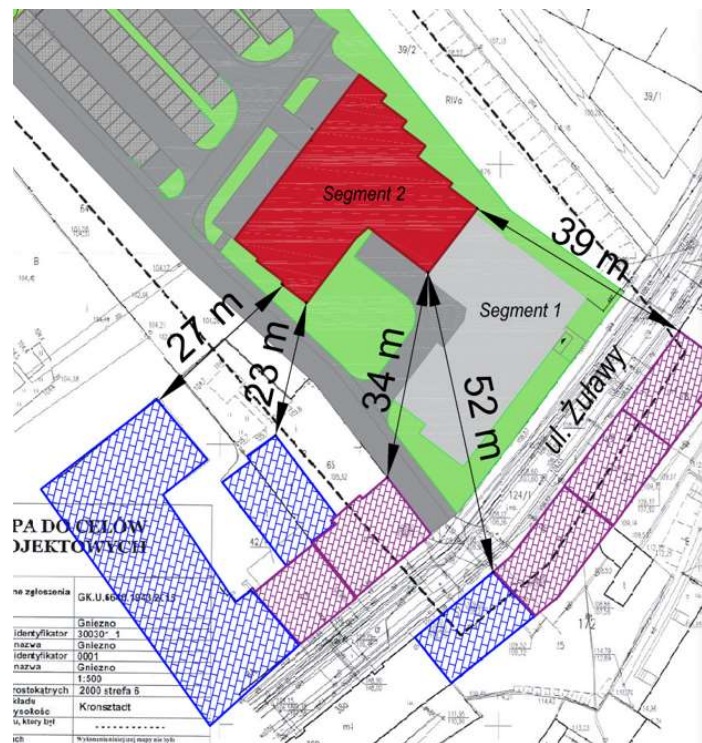


Rys.2. Model obliczeniowy posadowienia Segmentów nr 1 i nr 2

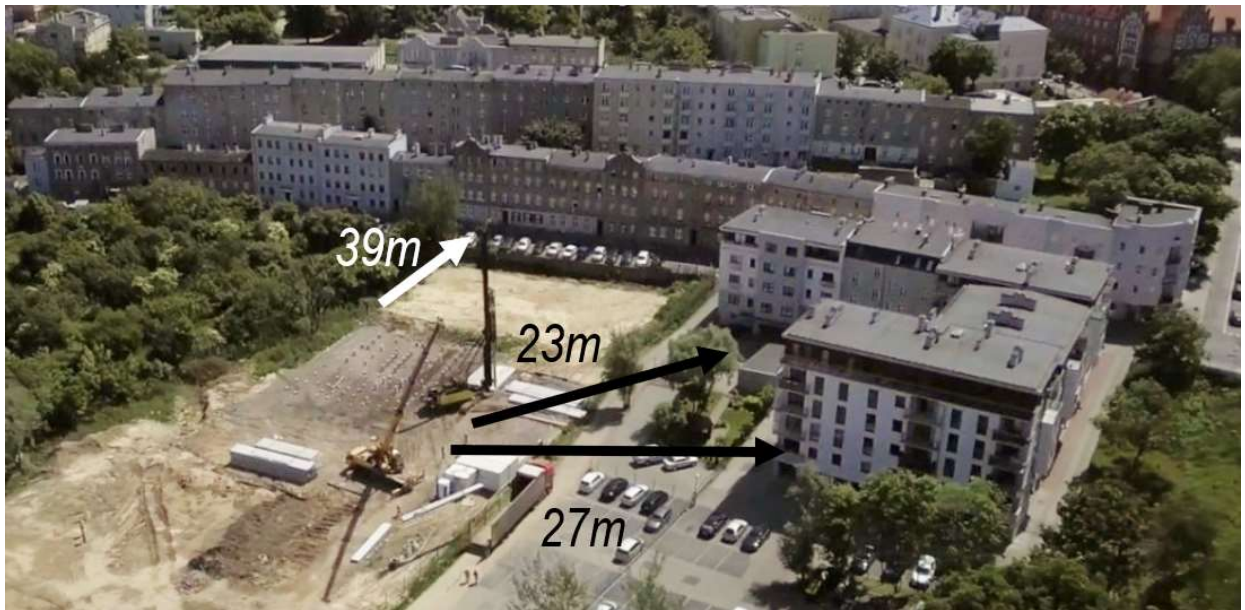
Projektant posadowienia przedstawił podział technologii robót wzmocnieniowych wskazując na zastosowanie żelbetowych pali prefabrykowanych dla posadowienia Segmentu nr 2, natomiast dla posadowienia Segmentu nr 1 wskazano technologię pali wierconych, formowanych w gruncie (Rys.2). Realizację robót na obu segmentach powierzono firmie Aarsleff.

