH TUNELU POD MARTWĄ WISŁĄ W GDAŃSKU**

Maciej MALINOWSKI\*, Arkadiusz SITARSKI\*, Anna BANAŚ\*,  
Roman RUTKOWSKI\*  
\*) Politechnika Gdańska

## *Streszczenie*

Praca dotyczy systemu pomiarowego zastosowanego podczas monitoringu ram technologicznych wspierających drażenie przejść poprzecznych łączących oba główne korytarze tunelu pod Martwą Wisłą w Gdańsku. W pracy przedstawiono wyniki badań dwóch typów ram, uzyskane podczas wykonywania dwóch przejść. Wyniki pomiarów pozwalają na określenie stanu wyłożenia konstrukcji ram w czasie prowadzenia robót oraz na oszacowaniu rzeczywistego stanu obciążeń działających na konstrukcję tunelu i ram w tej fazie budowy.

Słowa kluczowe: diagnostyka konstrukcji, monitoring, tunele, technologia wykonania

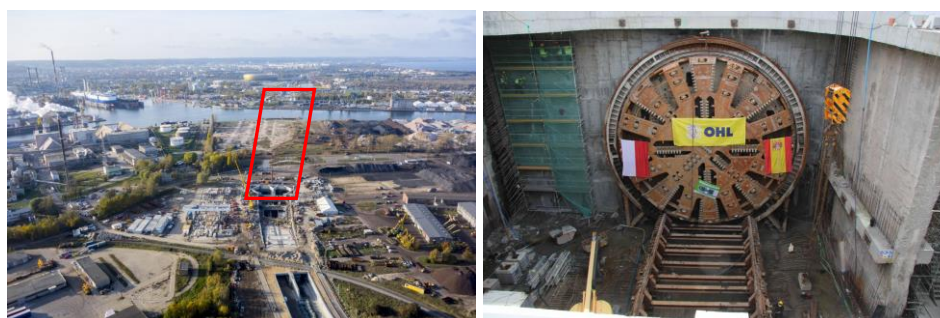
## **1. WSTĘP**

W wyniku znacznego rozwoju infrastruktury komunikacyjnej powstaje wiele znaczących, nowatorskich i wyrafinowanych obiektów inżynierskich. W celu realizacji tych budowli niezbędne jest pokonywanie kolejnych barier konstrukcyjnych, technicznych i technologicznych. Aby móc je bezpiecznie pokonywać niezbędna jest wiedza o rzeczywistym zachowaniu się – pracy wznoszonych i eksploatowanych konstrukcji. Źródłem tej wiedzy są wyniki badań in situ, takich jak próbne obciążenia [1,2,5,6,9,10,12] oraz monitorowania zachowania się obiektu zarówno w okresie etapów jego realizacji jak i podczas całego okresu jego eksploatacji [1,3,7,8,14,15].

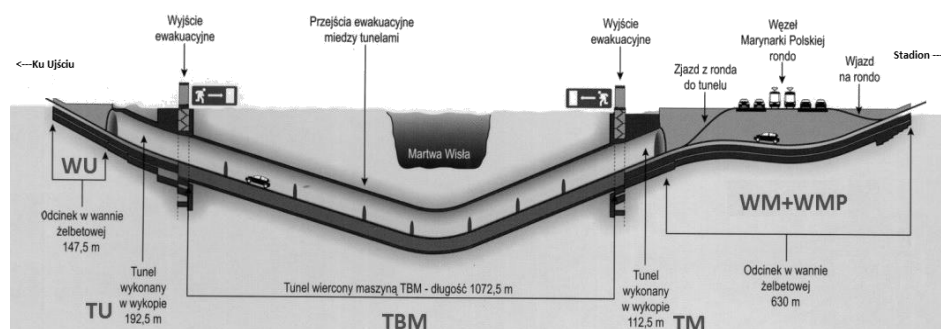
Niniejsza praca dotyczy systemu monitorowania ram technologicznych wspierających drażenie przejść poprzecznych łączących oba główne korytarze tunelu pod Martwą Wisłą w Gdańsku.

