



**PRZEDSIĘBIORSTWO "GEOSYNTEX" Spółka z o. o.**

---

ul. Wyspiańskiego 15a  
81-435 GDYNIA  
tel. (0-58) 622-03-83 fax: (0-58) 622-16-43

---

## **WSTĘPNA OPINIA DOTYCZĄCA POSADOWIENIA MOSTU BRDOWSKIEGO PRZEZ RZEKĘ ODRE W SZCZECINIE**

BRANŻA: Geotechnika  
ZLECENIODAWCA: MARS Most Brdowski Sp. z o. o.,  
ul. Ludowa 13, 71-700 Szczecin

**Autorzy:**

prof. dr hab. inż. Eugeniusz Dembicki

*Uprawnienia konstrukcyjne i instalacyjne Nr 736/59*

*Uprawnienia budowlane w specjalności inżynieria wodna Nr562/72/G*

*Uprawnienia geologiczne Nr VI-0356/97*

*Certyfikat PKG Nr 0001*

dr inż. Marcin Cudny

*Certyfikat PKG nr 0203*

dr inż. Andrzej Słabek

**Prezes:**

prof. dr hab. inż. Eugeniusz Dembicki

Gdynia, maj 2013 r.

## 1. Wstęp

Niniejszą opinię wykonano na zlecenie firmy MARS Most Brdowski Sp. z o. o., ul. Ludowa 13, 71-700 Szczecin z dnia 02.05.2013. Dotyczy ona wstępnej oceny poprawności projektu posadowienia Mostu Brdowskiego wykonanego przez firmę Tebodin Poland Sp. z o.o., ul. Taśmowa 7, 02-677 Warszawa. W opinii przedstawiono wyniki obliczeń nośności podpór palowych i przedstawiono ogólną opinię dotyczącą przyjętego układu fundamentowego przyczółków i podpór nurtowych Mostu Brdowskiego.

## 2. Zakres prac

W ramach prac szczegółowo przestudiowano dostępną dokumentację dotyczącą rozpoznania warunków gruntowych oraz dokumentację projektową dotyczącą przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych. Sprawdzono nośność głównych elementów nośnych posadowienia głębokiego tj. wierconych pali wielkośrednicowych. Siły obliczeniowe działające na pale poszczególnych fundamentów przyjęto wg dostarczonej dokumentacji projektowej.

## 3. Wykorzystane materiały

Opinię przygotowano wykorzystując następujące opracowania i materiały:

- [1] Połączenie mostowo – drogowe w celu skomunikowania terenów inwestycyjnych *Gryfia Biznes Park*, Most Brdowski, Projekt budowlany, Tebodin Poland Sp. z o.o., Katowice, 10.2012
- [2] Połączenie mostowo – drogowe w celu skomunikowania terenów inwestycyjnych *Gryfia Biznes Park*, Most przez rzekę Odrę wraz z drogą dojazdową, Projekt wykonawczy, Tebodin Poland Sp. z o.o., Katowice, 02.2013
- [3] Dokumentacja badań podłoża gruntowego dla projektu i budowy mostu nad rzeką Odrą łączącego ląd z Brdowskim Ostrowem w Szczecinie *Połączenie mostowo-drogowe w celu skomunikowania terenów inwestycyjnych Gryfia Biznes Park*. GT Projekt Sp. z o.o., Swadzim k. Poznania, 10.2012.
- [4] Dokumentacja geologiczno – inżynierska określająca warunki geologiczno-inżynierskie dla projektu i budowy mostu nad rzeką Odrą łączącego ląd z Brdowskim Ostrowem w Szczecinie *Połączenie mostowo-drogowe w celu skomunikowania terenów inwestycyjnych Gryfia Biznes Park*. GT Projekt Sp. z o.o., Swadzim k. Poznania, 11.2012.

- [5] Projekt geotechniczny dla projektu i budowy mostu nad rzeką Odrą łączącego ląd z Brdowskim Ostrowem w Szczecinie *Połączenie mostowo-drogowe w celu skomunikowania terenów inwestycyjnych Gryfia Biznes Park*. GT Projekt Sp. z o.o., Swadzim k. Poznania, 11.2012.

