

*Andrzej Makowski  
Marek Bonk  
Andrzej Wilczyński*

# **Zastosowanie nowatorskich rozwiązań technologii betonu w budownictwie komunikacyjnym na przykładzie budowy muru oporowego M-1 w ciągu linii Pomorskiej Kolei Metropolitarnej w Gdańsku**

THE USE OF INNOVATIVE CONCRETE TECHNOLOGY IN COMMUNICATION  
CIVIL ENGINEERING –BUILDING OF RETAINING WALL M –1 OVER  
METROPOLITAN POMORSKA RAILWAY LINE IN GDAŃSK

## **Streszczenie**

Autorzy referatu prezentują nowatorską technologię betonów konstrukcyjnych zastosowaną do wykonania muru oporowego (wysokość do 8 m, długość do 330 m) stanowiącego podporę toru kolejowego, wykonanego w ramach budowy Pomorskiej Kolei Metropolitarnej realizowanej w latach 2013–2015 w Gdańsku. Ze względu na konieczność utrzymania ruchu kolejowego na sąsiednich torach oraz znacząco ograniczony dostęp do placu budowy, mur ten wymagał zastosowania nowatorskich rozwiązań technologii betonu konstrukcyjnego w zakresie m.in. transportu mieszanki betonowej rurociągami poziomymi na odległość do 330 m, zlokalizowanymi pod czynnym torowiskiem kolejowym.

## **Abstract**

Authors of the paper presents innovative construction concrete technology used to made retaining wall (high up to 8 m, length up to 330 m). Retaining wall is a support of railway track made for building site - Metropolitan Pomorska Railway line in Gdańsk build from 2013 to 2015.

---

*Andrzej Makowski – Budimex S.A.*

*Marek Bonk – P.P.M.B. Bosta Beton Sp. z o.o.*

*Andrzej Wilczyński – Sika Poland Sp. z o.o.*

Because of necessity of maintaining the railway traffic on the adjacent tracks, and significantly limited access to the building site, the wall required to use innovative technology solutions in the field of construction concrete including: transport concrete by pipelines –horizontal distance up to 330 m under the active railways tracks.

## 1. Wstęp

Spółka Pomorska Kolej Metropolitalna została powołana w maju 2010 roku przez Samorząd Województwa Pomorskiego celem przygotowania projektu i wybudowania linii kolejowej łączącej zachodnie dzielnice Gdańska i Gdyni z międzynarodowym portem lotniczym im. Lecha Wałęsy oraz największymi miastami na Kaszubach. Projekt obejmował ponadto częściową rewitalizację przedwojennej Kolei Kokoszkowskiej, zniszczonej podczas II wojny światowej w 1945 roku. Pierwotne plany zakładały ukończenie inwestycji przed Mistrzostwami Europy w Piłce Nożnej EURO 2012, jednak budowa rozpoczęła się dopiero w maju 2013.

Budowa Pomorskiej Kolei Metropolitarnej jest dotychczas największą w Polsce inwestycją w całości zrealizowaną przez samorząd województwa bez udziału PKP. Pomorska Kolej Metropolitalna została oficjalnie oddana do użytku 1 września 2015 r.

Autorzy artykułu skupili się na przedstawieniu prac związanych z technologią betonu wykorzystaną przy budowie muru oporowego M-1, zlokalizowanego przy stacji Szybkiej Kolei Miejskiej [SKM] Gdańsk–Zaspa.

## 2. Podstawowe informacje o inwestycji

Inwestor: Pomorska Kolej Metropolitalna S.A.; spółka powołana 31 maja 2010 r.

Biuro projektowe: Transprojekt Gdański Sp. z o.o.

Wykonawca: konsorcjum firm Budimex S.A. i Ferroviaľ Agroman S.A.

Wartość projektu: ok. 950 mln PLN.