## 2. CHARAKTERYSTYKA INWESTYCJI I OBIEKTU

Od 2011 roku w Gdańsku realizowana jest inwestycja mająca na celu połączenie zachodniej części miasta z Wyspą Portową - budowa Trasy Słowackiego [13]. W jej ramach wykonano tunel drogowy pod dnem Martwej Wisły (rys.1), wykonany innowacyjną jak na polskie warunki technologią przewiertu maszyną drążącą typu TBM Mixshield [4,11].



Rys. 1. Lokalizacja tunelu. (źródło: GIK) oraz głowica TBM w drugiej nitce tunelu



Rys. 2. Schematyczny przekrój podłużny przez tunel. (źródło: GIK)

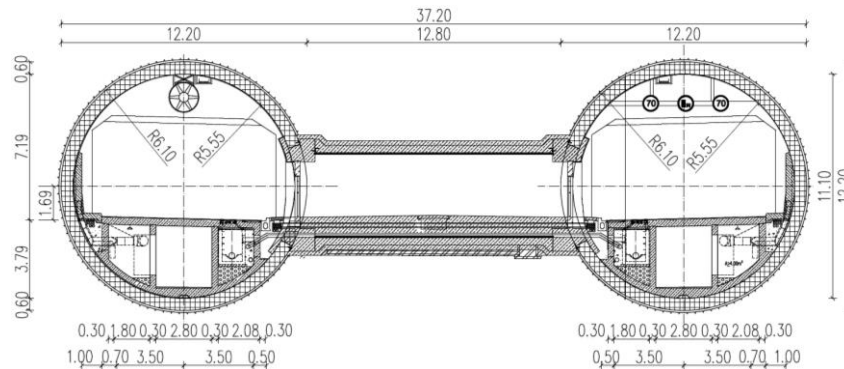
Konstrukcja tunelu składa się z dwóch niezależnie wykonanych korytarzy, każdy o długości 1377,5m, przy czym drążenie przy użyciu TBM wykonano na odcinku równym 1072,5m. Całkowita długość obiektu inżynierskiego wynosi 2159m (rys.2).

Ze względu na bezpieczeństwo użytkowania tunelu oba korytarze połączone są poprzecznymi przejściami (rys.3), umożliwiającymi ewakuację z zagrożonej części obiektu. Konstrukcję poprzecznych korytarzy wykonuje się z wykorzystaniem technologii zamrażania gruntu. Po wykonaniu zmarzliny realizuje się następujące etapy prac:

- 1) montaż stalowej, technologicznej ramy zabezpieczającej,
- 2) wykonanie przecięcia obudowy tunelu (usunięcie fragmentów tubingów),



- 3) drążenie przejścia wraz z jednoczesnym wykonaniem obudowy wstępnej w postaci zbrojonego płaszcza torkretowego,
- 4) wykonanie obudowy zasadniczej oraz montaż słuz bezpieczeństwa.



Rys.3. Przekrój poprzeczny tunelu wraz z przejściem poprzecznym

Celem stosowania wyżej wymienionej technologii jest ograniczeniu dopływu wód gruntowych w obrębie wykonywanych przejść, szczególnie w strefie dna rzeki. Ze względu na trudności w jednoznacznym określeniu rzeczywistych obciążeń i redystrybucji sił wewnętrznych w ustroju, a także ryzyko ewentualnego wystąpienia stanu awaryjnego postanowiono dodatkowo wzmocnić pierścienie tunelu w bezpośrednim sąsiedztwie otworów za pomocą stalowych ram technologicznych. W zależności od usytuowania przejść poprzecznych po długości tunelu, zastosowano dwa rodzaje ram technologicznych: małe i duże (rys. 4 i 5).

Z uwagi na niestandardowy charakter przyjętych rozwiązań technologicznych podjęto decyzję o monitorowaniu stanu wyężenia konstrukcji tunelu i ram tymczasowych podczas wykonywania przejść poprzecznych. Badania powierzono Laboratorium Badań Terenowych Politechniki Gdańskiej.