#### 4. Przyjęta koncepcja posadowienia Mostu Brdowskiego

Układ fundamentowy Mostu Brdowskiego składa się z dwóch fundamentów przyczółków oraz dwóch podpór nurtowych podpierających dwa przęsła mostu. Obciążenie z łożysk przekazywane jest na filary fundamentów posadowionych na palach wierconych. W przypadku przyczółków fundamenty spoczywają na grupie 10 pali wierconych o średnicy  $D=1,2$  m i długości  $L=20,0$  m. W przypadku podpór nurtowych fundamenty spoczywają na grupie 8 pali wierconych o średnicy  $D=1,5$  m i długości  $L=24,93$  m. Spody fundamentów przyczółków zaprojektowano na poziomie  $0,0$  m n.p.m. (przyczółek A) i  $-1,6$  m n.p.m. (przyczółek D). Spoczywają one w nasypach niekontrolowanych, które z kolei zalegają nad słabonośnymi gruntami organicznymi (namuły, torfy, gytie). Spody fundamentów podpór nurtowych B i C zaprojektowano na tym samym poziomie tj.  $-0,9$  m n.p.m. Fundamenty podpór nurtowych zasadniczo opierają się na palach wielkośrednicowych jednakże znajdują się w koronie gródzy wykonanej w obudowie ścianki szczelnej. Grodze wypełnione są gruntem ziarnistym, natomiast bezpośrednio pod fundamentem zaprojektowano warstwę ustabilizowaną w technologii iniekcji strumieniowej (*jet-grouting*) o grubości  $2,0$  m. Wysokości gródz są znaczne i w przypadku podpory B jest to ok.  $11,3$  m (od dna rzeki do spodu fundamentu), natomiast w przypadku podpory C wysokość ta wynosi ok.  $9,5$  m. Obudowa gródz w fazie wykonawczej jest spięta górą, jednakże docelowo zaprojektowano ją jako wspornikową.

#### 5. Obliczenia nośności fundamentów palowych

Celem niniejszej opinii wstępnej było sprawdzenie podstawowych elementów nośnych posadowienia Mostu Brdowskiego tj. pali wielkośrednicowych. Obliczenia nośności przeprowadzono standardowo przyjmując gabaryty i układ zaproponowany w projekcie [2]. Maksymalne obciążenia obliczeniowe na pale przyjęto jak na rysunkach w projekcie wykonawczym [2] – nie sprawdzano poprawności wyznaczenia tych sił ze względu na brak danych szczegółowych dotyczących obciążeń z mostu (zestawiono tylko siły w schemacie łożyskowania).

##### 5.1 Metoda obliczeń

W ramach obliczeń sprawdzających przeprowadzono własne obliczenia nośności pali autorskim programem NP 89 według normy PN-83 /B-02482 z uwzględnieniem *Komentarza do normy*

M. Koseckiego (Komentarz do normy PN-83/B-02482 – Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych. M. Kosecki, Szczecin 1985). Obliczenia nośności przeprowadzono jak w przypadku pali wierconych w rurze obsadowej. Wymiary geometryczne, tj. długość i średnicę pali, przyjęto wg projektu wykonawczego [2]. Obliczenia przeprowadzono dla pali pojedynczych oraz w grupie przyjmując rzędne posadowienia zgodne z rysunkami w projekcie wykonawczym [2]. W przypadku podpory B, ze względu na niejednoznaczność opisu warstwy IIID7, w której zaprojektowano podstawy pali, obliczenia przeprowadzono wariantowo. W każdej z podpór uwzględniono dodatkowe obciążenie trzonów pali wywołane tarciem negatywnym powyżej gruntów o dużej podatności (torfy, namuły, gytie - podpory A i D) lub tarciem negatywnym od wypełnienia gródz gruntem ziarnistym (podpory B i C).

## 5.2. Warunki gruntowe

Parametry gruntu do wyznaczenia nośności pali przyjęto zgodnie z dokumentacją geologiczno-inżynierską [4] wykonaną przez GT Projekt Sp. z o.o.. W obliczeniach poszczególnych podpór przyjęto następujące profile (przekroje) geologiczno-inżynierskie:

- Podpora A – Otw nr.M2 – podstawa pala Ps//Pr
- Podpora B – Otw nr.M4 – podstawa pala P//Pp
- Podpora C – Otw nr.M6 – podstawa pala Ps//Pr
- Podpora D – Otw nr.M8 – podstawa pala Pr//Po

Szczegółowe przekroje poszczególnych profili przedstawiono w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej [4].