W trakcie przygotowania do prac zwrócono szczególnie uwagę na bliskość sąsiedniej zabudowy (Rys. 3, 4, 5). W bliskim sąsiedztwie znajdowały się obiekty w zróżnicowanym stanie technicznym i różnorodnym przeznaczeniu (infrastruktura drogowa, zabudowa mieszkalna i usługowa, a także budynek seminarium duchownego). Ogólny widok terenu inwestycji przedstawiono poniżej.



Rys.3. Bliskość sąsiedniej zabudowy – podkład z wykorzystaniem mapy





Rys.4. Bliskość sąsiedniej zabudowy – podkład z wykorzystaniem zdjęcia

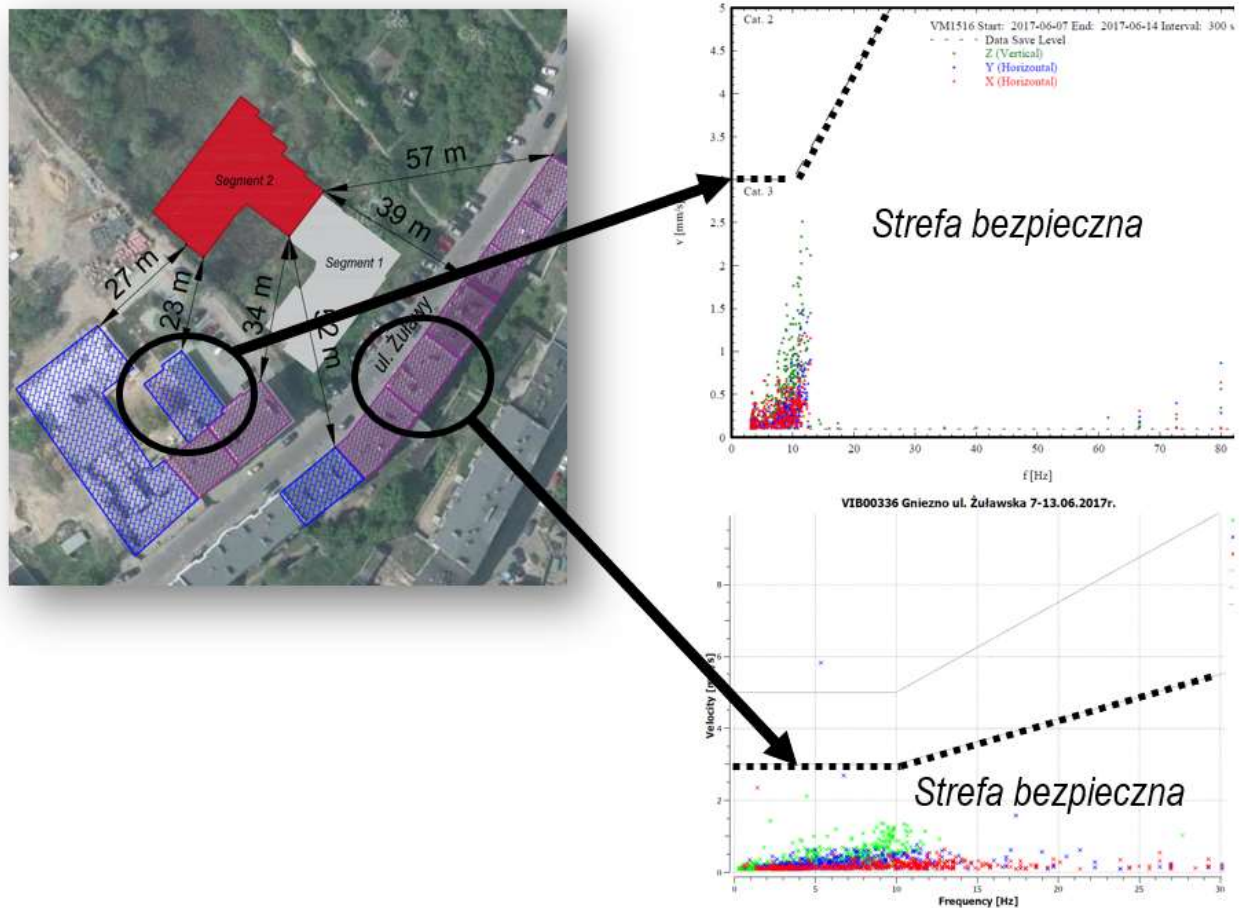
Poniżej przedstawiono stan elewacji niektórych obiektów usytuowanych wzdłuż ulicy Żuławy.