## 2. SYSTEM MONITORINGU TENSOMETRYCZNEGO

### 2.1. Cel i zakres badań

Program kontroli i monitoringu tensometrycznego ram technologicznych wspierających drążenie przejść poprzecznych łączących oba korytarze tunelu został opracowany przez zespół Laboratorium Badań Terenowych Politechniki Gdańskiej przy współdziałaniu prof. Krzysztofa Żółtowskiego reprezentującego Nadzór Naukowy przy budowie tunelu.



Celem badań jest określenie stanu wyężenia konstrukcji ram technologicznych w czasie prowadzenia robót oraz oszacowanie rzeczywistego stanu obciążeń działających na konstrukcję tunelu i ram.

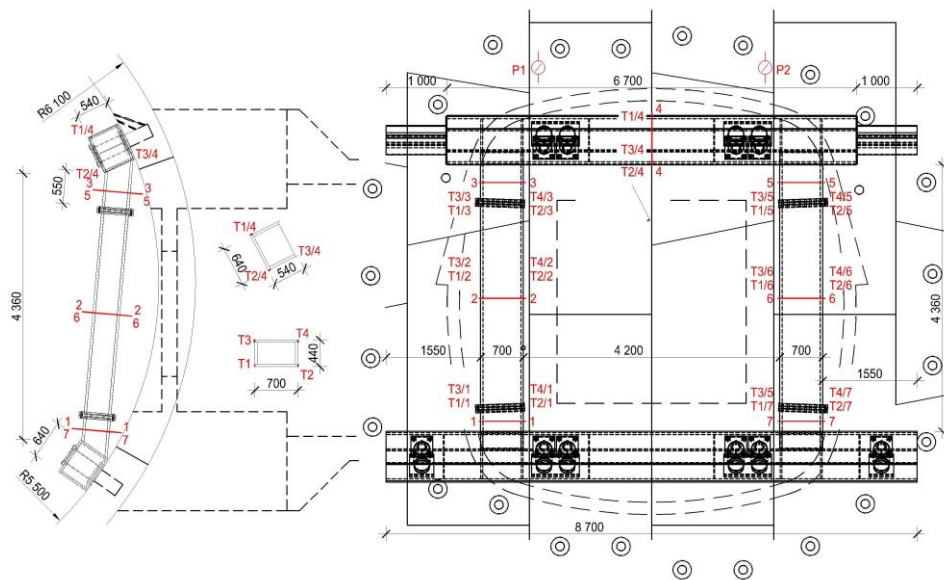
Badania obejmują pomiary odkształceń/naprężeń w elementach ram technologicznych oraz przemieszczenia względne elementów obudowy tunelu – tubingów nad wykonywanym otworem przejścia poprzecznego.

## 2.2. Metodyka badań

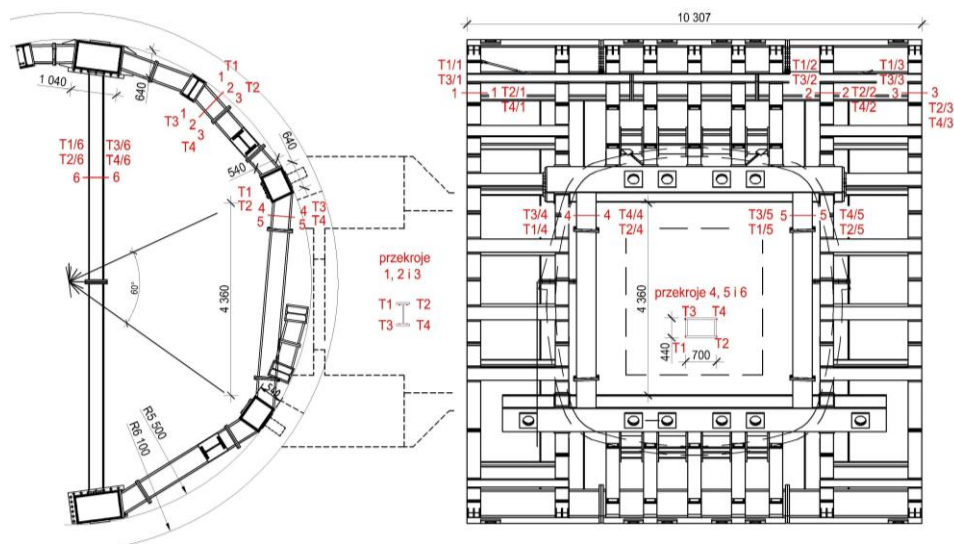
W ramach systemu monitoringu założono sekcje pomiarowe na dwóch reprezentatywnych ramach – jednej małej i jednej dużej.

