

GEOTECHNIKA

■ **TOMASZ SKÓRA**
Keller Polska



Absolwent Politechniki Gdańskiej na kierunku Budownictwo. Od ponad 10 lat związany z firmą Keller Polska. Obecnie starszy projektant w dziale hydrotechniki i Biurze Technicznym. Autor bądź współautor wielu projektów wykonawczych i technologicznych, dotyczących m.in. Tunelu pod Martwą Wisłą w Gdańsku, Nabrzeża Dworzec Drzewny i Nabrzeża Polski Hak w Gdańsku, Terminalu Promowego w Gdyni czy Kanału Żeglugowego przez Mierzeję Wiślaną.

Z TEKSTU DOWIESZ SIĘ:

- ☑ o wyzwaniach stojących przed wykonawcami nowego Terminalu Promowego w Gdyni,
- ☑ w jaki sposób zbudować sztuczną wyspę,
- ☑ jaki potencjał drzemie w „starych” palach.



NOWY TERMINAL PROMOWY W GDYNI, CZYLI HYDROTECHNIKA I NIE TYLKO...

Właśnie dobiega końca realizacja największej w perspektywie ostatnich 50 lat inwestycji infrastrukturalnej w Porcie Gdynia. Nowy terminal promowy, bo o nim mowa, będzie jednym z najnowocześniejszych tego typu obiektów w basenie Morza Bałtyckiego. Firma Keller Polska, proponując – wspólnie z generalnym wykonawcą, firmą Doraco – optymalne, nowoczesne rozwiązania projektowe i efektywny sposób ich wdrożenia, została wybrana wykonawcą specjalistycznych robót palowych i kafarowych w ramach niniejszego zadania.

MODERNIZACJA MORSKIEGO OKNA NA ŚWIAT

Gdynia to już od niemal 100 lat jedno z polskich najważniejszych morskich „okien na świat”. Jednym z elementów infrastruktury portowej jest terminal obsługujący promy pasażersko-towarowe, kursujące przede wszystkim na trasach do Skandynawii. Lokalizacja obecnego terminalu w głębi portu (przy Nabrzeżu Helskim), jego wielkość oraz niedostosowanie do obsługi zróżnicowanych wielkościowo jednostek, legły u podstaw decyzji

Zarządu Portu Gdynia o budowie nowej przystani.

Generalnego wykonawcę zadania wyłoniono na początku 2019 r. Została nim firma Doraco z Gdańska, mająca na swoim koncie szereg zakończonych sukcesem skomplikowanych przedsięwzięć budowlanych z obszaru hydrotechniki morskiej. Keller Polska, jako firma prężnie rozwijająca się w branży hydrotechnicznej, była odpowiedzialna między innymi za opracowanie szczegółowych projektów technologicznych, a następnie na ich podstawie wykonanie z wody ścianki kombinowanej



RYS. 1. | Wizualizacja terminalu promowego w Porcie Gdynia
(źródło: <https://www.youtube.com/watch?v=8SnHY2KFwBA>)

FOT. 1. a, b | Obciążenie dynamiczne i statyczne istniejących pali żelbetonowych

nabrzeża i sztucznej wyspy wraz z palami pod podpory estakady oraz posadowienia szeregu innych obiektów budowlanych wchodzących w skład terminalu.

Nabrzeże Polskie (1), przy którym zlokalizowany jest nowy terminal promowy, powstało w czasie budowy portu w Gdyni pod koniec lat 20. XX w. W latach 70. zostało zmodernizowane i rozbudowane. Rozbudowa polegała na dodaniu do istniejącej konstrukcji skrzyniowej przewieszanej płyty, wspartej na żelbetonowych prefabrykowanych palach wbijanych o przekroju

35 x 35 cm i długości około 19 m (w tym tylko około 8 m w gruncie). To właśnie te elementy stały się obiektem badań i analiz w początkowej fazie projektu.

JAK OPTYMALNIE WYKORZYSTAĆ ISTNIEJĄCE POSADOWIENIE?