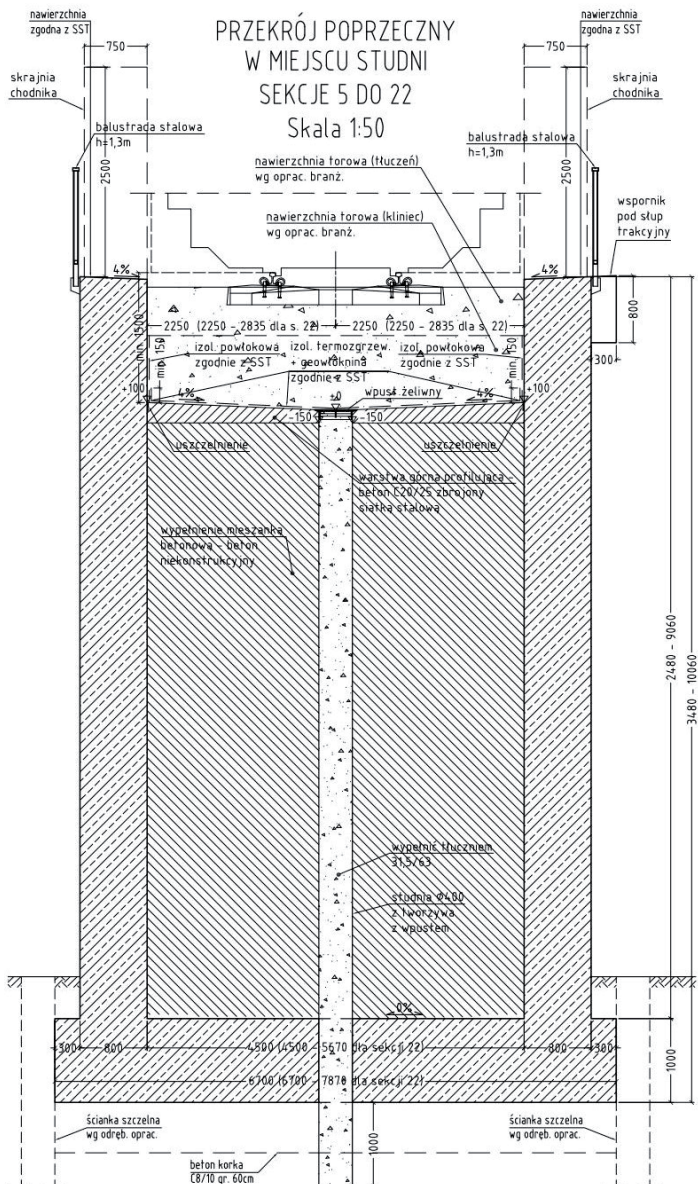
Liczba obiektów inżynierskich:

- wiadukty kolejowe – 17 szt.
- przepusty i przejścia pod torami – 15 szt.
- wiadukty drogowe – 5 szt.
- kładki dla pieszych – 4 szt.

Ilość mieszanki betonowej dostarczonej do wykonania Muru M-1 :

- podbudowa C8/10 X0 – 2000 m<sup>3</sup>,
- konstrukcja C30/37 XC4, XS1, XD2, XF4, XA2 (W10, F200, N<5%) – 5000 m<sup>3</sup>,
- wypełnienie B7,5 – 5000 m<sup>3</sup>

Obiekt M-1 jest murem oporowym służącym do włączenia jednego toru linii Pomorskiej Kolei Metropolitarnej do istniejącej linii kolejowej E65. Jego wysokość sięga do 8 m natomiast długość wynosi około 330 m z dylatacjami co 15 m. Mur ten zlokalizowany jest pomiędzy linią E65 oraz linią Szybkiej Kolei Miejskiej dzięki czemu umożliwia on dojazd pociągów PKM do stacji kolejowej Gdańsk–Wrzeszcz. Szczegółowy przekrój omawianego obiektu został przedstawiony na rysunku nr 1.



Rys. 1. Przekrój Obiektu M-1

### 3. Opis prowadzonych prac

Prace związane z powstawaniem muru oporowego rozpoczęły się w sierpniu 2014 r. i zakończyły w kwietniu 2015 r.

Ze względu na skomplikowaną lokalizację obiektu konieczne było prowadzenie robót przy czynnych zelektryfikowanych torach Szybkiej Kolei Miejskiej oraz linii E65, zlokalizowanych po obu stronach placu budowy, co uniemożliwiło pracę tradycyjnych pomp do betonu. Dodatkowym utrudnieniem była możliwość użytkowania tylko jednego tymczasowego wjazdu na teren budowy, prowadzącego przez czynne torowisko, którego użytkowanie było możliwe jedynie w uzgodnionych godzinach. Dostawy mieszanki betonowej mogły odbywać się jedynie z punktu oddalonego o około 330 m od miejsca docelowego wbudowania mieszanki.