Na konstrukcji małej ramy technologicznej T2-XP1 założono ogółem 28 tensometrycznych punktów pomiarowych (rys. 4) zlokalizowanych w sześciu przekrojach pomiarowych na obu słupach ramy i w jednym przekroju na ryglu ramy. W każdym przekroju pomiarowym zainstalowano po 4 czujniki. Dodatkowo nad ramą założono dwa punkty pomiarowe przemieszczeń względnych tubingów.

Na konstrukcji dużej ramy technologicznej T2-XP4 założono ogółem 24 tensometryczne punkty pomiarowe (rys. 5) rozmieszczone w trzech przekrojach na belkach obwodowych, w dwóch przekrojach na obu niższych słupach oraz w jednym przekroju na wyższym słupie. W tym przypadku, z przyczyn technicznych, nie zainstalowano punktów pomiarowych przemieszczeń względnych tubingów.



Rys.4. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na małej ramie technologicznej T2-XP1 przy przejściu poprzecznym tunelu



Rys.5. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na dużej ramie technologicznej T2-XP4 przy przejściu poprzecznym tunelu

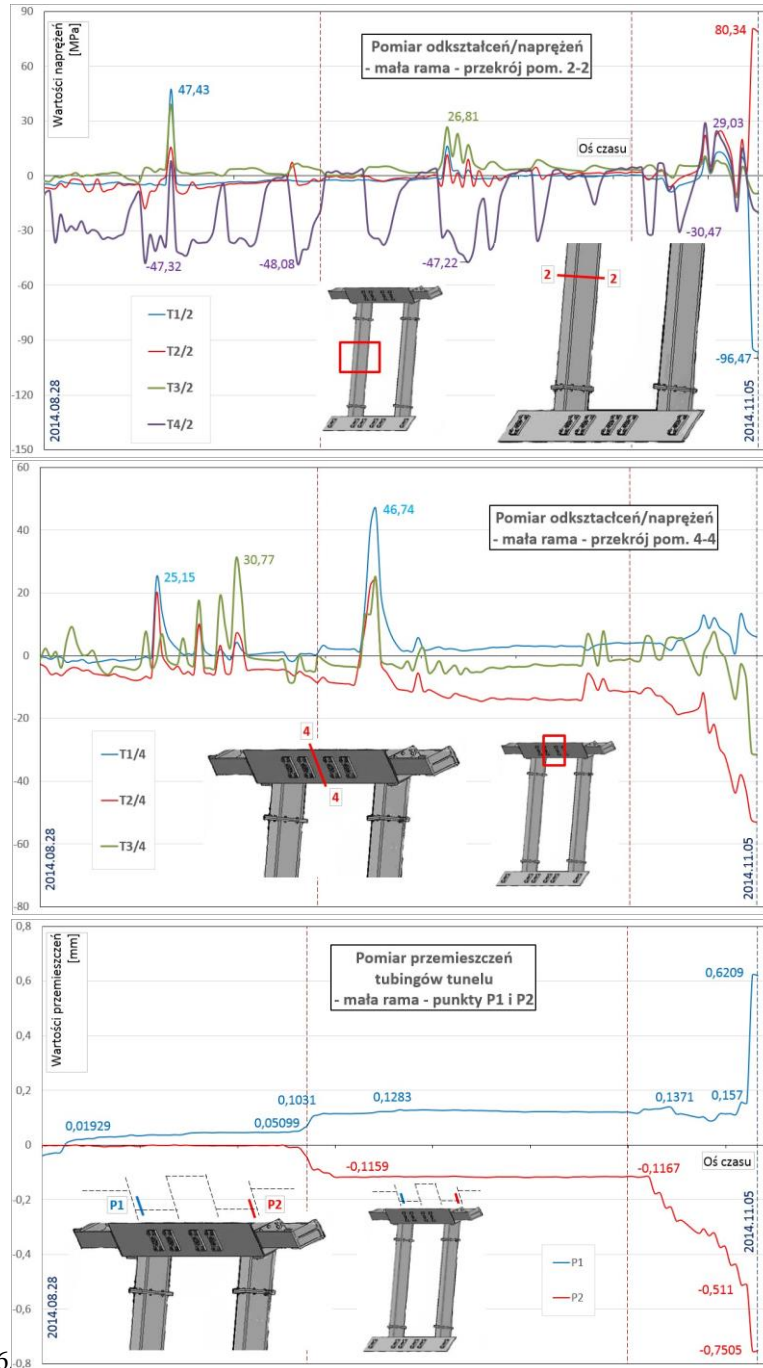
Pomiar odkształceń/naprężeń i przemieszczeń oraz rejestrację wyników prowadzono periodycznie oraz każdorazowo w sposób ciągły przy realizacji poszczególnych etapów prac.