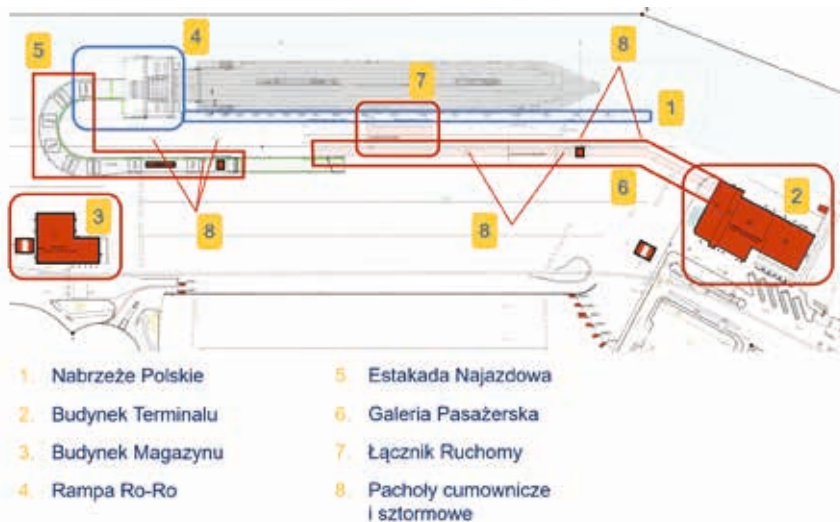
W ramach optymalizacji rozwiązania wzmocnienia konstrukcji nabrzeża przedstawionej w projekcie przetargowym, zaproponowano rezygnację z instalacji dodatkowych pali wbijanych na rzecz

większego wykorzystania pali istniejących. Dla potwierdzenia założeń, konieczne było przeprowadzenie próbnych obciążeń. Po „uwolnieniu” głowic pali z konstrukcji nabrzeża, wykonano jedno obciążenie statyczne i trzy obciążenia dynamiczne (fot. 1).

Wyniki testów wyraźnie pokazały wyższą od szacowanej normowo nośność zewnętrzną pali zagłębionych w piaskach (rys. 3). Nie bez znaczenia w tej kwestii okazał się spodziewany przyrost nośności przez okres ponad 40 lat, jakie minęły od czasu instalacji tych pali.

Całości modernizowanej konstrukcji nabrzeża dopełniają pale stalowe $\phi 711$ mm uzupełnione o potrójne grodzice GU (fot. 2), czyli klasyczna ściana kombinowana (ang. *combi-wall*). Jej długość w planie to prawie 270 m.

Kolejne etapy prac Keller Polska w Porcie Gdynia dotyczyły posadowienia dwóch budynków: Terminalu (2) o konstrukcji żelbetowej i powierzchni zabudowy wynoszącej nieco ponad 2000 m² i Magazynu (3) o konstrukcji stalowej i powierzchni blisko 950 m². Jako posadowienie zastosowano, odpowiednio, pale CFA $\phi 430$ mm o długości 11,0 m (fot. 3) i przemieszczeniowe kolumny betonowe SDC $\phi 270$ mm.



RYS. 2. | Obiekty wchodzące w skład Terminalu Pasażerskiego



PRZEPRAWA MOSTOWA NAD I WZDŁUŻ

Niezbyt często zdarza się sytuować obiekty mostowe wzdłuż linii wody, w bezpośrednim jej sąsiedztwie. Taka sytuacja miała miejsce na terenie terminalu w Gdyni. Dodatkową cechą wyróżniającą Estakadę Najazdową (5), bo o niej mowa, było dość zróżnicowane usytuowanie i charakter jej podpór. Dwie spośród wszystkich dziesięciu zostały zlokalizowane w obrębie basenu portowego, podczas gdy dwie