Takie warunki zmusiły Wykonawcę do szukania alternatywnej metody podawania mieszanki betonowej. Został w tym celu wykonany rurociąg pod czynnymi torami kolejowymi linii E65, którym docelowo została podana mieszanka betonowa.

Technolog firmy Budimex, we współpracy z firmą Sika oraz Bosta Beton, opracował specjalną receptę mieszanki betonowej, zdolną do pompowania jej rurociągiem na odległość do 330 m.



Fot. 1. Montaż zbrojenia muru M-1



Fot. 2. Pompa stacjonarna z widocznym fragmentem rurociągu



Fot. 3. Fragment rurociągu

## 4. Projektowanie mieszanki betonowej

Podczas projektowania składu mieszanki betonowej zostały uwzględnione następujące wytyczne:

- bezpośrednie posadowienie konstrukcji
- fundament płytowy o grubości 1m
- sekcje długości 15 m
- wysokość od 1,5 m do 8 m
- ściany grubości 0,8 m
- brak możliwości dojazdu samochodów ciężarowych do placu budywy
- konieczność pompowania mieszanki rurociągiem umieszczonym pod torowiskiem na odległość do 330 mb.
- uzyskanie wymaganej pompowności przy zastosowaniu kruszyw łamanych (grysy granitowe)
- obiekt zaprojektowany wg standardów technicznych PKP PLK

### 4.1. Dobór receptur:

- chudy beton z mieszanki betonowej klasy C8/10
- **cement CEM I 42,5R**, zastosowany z uwagi na krótki czas wiązania podyktowany koniecznością prowadzenia dalszych robót po upływie 16 godzin od zakończenia betonowania,
- **popiół lotny**, który poprawia urabialność oraz pompowność mieszanki betonowej.
- fundament i ściany z mieszanki betonowej klasy C30/37
- **cement CEM III/A 42,5N-HSR/NA**, który charakteryzuje się długim czasem rozpoczęcia wiązania sięgającym do 250 min, niskim ciepłem hydratacji oraz umożliwia osiągnięcie projektowanych klas ekspozycji (XC4, XS1, XD2, XF4, XA2),

- **domieszki chemiczne**, dzięki którym możliwe było uzyskanie doskonałej urabialności, oraz utrzymanie stabilnego napowietrzenia.
- wypełnienie korpusu z mieszanki betonowej klasy B7,5 (beton wypełniający, na którym ułożono izolację i konstrukcję torowiska, zastosowany zamiennie za zasypkę muru)
- **cement CEM I 42,5R**, zastosowany z uwagi na krótki czas wiązania podyktowany koniecznością prowadzenia dalszych robót po upływie 16 godzin od zakończenia betonowania,
- **popiół lotny**, który poprawia urabialność oraz pompowalność mieszanki betonowej.

Tabela 1. Zestawienie klas betonu i wymagań dla muru oporowego

<b>Mur M-1</b>	
B7,5 >K5 (zaprojektowany do podawania rurociągami)	beton wypełniający korpus muru – pompowanie dodatkowym rurociągami
C8/10 S4 (zaprojektowany do podawania rurociągami)	chudy beton pod fundament muru – pompowanie dodatkowym rurociągami
C8/10 S3 (podawanie zwykłą pompą)	chudy beton pod fundament muru – pompowanie tylko pompą samochodową
C30/37 S4/S5 F200, W10, N<5% (zaprojektowany do podawania rurociągami)	beton konstrukcyjny muru (na CEM III) – pompowanie dodatkowym rurociągami
C30/37 S3 F200, W10, N<5% (podawanie zwykłą pompą)	beton konstrukcyjny muru (na CEM III) – pompowanie tylko pompą samochodową
C30/37 S3 F200, W10, N<5% (podawanie zwykłą pompą)	beton konstrukcyjny fundamentu muru (na CEM I) – pompowanie tylko pompą samochodową

## 4.2. Dobór składu mieszanki betonowej do wykonania muru oporowego

Najważniejszym zadaniem było opracowanie recepty na beton klasy C30/37 w oparciu o standardy techniczne PKP PLK – tom III przy jednoczesnej możliwości pompowania mieszanki na duże odległości.