### 2.3. Wyniki badań

W pracy przedstawiono wyniki badań dwóch typów ram, uzyskane podczas wykonywania dwóch przejść.

Pomiar odkształceń/naprężeń w konstrukcji małej ramy T2-XP1 oraz przemieszczeń względnych tubingów nad wykonywanym otworem prowadzono w okresie od 2014-08-28 do 2014-11-05 (rys. 6,7).

Pomiar odkształceń/naprężeń w konstrukcji dużej ramy T2-XP4 prowadzono w okresie od 2014-10-27 do 2015-02-09 (rys. 8, 9).



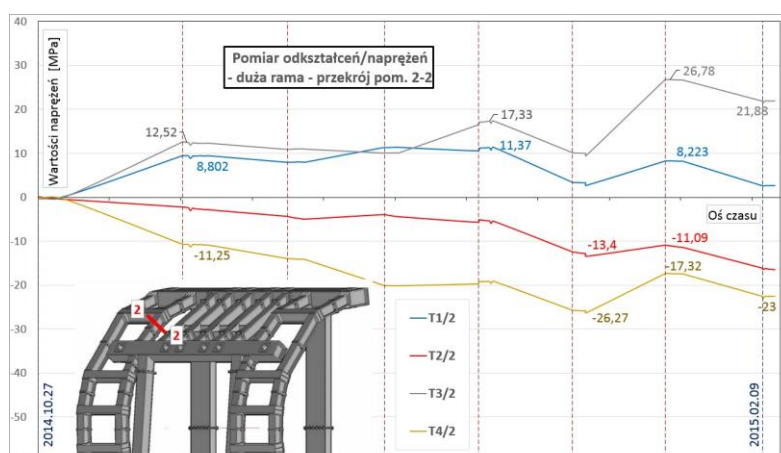
Rys. 6

ramy oraz przemieszczeń względnych tubingów

małej



Rys. 7. Etapy wykonywania przejścia poprzecznego przy małej ramie technologicznej T2-XP1



Rys. 8. Reprezentatywne wyniki – przebiegi czasowe naprężeń w konstrukcji dużej ramy





Rys.9. Etapy wykonywania przejścia poprzecznego przy dużej ramie technologicznej T2-XP4

Ekstremalne zarejestrowane wartości naprężeń w badanych ramach przedstawiono w tabeli 1.

Tabela1. Zestawienie ekstremalnych pomierzonych wartości naprężeń

Rama	Ekstremalne wartości naprężeń w przekrojach pomiarowych ram [MPa]						
	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	7-7
Rama mała	14,2	26,3	21,0	119,0	113,8	13,1	-
Rama duża	162,9	96,5	96,5	49,1	53,0	42,5	36,8



#### 4. WNIOSKI

W czasie prowadzonych pomiarów nie stwierdzono istotnych przemieszczeń względnych elementów obudowy tunelu – tubingów nad wykonywanym otworem przejścia poprzecznego.