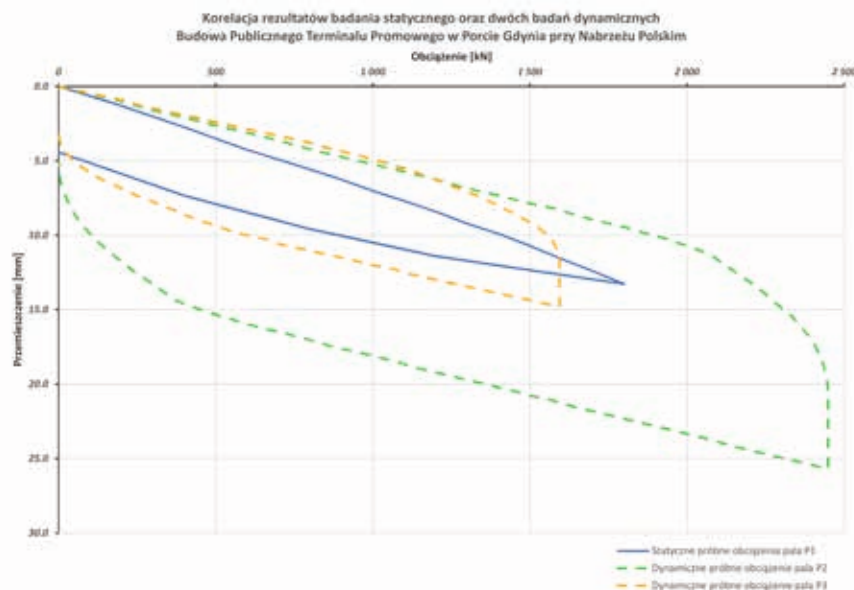
ostatnie w obszarze sztucznej wyspy.

Z uwagi na znaczne siły poziome, dla większości podpór lądowych zaprojektowano pochylone 6:1 (9,5°) pale CFA $\phi 630$ mm (rys. 4). Rozwiązanie to pozwoliło na znaczną optymalizację zbrojenia głównego i jest szczególnie rekomendowane do stosowania na przyczółkach i podporach z łożyskami stałymi. Pale stalowe w postaci rur $\phi 813$ mm z dnem otwartym dla podpór wodnych zostały zainstalowane w optymalnym nachyleniu 10:1 (fot. 4).

GALERIA I RUCHOMY ŁĄCZNIK

Obiektami wymagającymi posadowienia na palach, głównie z uwagi na znaczne siły wyciągające, były Galeria Pasażerska (6) (fot. 5) i Łącznik Ruchomy (7), zapewniające możliwość bezpośredniego przejścia pasażerów z budynku terminalu na pokład promu, podobnie jak ma to miejsce przy zastosowaniu lotniskowego rękawa pasażerskiego.

W tym przypadku zastosowano ponownie sprawdzone rozwiązanie z wykorzystaniem pochylonych pali CFA $\phi 630$ mm, zastępując



RYŚ. 3. | Krzywe obciążenie- osiadanie z testów istniejących pali żelbetowych, Keller Polska
FOT. 6. a, b | Przejazd palownicy z nabrzeża na wyspę oraz późniejsze wykonanie pali CFA.



FOT. 2. | Instalacja combi-walla przy Nabrzeżu Polskim

FOT. 3. | Wykonanie pali CFA pod budynek Terminalu. W tle zaplecze budowy, budynek Kapitanatu Portu oraz statek wycieczkowy przy Nabrzeżu Francuskim

FOT. 4. | Pali stalowe podpory wodnej Estakady Najazdowej podczas testu nośności

FOT. 5. | Konstrukcja stalowa Galerii Pasażerskiej

tym samym pierwotnie zaprojektowane pale przemieszczeniowe wkręcane $\phi 510$ mm.

Ważne zadanie w infrastrukturze portowej pełnią potężne polery (pachoły) cumownicze i sztormowe (8). Dla fundamentów tych konstrukcji również wykonano posadowienie pośrednie na palach i mikropalach.