Rys.5. Stan istniejącej zabudowy – wybrane elewacje

Wobec stwierdzenia, iż w bliskim sąsiedztwie prowadzonych prac, znajdują się obiekty w złej kondycji technicznej, ale też obiekty mieszkalne i towarzyszące im obiekty infrastruktury podjęto decyzję o prowadzeniu stałego, ciągłego monitoringu wibracji.

„Chmura punktów” jako obraz odczytu prowadzonego monitoringu wibracji jednoznacznie wykazała, iż mimo zakwalifikowania obiektów do grupy budynków podlegających najbardziej rygorystycznym wymaganiom (wg DIN 4150), poziom wibracji nie przekroczył wartości dopuszczalnych (Rys. 6). Ponadto zauważono, iż poziom rejestrowanych wibracji powstałych na skutek prowadzenia prac palowych jest niższy niż wpływ codziennego ruchu ulicznego i nie przekracza wartości oddziaływań tzw. „tła”. Skutecznie wykonano samo palowanie. Wykonane pale pozwalają na przeniesienie projektowanych obciążeń, co potwierdzono badaniami nośności.



Rys.6. Wyniki monitoringu wibracji

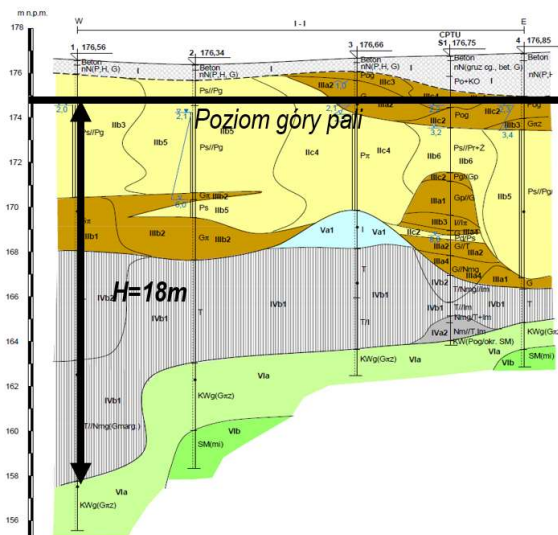
### 3. Zabudowa mieszkaniowa – inwestycja w Opolu

W przypadku poprzednio omawianej inwestycji można było mówić o wciskaniu pali przez większą część jego długości w gruncie jako technologii pogrążania pali w gruncie. Działo się tak na skutek warunków gruntowych panujących w podłożu, gdzie opór gruntu był niewielki i do jego pokonania wystarczyło niemal statyczne oddziaływanie przyłożone na pogrążany trzon żelbetowego pala. Natomiast, warunki gruntowe dla kolejnej omawianej inwestycji (Rys. 7), wymagały użycia większej energii wbijania w celu pogrążenia pali prefabrykowanych. Nad warstwą organicznych gruntów słabonośnych stwierdzono bowiem występowanie utworów piaszczystych o oporze stożka sondy CPTu  $q_c \approx 20\text{MPa}$  oraz stwierdzono, iż warstwą nośną zalegającą pod warstwą gruntów organicznych są zwietrzliny gliniaste i skała miękka (margle ilaste).