Poziom wyteżenia stalowych ram podczas prowadzenia prac świadczy o bezpiecznym stopniu wyteżenia konstrukcji.

Uzyskane dane są podstawą do uaktualnienia przyjętych modeli obliczeniowych i oszacowania rzeczywistego stanu obciążeń działających na konstrukcję tunelu i ram podczas etapów robót przyjętej technologii wykonania przejść poprzecznych.

Prezentowany system potwierdza sens współpracy profesjonalnych jednostek badawczych zarówno z projektantami jak i wykonawcami nowatorskich i nietypowych obiektów inżynierskich.

#### LITERATURA

1. Bień J. *Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych*. WKiŁ, 2010. ISBN 978-83-206-1791-7.
2. Bień J., Gładysz-Bień M.: *Klasyfikacja diagnostycznych badań obiektów mostowych*. *Inżynieria i Budownictwo* 7/2014 s.368-371. ISSN 0021-0315.
3. Biliszczuk J., Barcik W., Sieńko R.: *System monitorowania mostu w Puławach*. *Mosty* 4/2009 s.28-31. ISSN 1896-7663.
4. Kołakowski T., Kosecki W., Leusz R., Grunt M., Piwoński J., Mazurkiewicz B.: *Konstrukcja przeprawy tunelowej pod Martwą Wisłą w Gdańsku*. *Geoinżynieria, drogi, mosty, tunele*, 4/2013 (45) s.76-79.
5. Łagoda G. Łagoda M.: *Zagadnienia obciążeń próbnych w diagnostyce mostów*. *Inżynieria i Budownictwo* 7/2014 s.368-371. ISSN 0021-0315.
6. Łagoda M., Oleszak P.: *Rola próbnych obciążeń na przykładzie trzech dużych mostów*. *Drogownictwo* 12/2003 s.392-399. ISSN 0012-6357.
7. Madaj A., Wołowicki W.: *Elementy diagnostyki i utrzymania mostów*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1991.
8. Malinowski M. *Monitoring der "Brücke des III. Jahrtausends" in Danzig*. *Stahlbau* 8/2003, s. 567-573. ISSN 0038-9145.
9. Malinowski M., Rutkowski R.: *Badania mostu III Tysiąclecia im. Jana Pawła II w Gdańsku w trakcie trzyletniej eksploatacji*. *Inżynieria i Budownictwo* nr 6/2005, s. 323-326. ISSN 0021-0315.
10. Malinowski M., Banaś A., Cywiński Z., Wąchalski K.: *Die neue Straßenbrücke in Toruń, Polen – Teil 2: Nachweise*. *Stahlbau* nr 5/2015, s. 305-313. ISSN 0038-9145.
11. Mazurkiewicz B. *Kilka słów o budowie tunelu pod Martwą Wisłą w Gdańsku ...* *Geoinżynieria, drogi, mosty, tunele*, 1/2014 (46) s.64-67.



12. Salamak M. *O potrzebie standaryzacji badań odbiorowych obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem dynamicznym*. Inżynieria i Budownictwo 7/2014 376-380. ISSN 0021-0315
13. Sumara A. *Gdańskie trasy komunikacyjne wraz z tunelem przez Martwą Wisłę*. Geoinżynieria, drogi, mosty, tunele, 5/2012 (40) s.32-36.
14. Żółtowski K., Malinowski M., Hildebrandt M.: *Monitoring mostów podwieszonych*. Mosty nr 3/2009, s.16-24. ISSN 1896-7663.
15. Żółtowski K., Romaszkiwicz T.: *Roof over PGE Arena in Gdańsk. Review of structure and monitoring system*. 18th IABSE Congress Seoul 2012.

### Summary

This work concerns the measurement system used during the monitoring of technological frameworks which were supports for drilling process of two transversal main corridors of the tunnel under the Dead Vistula River in Gdańsk. The article presents the results for two types of frames obtained during drilling of two passes. The measurement results allow to determine the state of effort of the framework during the execution of the works and to estimate the actual state of loads acting on the tunnel structure and framework in this phase of construction.