

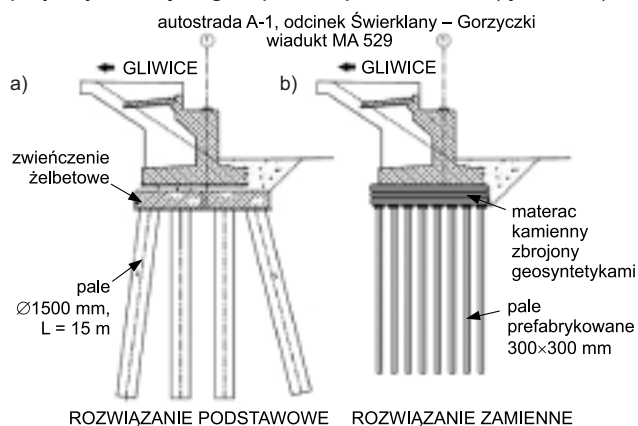
mgr inż. Urszula Tomczak\*  
inż. Anna Lejzerowicz\*\*

# Analiza doboru rozwiązań posadowienia podpór mostów na gruntach paleogeńsko-neogeńskich

**P**odpory mostowe posadawiane są najczęściej na palach wielkośrednicowych głównie ze względu na dobrą znajomość technologii oraz duży zapas bezpieczeństwa. Brak porównań w literaturze pomiędzy zastosowaniem różnych metod posadawiania w danych warunkach gruntowo-obciążeniowych nie pozwala projektantom na wykorzystanie w pełni nowych technologii. Projekty bazowe zmieniane są na etapie projektów wykonawczych przez wykonawców znających stosowane przez siebie technologie. Pociąga to za sobą bardzo duże koszty, których można uniknąć.

Posadowienie podpór mostowych (pośrednich i przyczółków) wpływa na funkcjonowanie i trwałość konstrukcji obiektu mostowego oraz komfort użytkownika. Podpory pośrednie często znajdują się w podłożu o zmiennych warunkach gruntowo-wodnych (szczególnie w przypadku obiektów o dużej liczbie przęseł oraz ich dużej rozpiętości). Dodatkowo obciążenia przekazywane z konstrukcji obiektu na podłoże mogą się różnić od siebie w przypadku obiektów o zróżnicowanej długości przęseł. Dobranie odpowiedniego sposobu posadowienia pośredniego pozwala na precyzyjne określenie osiadań nawet w zmiennych warunkach, a w efekcie wpływa na trwałość i funkcjonalność konstrukcji.

Podpory pośrednie posadawiane na różnego rodzaju palach, zazwyczaj wielkośrednicowych, stosowane są przez projektantów obiektów mostowych ze względu na dobrą znajomość tej technologii oraz duży zapas bezpieczeństwa. Projektowanie w sposób konserwatywny zapewnia minimalne osiadanie podpór w każdych warunkach gruntowych, ale często jest nieekonomiczne. Analogiczne rozwiązanie można uzyskać przy użyciu „lżejszego” sposobu posadowienia (rysunek 1).



**Rys. 1. Schemat posadowienia obiektu na terenie szkół górniczych: a) projekt podstawowy; b) zamienny** [13]

\* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

\*\* Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii; Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

Zagadnienia dotyczące projektowania i wykonania posadowienia obiektów mostowych na palach wielkośrednicowych obszernie omówiono w literaturze [6, 7, 10]. Mniej typowe sposoby rozwiązywania fundamentów pośrednich podpór i przyczółków mostowych, a także estakad i wiaduktów przedstawiono w materiałach seminaryjnych [14, 16], gdyż nie mają tak rozległej literatury. Metody projektowania układów palowych zgodnie z Eurokodem geotechnicznym EC7 zaprezentowano w [12], wyniki próbnych obciążeń, np. prefabrykowanych pali wbijanych w [4], wielu innych technologii w [5], a zastosowanie mniej typowych na rynku polskim technologii w [15]. Po przeanalizowaniu dostępnej literatury, a także stron internetowych firm wykonawczych zauważyliśmy, że nie ma literatury łączącej zagadnienia doboru, projektowania i wykonywania różnych technologii pali z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych.

Standardowo wykonywane rozpoznanie geologiczno-geotechniczne może się okazać niewystarczające w przypadku szczegółowych obliczeń z zastosowaniem różnych podejść obliczeniowych i modeli gruntu. Dodatkowo wykonanie niewielkiej liczby badań, ale w ściśle określonych warunkach (lokalizacji, głębokości), pozwoli na dopasowanie poszukiwanych parametrów do sposobu obliczeń. Zastosowanie parametrów geotechnicznych z badań bez konieczności przechodzenia z innych parametrów przez nomogramy czy wzory pozwala na uniknięcie kolejnych zbędnych współczynników bezpieczeństwa i zapewnia pracę na parametrach określonych in situ.