Zamierzenie inwestycyjne polegało na rozwiązaniu posadowienia pod dwa budynki mieszkalne sąsiadujące z istniejącym osiedlem, złożonym z domów jedno- i wielorodzinnych.

W celu ograniczenia oddziaływań na otoczenie podjęto szereg działań. Wykonano m. in. palowanie próbne z wykorzystaniem pali testowych. Wówczas przeprowadzono pomiary wibracji i hałasu celem właściwego doboru sprzętu (charakterystyk młota) do robót palowych. Wprowadzono również stały monitoring wibracji (Rys. 12). Ponadto wykonano przekop (Rys. 10) wzdłuż terenu robót palowych celem dodatkowego ograniczenia oddziaływań wibracji na istniejącą infrastrukturę, a grunt pochodzący z wykopu usypano tworząc dodatkowy ekran o charakterze dźwiękochłonnym. Zastosowano również przenośny ekran akustyczny (Rys. 8, 9). Wybrane elementy ograniczające oddziaływanie na środowisko zaprezentowano poniżej.





Rys.7. Charakterystyka budowy podłoża inwestycji w Opolu



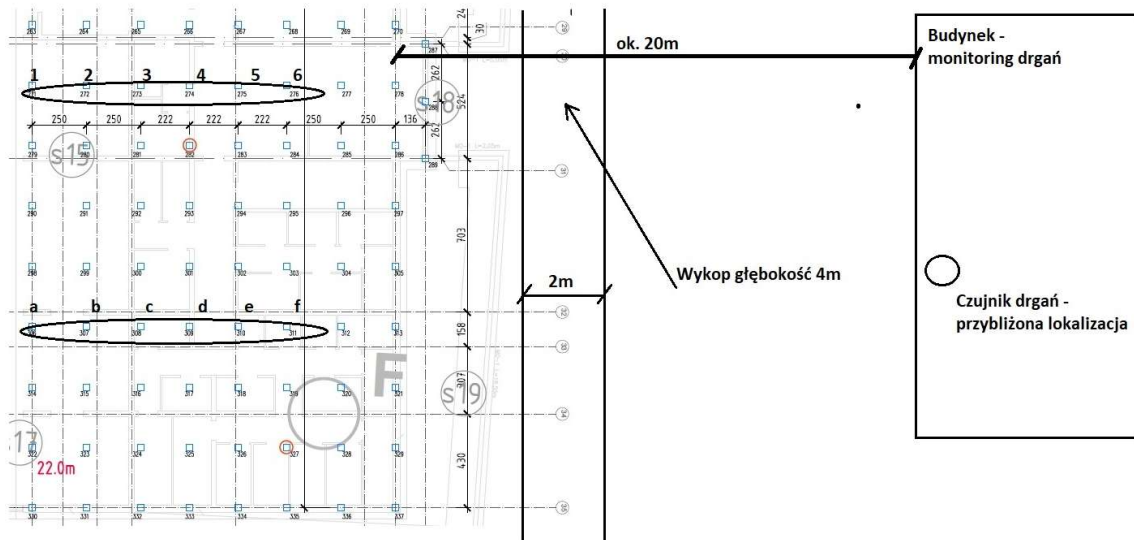
Rys.8. Przenośny ekran akustyczny, inwestycja w Opolu, w tle widoczna zabudowa jednorodzinna oraz korona wału ziemnego