WYZWANIE - SZTUCZNA WYSPA

Szczególnym wyzwaniem dla firmy Keller było zaprojektowanie i wykonanie obudowy oraz posadowienia pośredniego elementów

sztucznej wyspy o wymiarach $\sim 62 \times 37$ m, na której zlokalizowana została tzw. rampa RO-RO (4), czyli zespół urządzeń umożliwiających załadunek i wyładunek (na dwóch poziomach) statków typu RO-RO (od ang. *roll-on/ roll-off*), służących do przewozu m.in. ładunków tocznych i pojazdów.

Pierwotne rozwiązanie przetargowe zakładało budowę pod częścią rampy grodzy ze ścianek kombinowanych CGU+GU oraz instalację wewnątrz pali rurowych o średnicach od 813 do 1220 mm. Pozostałą część konstrukcji, w formie pomostu, oparto wy-

łącznie na palach rurowych. Całość wieńczyła konstrukcja żelbetowa wykonywana bezpośrednio nad lustrem wody. Głębokość dopuszczalna wokół wyspy to około $-12,5$ m n.p.m.

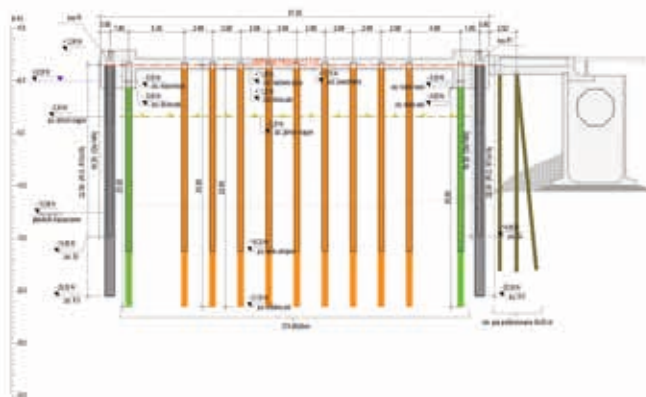
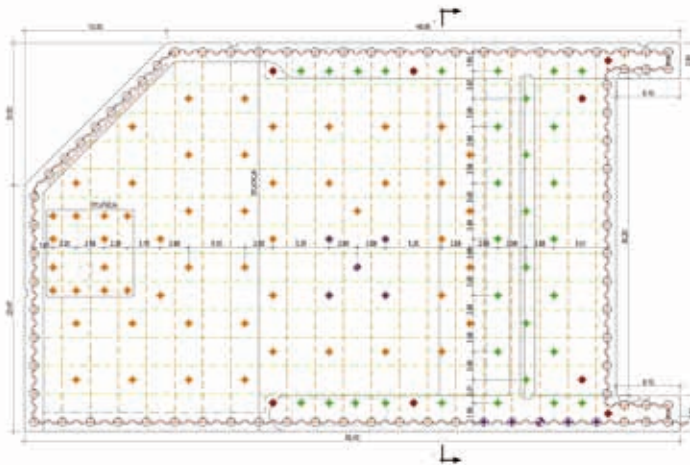
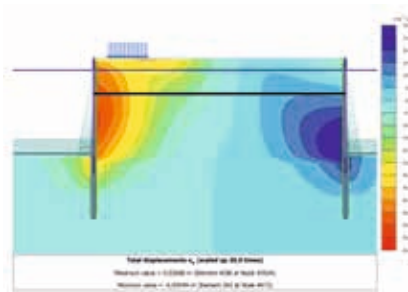
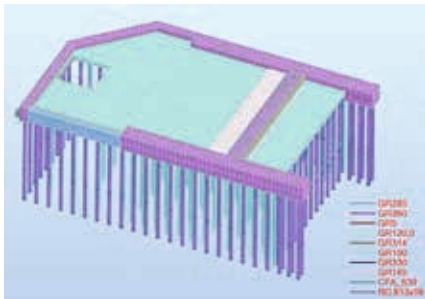
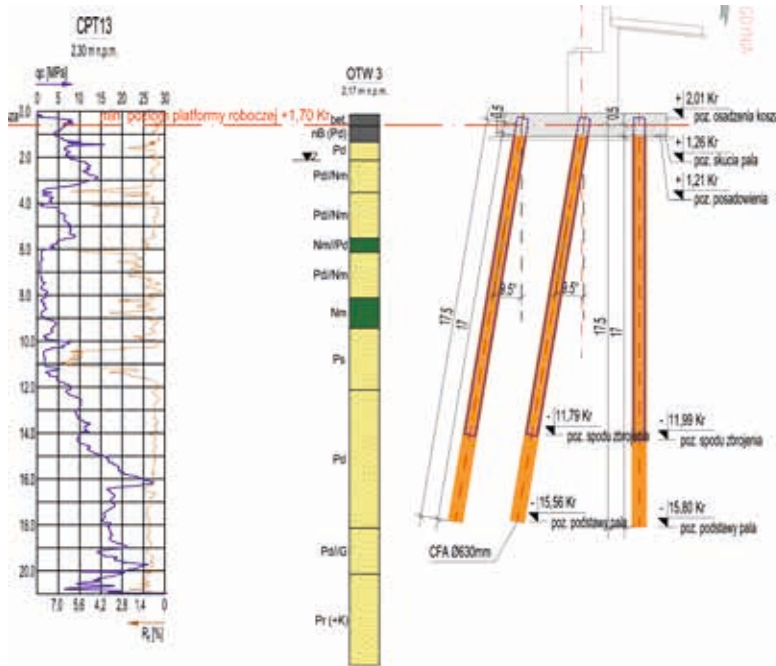
W oparciu o liczne koncepcje poparte analizami numerycznymi (rys. 5) zaproponowano rozwiązanie równoważne, optymalne m.in. pod względem czasu realizacji.