Dostosowanie sposobu posadowienia podpór do danych warunków gruntowych i obciążeniowych pozwoli na zmniejszenie kosztów przy zachowaniu ograniczeń osiadania określonych przez konstruktora obiektu. Każdą podporę można potraktować indywidualnie i modyfikować jej posadowienie zgodnie z potrzebami, co w efekcie pozwoli np. na zmniejszenie konstrukcji podpory, tzn. oczeput zwieńczającego pale.

## Cel analiz

Na wczesnym etapie projektowania (koncepcja, projekt budowlany i przetargowy) celowe byłoby wykonanie wieloaspektowej analizy różnego rodzaju rozwiązań w przypadku wybranych typów konstrukcji, przy założeniu dopuszczalnego zakresu obciążeń i osiadań granicznych. Obliczenia należałoby wykonać dla wybranych profili geologicznych różnych regionów Polski. Pomocna może być wysokorozdzielcza, mobilna i bezinwazyjna metoda geofizyczna – georadarowa (ang. GPR – Ground Penetrating Radar) przedstawiająca w sposób graficzny ciągłą strukturę badanego ośrodka [8]. Pomiar georadarowe pozwalają na poznanie budowy wewnętrznej badanych gruntów, bez konieczności wykonywania wykopów czy wierceń i często są wykorzystywane przez geologów do inter-

pretacji budowy warstw przypowierzchniowych [8, 9]. Zasięg pomiarów GPR zależy od właściwości danego ośrodka i wynosi od 1 cm do 40 m. Czynnikiem ekonomicznym w przypadku urządzeń GPR jest czas potrzebny na szczegółowe opracowanie wyników pomiarowych, szczególnie gdy niezbędne są precyzyjne pomiary. Uzyskuje się je dużo szybciej w porównaniu z innymi metodami geofizycznymi (np. elektrooporową czy też sejsmiczną). Nowa generacja urządzeń GPR umożliwia wstępną interpretację pomiarów bezpośrednio w terenie [9].

Po analizie należałoby wytypować metody najbardziej przydatne w danym przypadku i odrzucić najbardziej niekorzystne. Wynikiem analizy byłby program komputerowy, który w formie tabelarycznej obliczałby i pokazywał stopień przydatności określonej metody posadowienia w zależności od obciążeń, profili geologiczno-geotechnicznych i ograniczeń osiadań. Powinien on umożliwić również porównanie nośności i wielkości osiadań poszczególnych typów posadowienia w porównywalnych warunkach gruntowych, wpływ technologii realizacji posadowienia na istniejące budowle oraz na środowisko, a także zawierać przeciwwskazania wykluczające zastosowanie poszczególnych metod posadowienia w zależności od warunków gruntowo-wodnych oraz agresywności środowiska.

Podstawę do kalibracji poszczególnych metod obliczeniowych oraz modeli gruntów przyjętych do obliczeń stanowiłyby próbne obciążenia statyczne i dynamiczne poszczególnych rodzajów fundamentów. Analizy wsteczne pozwoliłyby na otrzymanie wyników wiarygodnych i jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistych. Pozwoliłyby to na oszczędność czasu projektanta mostowego oraz możliwość przyjęcia docelowego sposobu posadowienia na wczesnym etapie projektu, a w efekcie nie trzeba byłoby wykonywać kosztownych i pracochłonnych projektów zamiennych na etapie wykonawczym.

### Proponowane badania

Opracowanie oprogramowania wymaga wykonania wielu czynności, które można podzielić na niezależne etapy od wstępnego wytypowania technologii i obliczeń początkowych po próbne obciążenia i kalibrację całych modeli obliczeniowych (a może nawet algorytmów obliczeniowych).

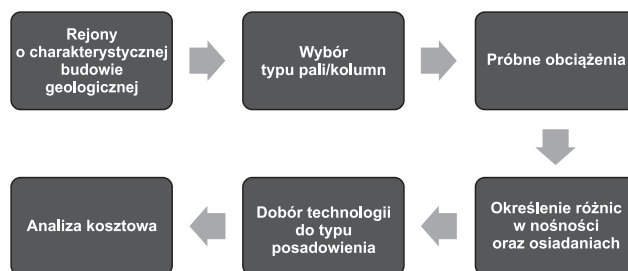
■ **Wytypowanie technologii do analizy.** Pierwszym zadaniem jest wstępne wytypowanie technologii odpowiednich do posadawiania podpór obiektów mostowych, które będą uwzględnione w dalszej analizie. Oprócz najbardziej znanych, jak bary, pale CFA, pale przemieszczeniowe (prefabrykowane i betonowane in situ), kolumny DSM, istnieje możliwość zwiększenia analizowanych przypadków. Należy opisać sposób wykonywania, dane wejściowe do obliczeń (głównie wymagane parametry geotechniczne, minimalna głębokość rozpoznania), ograniczenia technologiczne oraz algorytm obliczeń.