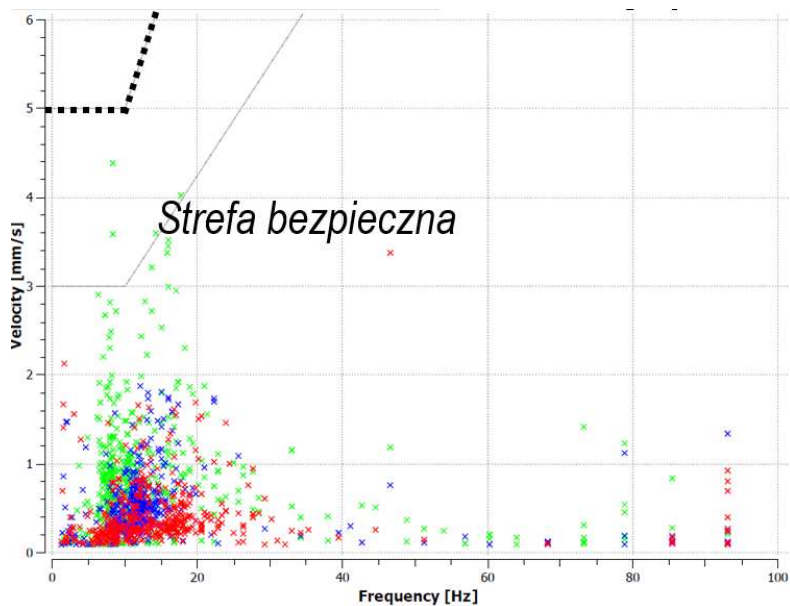
Rys.9. Przenośny ekran akustyczny, inwestycja w Opolu



Rys.10. Przekop ograniczający przenoszenie wibracji, inwestycja w Opolu

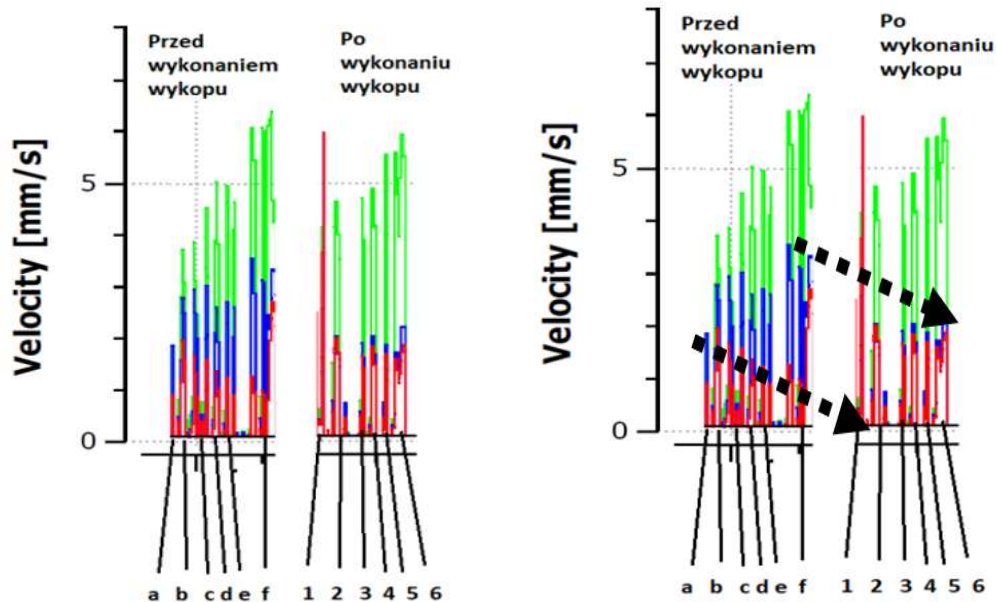


Rys.11. Przekop ograniczający przenoszenie wibracji, inwestycja w Opolu (odległości w planie)



Rys.12. „Chmura wyników” pomiaru wibracji – obraz z czujnika

Mierzalnym efektem zastosowanych zabezpieczeń są wyniki pomiarów wibracji połączone obserwacją „przed” i „po” ich wprowadzeniu, gdzie istotnie ograniczono rozchodzenie się drgań poziomych, mogących pochodzić z terenu budowy (Rys. 13). Po wykonaniu wykopu, stwierdzono rejestrowane wartości prędkości wibracji znacznie poniżej pierwotnych wskazań (o nie mniej niż o 50%).