Zostały w tym celu wybrane następujące składniki do zarobów próbnych:

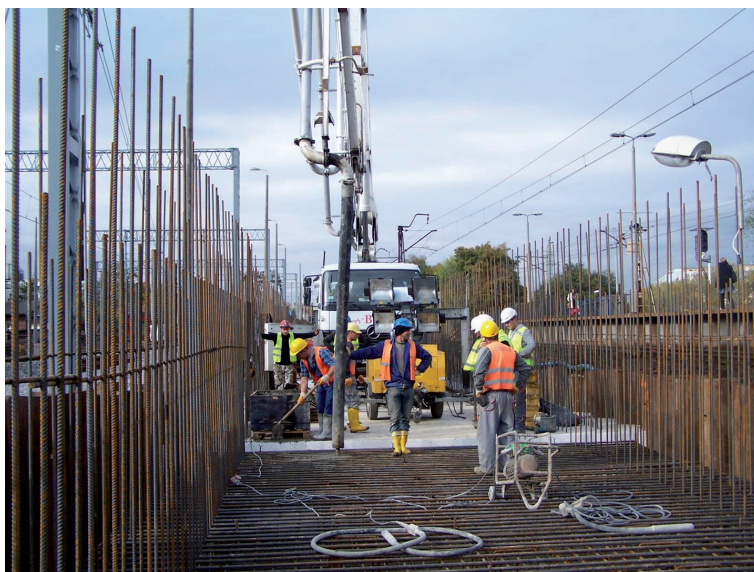
- dwa rodzaje cementów hutniczych klasy 42,5,
- kruszywo granitowe Glensanda,
- superplastyfikator Sika Viscocrete 3088M,
- plastyfikator o działaniu opóźniającym BVT99,
- napowietrzacz Sika LPSA-945
- stabilizator Sika 4R (konieczny ze względu na silne upłynnienie mieszanki oraz jej pompowanie na dużą odległość).

Zaroby próbne, wraz z pełnymi badaniami, zostały wykonane w laboratorium firmy Budimex w Gdańsku. Dodatkowo dla betonu konstrukcyjnego, przed zastosowaniem recepty wykonano badanie AVA oraz sprawdzono rozkład porów.

Tabela 2. Wybrany skład przedmiotowej mieszanki betonowej C30/37

Skład mieszanki betonowej na 1m <sup>3</sup> betonu Dozowanie domieszek w [%] do masy cementu	
Składniki	Ilość na 1m <sup>3</sup>
Cement CEM III/A 42,5 N-HSR/NA	395 kg
Kruszywa (piasek 0/2, grys granitowy 2/8 i 8/16)	1754 kg
Punkt piaskowy	< 40%
Projektowana zawartość powietrza	4,80%
Superplastyfikator typu Viscocrete	0,65%
Plastyfikator o działaniu opóźniającym BVT99	0,25%
Napowietrzacz LPSA-945	0,18%
Stabilizator 4R	0,12%
woda	163 l.

W celu sprawdzenia doboru składników recepty mieszanki betonowej przed jej zastosowaniem została przeprowadzona próba z wykorzystaniem rurociągu, która potwierdziła poprawność recepty.



Fot. 4. W trakcie prac

## 5. Technologia wykonania

Wylot rurociągu został podłączony do pompy samochodowej, która pracowała z wyłączonym silnikiem nie tworząc przy tym dodatkowej siły tłoczenia mieszanki betonowej.



Służyła ona jedynie za podajnik mieszanki w miejsce wbudowania, natomiast jedyną pompą, która tłoczyła mieszankę przez rurociąg oraz pompę samochodową była pompa stacjonarna.

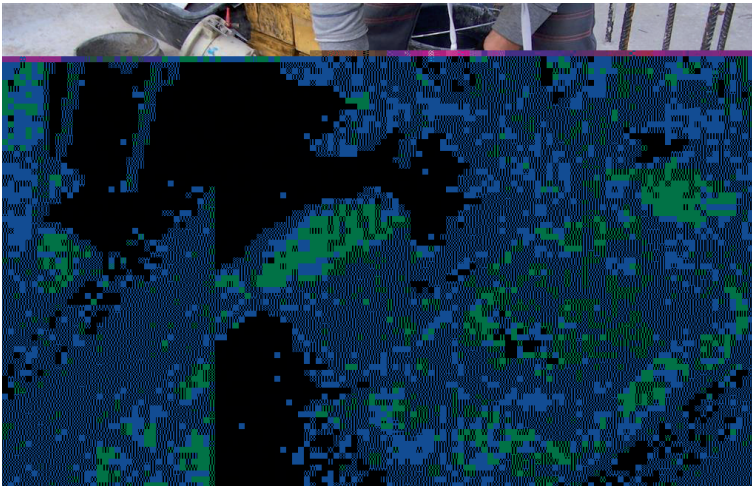
Podział prac przy wykonaniu robót wyglądał następująco:

- Firma Bosta Beton:
  - Dostarczenie mieszanki betonowej
  - Dostarczenie rurociągu
  - Dostarczenie pompy stacjonarnej typu BSA (Putzmeister)
- Firma Budimex:
  - Wybudowanie rurociągu pod czynnymi torami SKM,
  - Wbudowanie mieszanki betonowej.

Parametry mieszanki betonowej w momencie wbudowywania wynosiły:

- Konsystencja: 20÷22 cm (opad stożka),
- Zawartość powietrza: 5÷6% (przy projektowanej 4,8%).

Mieszanka była zagęszczana w sposób tradycyjny za pomocą wibratorów wgłębnych. Wykonawca zwrócił szczególną uwagę na dostosowanie pracy wibratorów do konsystencji mieszanki betonowej, dzięki czemu udało się osiągnąć wszystkie projektowane parametry stwardniałego betonu konstrukcyjnego.



Fot. 5. Po badaniu zawartości powietrza w mieszance i opadu stożka

## 5.1. Wybrane parametry stwardniałego betonu konstrukcyjnego C30/37

Tabela 3. Badania betonu stwardniałego C30/37

Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach		59,5	63,1	53,7	57,1	56,7
Wytrzymałość na ściskanie po 56 dniach		68,5	66,2	59,8	63,4	64,2
Mrozoodporność betonu [badania wykonano po 90 dniach]	Spadek wytrzymałości po 200 cyklach zamrażania/odmrażania [%]	3,2	1,3	1,9	1,2	0,3
	Ubytek masy po 200 cyklach zamrażania/odmrażania [%]	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1
Nasiąkliwość betonu [%], warunek < 5%		4,2	4,7	4,5	4,4	4,6



Fot. 6. Widok na mur oporowy



Fot. 7. Pompowanie betonu wypełniającego B7,5

## 6. Podsumowanie

Ze względu na ograniczony dostęp do placu budowy, przy wykonywaniu obiektu M-1 Wykonawca stanął przed wyzwaniem opracowania nowoczesnej mieszanki betonowej, dzięki której wykonanie tego typu robót było możliwe bez konieczności czasowego wyłączenia linii kolejowej z ruchu. Po raz pierwszy w Polsce przepompowano mieszankę betonową zaprojektowaną z wykorzystaniem kruszywa łamanego na odległość 330 mb. Bardzo pomocnym przy tym okazały się Standardy Techniczne PKP PLK – tom III, Obiekty Inżynierskie (2010), które w świetle prawa dają możliwość stosowania betonów konstrukcyjnych opartych na spoiwach z grupy CEM III. Zupelnie niezbędne stanowisko w tym temacie zajmuje obowiązujące Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie drogowych obiektów inżynierskich z 2000 r., które całkowicie wyklucza możliwość stosowania w obiektach inżynierskich betonów konstrukcyjnych opartych na cementach innych niż CEM I.

W czerwcu 2015 roku budowa Pomorskiej Kolei Metropolitarnej otrzymała tytuł Budowy Roku. Organizatorem tego prestiżowego konkursu jest Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa.



Fot. 8. Widok na gotowy mur oporowy i stację kolejki SKM Gdańsk–Zaspa



Fot. 9. Widok na gotowy mur M-1

## **Literatura**

- [1] Standardy techniczne – szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem) - TOM III - KOLEJOWE OBIEKTY INŻYNIERYJNE.
- [2] ST – Pomorska Kolej Metropolitalna Etap I – rewitalizacja „Kolei Kokoszkowskiej” – Transprojekt Gdański Sp. z o.o.
- [3] norma PN-EN 206-1.
- [4] norma PN-88/B-06250.
- [5] portal internetowy [trójmiasto.pl](http://trójmiasto.pl)