## 5.3 Wyniki obliczeń nośności pali

Poniżej w tabelicy zestawiono porównanie nośności pali wykonanych przez autorów opracowania do obciążeń pionowych działających na pale. Maksymalne obciążenie obliczeniowe działające na pal pojedynczy w poszczególnych podporach przyjęto z projektu wykonawczego [2].

Nr podpory	Długość pali L [m]	Średnica pala D [mm]	Liczba pali [szt]	m·Nt [kN] dla pala pojedynczego	m·Ntg [kN] dla pala w grupie	Qr [kN] max. obciążenie obliczeniowe
A	20.0	1200	10	3409	3190	2612
B	25.0	1500	8	wariant I 4272	wariant I 4212	4591
				wariant II 5342	wariant II 5271	
C	25.0	1500	8	6430	6266	5853
D	20.0	1200	10	4642	4538	3870

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń sprawdzających można stwierdzić, że uzyskano generalnie nośności większe od działających obciążeń obliczeniowych. Największy zapas nośności w stosunku do obciążenia zanotowano dla podpór skrajnych tj przyczółków.

W przypadku podpory nurtowej B, jak wspomniano powyżej, obliczenia przeprowadzono w dwóch wariantach. W wariantcie I przyjęto, że posadowienie podstaw pali zaprojektowano w warstwie IIID7 tj. w pyłach półzwartych o stopniu plastyczności  $I_L = 0.00$ . W tym przypadku uzyskano niewystarczającą nośność w stosunku do obciążenia obliczeniowego. W wariantcie II przyjęto posadowienie podstaw pali w warstwie piasków pylastych o stopniu zagęszczenia  $I_D = 0.85$ , otrzymując nośności wystarczające do przekazania obciążeń obliczeniowych na podłoże gruntowe.

#### **5.4. Szacunkowa ocena osiadań podpór mostowych na fundamentach palowych**

W odniesieniu do osiadań pali, praktyka pokazuje (duża liczba przeprowadzonych próbnych obciążeń), że przy obciążeniu zbliżonym do nośności pala, pal pojedynczy wykazuje osiadania o wartości równej około 1 % średnicy pala. Wobec powyższego pale wiercone wielkośrednicowe o średnicach  $D=1,2$  m i  $D=1,5$  m mogą wykazywać osiadania rzędu 12–15 mm w przypadku pracy pali pojedynczych. Osiedlenia te po zastosowaniu iniekcji pod podstawami pali mogą ulec redukcji. Ostateczną weryfikacją wielkości osiadania wykonanych pali będą wyniki próbnych obciążeń statycznych pali testowych, które należy wykonać w każdej podporze po jednym badaniu. Dodatkowo zaleca się monitoring osiadania całych podpór w trakcie ich realizacji oraz w okresie co najmniej pierwszego roku ich eksploatacji.

Osiadania całych podpór mostowych na większej liczbie pali mogą wykazać osiadania do 2 razy większe niż osiadania pali pojedynczych. Ponadto należy zwrócić uwagę iż fundamenty podpór B i C stanowią rodzaj posadowienia kombinowanego (zespolonego) z pali i grodzy posadowionej w dnie rzeki. W tym przypadku oszacowanie osiadania całego fundamentu wymaga bardziej szczegółowych obliczeń numerycznych.

#### **5.5. Uwagi końcowe dotyczące sposobu posadowienia na palach wierconych**

W każdym przypadku obliczeniowym należy jednak pamiętać iż są to pale wiercone bardzo wrażliwe na technologię wykonawstwa jak i destrukcję podłoża gruntowego zwłaszcza w gruntach spoistych jakimi są pyły oraz ły. Stąd między innymi konieczność stosowania iniekcji pod podstawami tych pali, a czasami również wokół pobocznic. Pale wiercone również są kłopotliwe do wykonania w gruntach niespoistych nawodnionych o zagęszczeniu mniejszym niż  $I_D = 0.65$ . W wielu przypadkach próbne obciążenia nie potwierdziły nośności obliczeniowej.