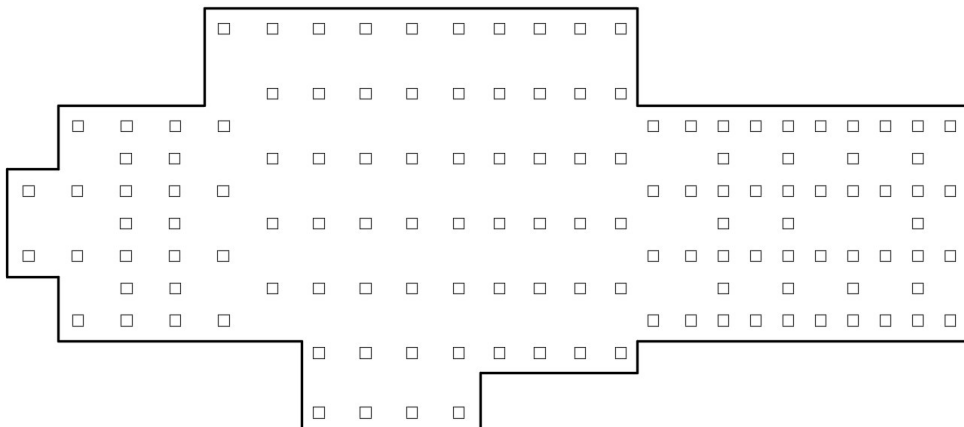


Rys.13. Efekty zastosowania przekopu, tłumienie poziomego kierunku drgań

#### 4. Zabudowa przemysłowa – pale pod urządzenia wibrujące

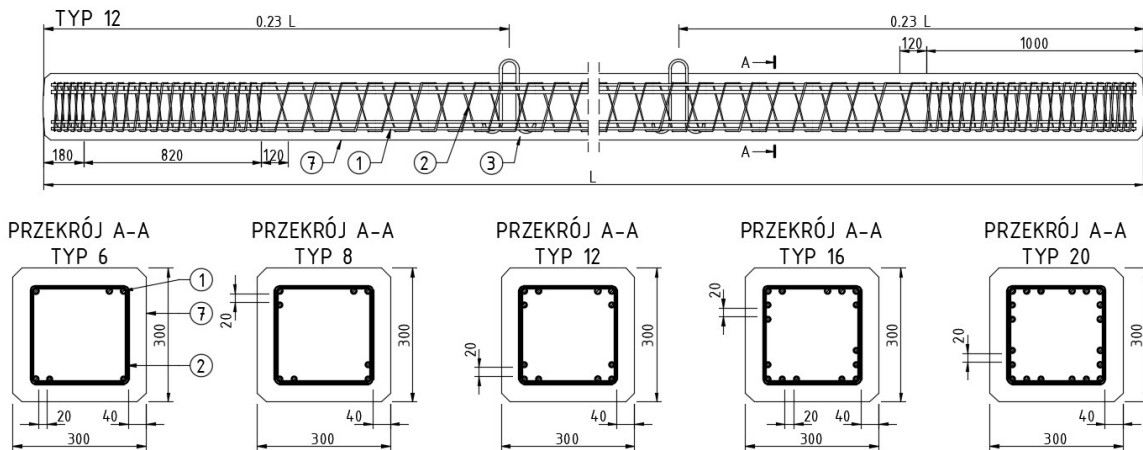
Rozbudowy i przebudowy zakładów przemysłowych narzucają wysokie wymagania dla rozwiązań palowych. Gęstość istniejących elementów uzbrojenia terenu (jak i budowli technicznych) występujących na terenach przemysłowych oraz dbałość o ich prawidłowe i niezakłócone funkcjonowanie stwarzają trudne wymagania dla robót palowych. Nie mniej istotne są kwestie wartości spodziewanych przemieszczeń fundamentowanego obiektu jak i wymogi nośności elementów posadowienia. Podkreśla się konieczność spełnienia wielu restrykcyjnych wymogów organizacji i planowania przebiegu prac wzmocnieniowych.

W omawianym przykładzie posadowienia fundamentu urządzenia (Rys. 14) niezwykle istotne było dochowanie wszelkiej staranności, aby powykonawcze położenie środka sztywności układu pali (jak i układu projektowanego), znajdowało się w środku sztywności układu fundament-maszyna. Obrys podstawy posiadał nieregularny kształt, a układ palowania zawierał również stanowiska dla przeprowadzenia próbnych obciążeń statycznych.