■ **Próbne obciążenia różnych typów posadowień pośrednich.** W celu wykonania analizy ekonomicznej i technicznej pośrednich posadowień obiektów mostowych należy wykonać próbne obciążenia statyczne i dynamiczne na wciskanie w warunkach geologicznych charakterystycznych dla danego regionu kraju. W przypadku dobranego do każdego rodzaju posadowienia przedziału sił, należy zaprojektować i wykonać po minimum 3 pale/kolumny w celu wykonania dalszych badań. Obszar kraju trzeba podzielić na regiony ze względu na typową geologię i dla każdego z nich przeprowadzić badania. Zaleca się wykonać co najmniej 3 próbne ob-

ciążenia każdego typu posadowienia z wcześniej wytypowanych, z wykorzystaniem sondowań i badań georadarowych, charakterystycznych profili geologicznych. Próbne obciążenia wykonane dla tej samej budowy geologicznej wykażą różnice nośności oraz osiadań poszczególnych typów posadowienia i pozwolą wyznaczyć optymalne rozwiązania dla danego regionu i zakresu obciążeń.

### ■ Analiza wsteczna wyników próbnych obciążeń i opracowanie programu do analiz ekonomicznych rozwiązania.

W celu opracowania programu do analizy ekonomicznej posadowienia obiektu należy szczegółowo przeanalizować wyniki próbnych obciążeń pali/kolumn we wszystkich wytypowanych regionach z charakterystyczną budową geologiczną. Celem zadania jest wyznaczenie zależności pomiędzy osiadaniem a dopuszczalną nośnością wszystkich badanych pali/kolumn. Wyniki analizy pozwolą na opracowanie programu do analizy kosztowej różnych typów posadowienia dla wybranej budowy geologicznej i typu konstrukcji mostu/zakresu obciążeń (rysunek 2). Program będzie uwzględniał ceny jednostkowe poszczególnych rodzajów posadowienia lub ceny jednostkowe wbudowanych materiałów oraz dobranej odpowiednio liczby roboczogodzin niezbędnych do wykonania określonej jednostki posadowienia z możliwością modyfikacji wprowadzonych cen.



Rys. 2. Proponowany schemat działań

### Literatura

- [1] Cudny A., Krasiński A., Dembicki E. Fundament pylonu mostu podwieszanego w ciągu AOW – Wrocławskie dni mostowe, Obiekty mostowe na autostradach i mostach, Wrocław 2009.
- [2] Gwizdała K. Fundamenty palowe, tom I i II – PWN, Warszawa 2013.
- [3] Gwizdała K., Dyka I. Osiadanie pali i fundamentów palowych – seminarium „Zagadnienia posadowień na fundamentach palowych” – Politechnika Gdańska i PKG oddział Gdańsk, Gdańsk 2004.
- [4] Gwizdała K., Kowalski R. Prefabrykowane pale wbijane – Politechnika Gdańska, Gdańsk 2005.
- [5] Gwizdała K., Dyka I., Stępczński M. Wykorzystanie sondowań statycznych do obliczania nośności i osiadań pali – NBI 7,8/2009.
- [6] Jarominiak A. Fundamenty obiektów mostowych – wykład na prawach rękopisu.
- [7] Jarominiak A. Podpory mostów – Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2002.
- [8] Jol H. M. Ground Penetrating Radar Theory and Applications. Elsevier, England 2009.
- [9] Karczewski J., Ortyl Ł., Pasterniak M. Zarys metody georadarowej. Wydanie 2, Wydawnictwa AGH, Karków 2011.
- [10] Kłosiński B. Wytyczne techniczne projektowania pali wielkośrednicowych w obiektach mostowych – IBDiM – Warszawa 1991.
- [11] Kosecki M. Statyka ustrojów palowych. PPH Zapol 2006.
- [12] Sahajda K. Calculations of piles based on CPT results in Poland – SGeM 2/2013.
- [13] Sobala D. Posadowienie obiektów mostowych na palach prefabrykowanych. Geoinżynieria drogi mosty tunele 3/2010 [26].
- [14] Świeca M. Projektowanie pali wg EC7, przykłady obliczeń – WPPK, Wista 2009.
- [15] Tomilson M. Pile design and construction practice – Taylor & Francis, London 2007.
- [16] Fundamenty Mostów – materiały konferencyjne – Seminarium PW Warszawa 2010.