Podstawą projektu stała się jednolita konstrukcja obudowy wyspy (rys. 6) w postaci ściany kombinowanej, złożonej z pali rurowych $\phi 813$ mm o długo-



W PIGULCE:

- ✓ kompleksowy projekt i wykonanie obudowy typu combi-wall sztucznej wyspy,
- ✓ pale rurowe w nachyleniu 10:1, wykonywane z wody,
- ✓ pochylone pale CFA pod obiekt mostowy,
- ✓ ściana kombinowana z wykorzystaniem wypełnienia z potrójnych profili GU,
- ✓ zastosowanie rur ze stali o wysokiej wytrzymałości - S550,
- ✓ projekt i wykonanie ram prowadzących (szablonów), z możliwością adaptacji na potrzeby innych zadań,
- ✓ próbne obciążenia pali rurowych na akwenu wodnym.



ści 22 m oraz grodzie wypełniających - 3 x GU14N o długości 16,3 m, tworzących grodzę. Całości dopełniły ściągi stalowe $\phi 53$ mm w układzie prostokątnym instalowane przez wyspecjalizowanych nurków około 3,5 m poniżej poziomu wody, wypełnienie grodzie w postaci refulatu, a w dalszej kolejności pale CFA $\phi 630$ mm o długości 23 m (fot. 6) oraz monolityczna konstrukcja żelbetowa (fot. 7). Należy podkreślić, że całość stalowej „obudowy” wyspy została wykonana z wody, z użyciem między innymi dźwigu na pontonie i pchacza. Ważnymi zaletami rozwiązania autorskiego były m.in. wprowadzenie dla elementów stalowych nadkładu na korozję, eliminując tym samym konieczność zabezpieczenia ich poprzez powłoki malarskie czy ochronę katodową, a także ujednoczenie zwieńczenia wyspy poprzez zastosowanie konstrukcji żelbetowej wykonywanej głównie „na sucho” na lądzie.

Jednym z elementów umożliwiającym poprawną pracę systemu ściągnięć był kleszcz stalowy zamontowany wewnątrz grodzie (fot. 8), na ukośnym odcinku ściany kombinowanej, gdzie nie było możliwe połączenie ściągnięć bezpośrednio z elementami rurowymi. Jego skrzynkowa konstrukcja została również zaprojektowana w firmie Keller i bezproblemowo zainstalowana pod wodą.