Rys.14. Plan palowania dla fundamentu

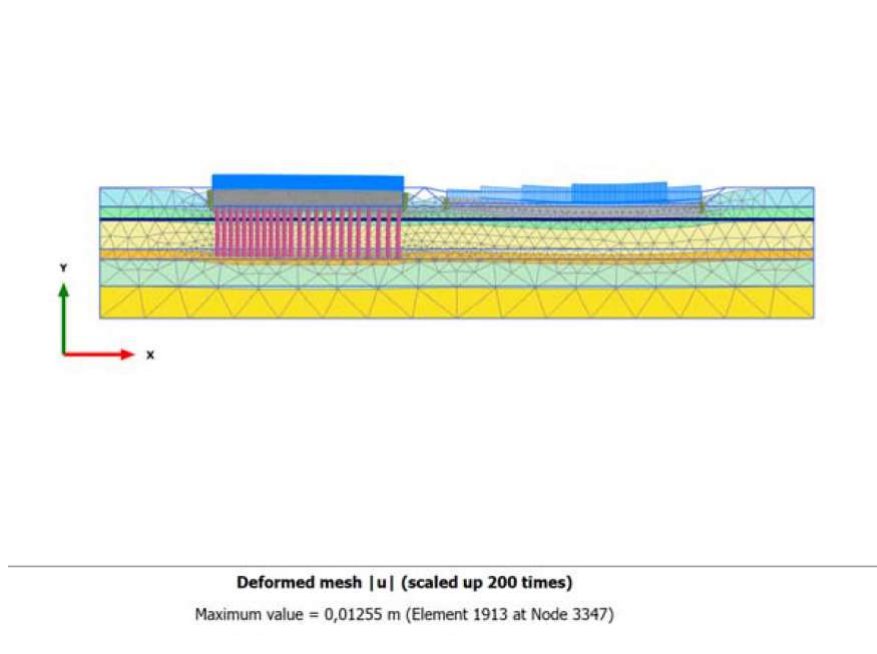




Rys. 15. Przekroje typowych żelbetowych pali prefabrykowanych

Jednoznaczne położenie przekroju pala wynika z wprowadzenia w podłoże gruntowe elementu o stałej i nieziennej geometrii przekroju (Rys. 15).

Ze względu na charakter pracy projektowanego urządzenia (urządzenie wibrujące) obecność pali była nieodłączną częścią analizy modalnej i harmonicznej fundamentu. Należało przedstawić nie tylko układ pali spełniający kryteria wycentrowania wzajemnego położenia środków sztywności, ale także taki, którego masa w żaden sposób nie spowoduje przekroczenia dopuszczalnych wartości amplitud prędkości i przemieszczeń, spełniając wyspecyfikowane kryteria sztywności dynamicznej i zakotwień zbrojenia pali, nie przekraczając wartości dopuszczalnych ugięć węzłów podporowych. Wymaganiem o dodatkowym charakterze była konieczność ograniczenia nośności pobocznic pali oraz spełnienie rygorystycznych warunków co do kontroli stanu sąsiadującej zabudowy i wzajemnej różnicy osiadań fundamentów sąsiednich. By zweryfikować spełnienie tych kryteriów na etapie projektowym zastosowano analizę metodą elementów skończonych.



Rys. 16. Model obliczeń numerycznych posadowienia sąsiednich obiektów

Weryfikacja spełnienia wyżej wymienionych kryteriów na etapie prac projektowych przekonała projektantów branżowych, generalnego wykonawcę i inwestora o wprowadzeniu technologii żelbetowych pali prefabrykowanych w samo centrum uprzemysłowionego i silnie uzbrojonego terenu. Skuteczne wykonanie prac wzmocnieniowych, potwierdzono szeregiem opracowań powykonawczych, w tym monitoringu przemieszczeń elementów sąsiedniej infrastruktury technicznej oraz próbnymi obciążeniami.