Alternatywą dla pali wierconych mogą być pale przemieszczeniowe wbijane. Pale tego rodzaju uzyskują największe nośności w stosunku do kosztów wykonawstwa oraz największe sztywności w gruncie (najmniejsze osiadania).

## 6. Uwagi dotyczące ogólnej koncepcji posadowienia

Nośność osiowa fundamentów palowych przyczółków Mostu Brdowskiego wskazuje na pewne zapasy w porównaniu do wyznaczonych w projekcie obciążeń pionowych. Niekorzystna budowa geologiczna podłoża w obszarze przyczółków może być jednak przyczyną dodatkowych obciążeń, o których nie wzmiankuje się w projekcie budowlanym lub wykonawczym. Chodzi tutaj o obciążenie boczne na pale w wyniku obciążenia warstwy słabonośnej o dużej miąższości nasypem dojazdowym do przyczółków. Wykonanie płyty przejściowej przyczółka lub wzmocnienia nasypu drogowego nie gwarantuje eliminacji takiego oddziaływania. Oddziaływanie boczne gruntów słabonośnych może być opóźnione w czasie i wystąpić w trakcie eksploatacji mostu. Jest to charakterystyczne w procesach konsolidacji pierwotnej i wtórnej (pełzania) gruntów słabonośnych. Oddziaływanie boczne na pale można znacznie zredukować poprzez konstrukcje osłonowe, które należałoby wziąć pod uwagę przy szacowaniu kosztów posadowienia.

Elementem wywołującym najwięcej obaw autorów niniejszego opracowania jest posadowienie podpór nurtowych Mostu Brdowskiego. Przyjęty wysoki poziom posadowienia fundamentów tych podpór pozwala uniknąć fazy odwodnienia wewnątrz gródz i uzyskać mniejsze gabaryty filarów, jednakże późniejsza praca otrzymanego układu może być nieodpowiednia. Po pierwsze wykonanie wypełnienia grodzy gruntem ziarnistym bezpośrednio na podłożu dna rzeki wywoła osiadanie tego wypełnienia i znaczne tarcie negatywne oddziałujące nie tylko na pale ale również na wiotką obudowę gródz. Grodze dodatkowo obciążone będą parciem gruntu wypełniającego w bardzo niekorzystnym układzie wspornikowym. Spowoduje to powstanie sił obwodowych w obudowie grodzy, które są bardzo niekorzystne w ściankach szczelnych. Zastosowanie ewentualnych ściągów lub ram wewnątrz grodzy będzie również niekorzystne ze względu na wspomniane wcześniej tarcie negatywne.

Podstawy pali w podporze nurtowej B zaprojektowano w gruncie pylastym. Jest to niekorzystne w przypadku technologii pali wielkośrednicowych wierconych ze względu na możliwość naruszenia struktury tych gruntów podczas wykonawstwa, co często jest przyczyną zwiększonych osiadań obiektu docelowego.



## 7. Wnioski końcowe

W wyniku przeprowadzonych wstępnych analiz dotyczących Posadowienia Mostu Brdowskiego nad rzeką Odrą w Szczecinie można sformułować następujące wnioski końcowe:

- Przyjmując zaproponowany w projekcie wykonawczym sposób posadowienia oraz sposób wyznaczenia obciążeń na fundamenty palowe można stwierdzić, że gabaryty tych fundamentów przyjęto prawidłowo – uwagi szczegółowe dotyczące podpory nurtowej B przedstawiono w punkcie 5 niniejszego opracowania.
- Fundamenty przyczółków Mostu Brdowskiego powinny być sprawdzone na dodatkowe obciążenie boczne od warstw słabonośnych o dużej miąższości występujących pod nasypem dojazdowym.
- Przyjęty sposób posadowienia fundamentów podpór nurtowych może być przyczyną problemów w czasie eksploatacji. Głównym problemem jest wysokość przyjętej grodzy, która w schemacie wspornikowym może ulec lokalnym uszkodzeniom w wyniku znacznego tarcia negatywnego i parcia od wypełnienia.
- Szczególnie w przypadku podpór nurtowych należałoby rozpatrzyć możliwość zastosowania alternatywy do pali wierconych w postaci pali przemieszczeniowych wbijanych.