Instalacja pali stalowych i ścian kombinowanych nie byłaby możliwa bez zastosowania konstrukcji pomocniczych, nazywanych potocznie szablami. Na budowie w Gdyni swój debiut w charakterystycznych barwach Kellera miał szablon zbudowany na dwóch 20,5-metrowych belkach (fot. 9) wraz z kratowymi pomostami obsługowymi, stanowiącymi jednocześnie usztywnienie konstrukcji. Cechą wyróżniającą tę konstrukcję była możliwość wybrania jednej z trzech przewidzianych projektem konfiguracji prowadnic. Dzięki takiemu rozwiązaniu wykonanie zarówno

RYS. 4. | Przekrój typowej lądowej podpory Estakady Najazdowej

RYS. 5. | Modele obliczeniowe konstrukcji wyspy w programach Robot i Plaxis. Źródło: materiały własne Keller Polska

RYS. 6. | Rzut i przekrój konstrukcji wyspy

Sprzęt do instalacji ścian kombinowanych/ pali stalowych:

- ponton GDY-20 o wymiarach 40 x 20 x 3,5 m o nośności 1282 t i max. zanurzeniu 2,4 m,
- pchacz portowy,
- dźwigi Sennebogen 5500 170 t oraz Liebherr HS875,
- wibromłoty PVE 40VM, 52M, PVE2332VM,
- młot hydrauliczny Junttan HHK14/16, PM25H
- agregat hydrauliczny PVE800 PP, Junttan 15CCU,
- stalowe szablony prowadzące.

ścian wyspy, jak i nabrzeża, także w bardzo bliskim sąsiedztwie istniejących konstrukcji portowych, nie stanowiło większego problemu. Podobna konstrukcja została zastosowana przy instalacji ukośnych pali rurowych podpór estakady.

DUŻY PROJEKT – SPRAWNA REALIZACJA – OGROMNA SATYSFAKCJA

Łącznie, podczas realizacji kontraktu, firma Keller wykonała z sukcesem prawie 8,5 km różnego rodzaju kolumn, pali i mikropali oraz zainstalowała niespełna 7800 m² ściany kombinowanej. Pale i kolumny betonowe wykonywano przy użyciu maszyn Bauer BG 24H oraz Liebherr LRB 355. Listę sprzętu potrzebnego do pogrążania elementów rurowych i grodzic znaleźć można w ramce powyżej. Warty podkreślenia jest fakt, że wykonując roboty kafarowe i palowe będące w zakresie prac hydrotechnicznych, nie została naruszona skrzyniowa, przedwojenna konstrukcja istniejącego nabrzeża oraz sąsiednich budynków, co potwierdziły wyniki prowadzonego podczas budowy mo-

nitingu drgań i przemieszczeń.

Zastosowanie rozwiązań równoważnych autorstwa projektantów Keller Polska, przy profesjonalnym wsparciu firmy Doraco przy ich akceptacji po stronie inwestora oraz projektantów projektu budowlanego, pozwoliły wymiernie wpłynąć na czas realizacji części hydrotechnicznej i geotechnicznej zadania postawionego generalnemu wykonawcy. Przykładem niech będzie ujednolicenie sposobu wykonania konstrukcji żelbetowej rampy Ro-Ro z mieszanej, na wykonywaną w całości na podłożu gruntowym, czy wreszcie brak konieczności wykonywania zabezpieczenia antykorozyjnego ścianek stalowych z uwagi na zastosowany naddatek korozyjny. Sprawna i terminowa realizacja robót na placu budowy dopełniła techniczny sukces całej części zadania. |



FOT. 7. | Prace budowlane w obrębie wyspy
FOT. 8. | Kleszcz stalowy grodzzy
FOT. 9. | Szablon belkowy do instalacji ściany kombinowanej