## 5. Ciągły rozwój

Gromadzone doświadczenie jest podstawą dla nieustannie weryfikowanej bazy wiedzy dla zastosowań żelbetowych pali prefabrykowanych. Przywołane doświadczenia umożliwiają prace w terenie, gdzie krzyżują się trudne warunki gruntowe (dla pogrążania pali nie zawsze są to grunty słabonośne w rozumieniu pojęcia „trudnych warunków gruntowych”) i coraz bardziej wyśrubowane warunki zewnętrzne i wewnętrzne terenów inwestycji. Należy zaliczyć do nich sąsiedztwo obiektów budowlanych i infrastruktury (zarówno to istniejące jak i projektowane) jak i wymogi stawiane posadawianym fundamentom.

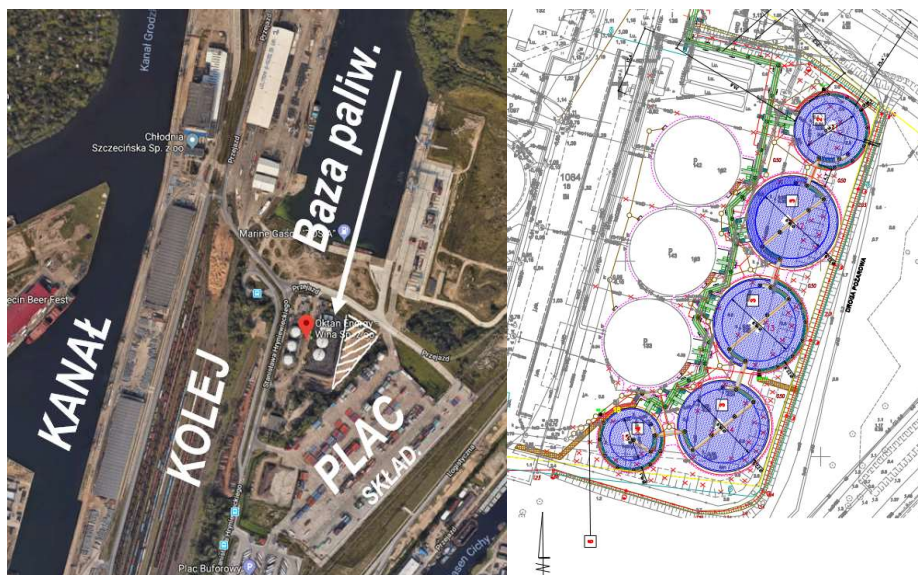
Kiedy celem inwestycji jest zagospodarowanie terenu pozostającego wcześniej trwałym nieużytkiem, a rozwój inwestycji wymusza konieczność planowania inwestycji na wspomnianym obszarze często sięga się po uzdatnienie terenu z wykorzystaniem palowania. Nie inaczej było w przypadku Śląskiego Wesołego Miasteczka „Legendia” czy w bazie paliw w Szczecinie.

W Chorzowie należało w bardzo krótkim terminie (3 miesiące) wykonać posadowienie największego w tej części Europy rollercoasatera (Rys. 17). Oparta na 187 podporach oczepowych konstrukcja wyznaczona została na terenie funkcjonującego parku rozrywki (Rys. 18). Ponadto zlokalizowana została częściowo na lądzie a częściowo w wodzie, w wysoce agresywnym (siarczanowym) środowisku wodnogruntowym.



Rys. 17 i 18. Legendia, plan budowy oraz konstrukcja w trakcie wznoszenia [3]

Natomiast dla rozbudowy położonej w Szczecinie bazy paliw (Rys. 19 i 20) zaplanowano budowę 5 cylindrycznych zbiorników przeznaczonych do magazynowania oleju napędowego. Teren inwestycji jest ograniczony zagospodarowaniem sąsiednim (m in. Port) i istniejącymi zbiornikami na paliwa wraz z towarzyszącą im infrastrukturą.



Rys. 19 i 20. Baza paliw, zagospodarowanie terenu oraz rozmieszczenie zbiorników

Zastosowanie technologii żelbetowych pali prefabrykowanych pozwoliło na uzdatnienie trudnodostępnych i przemysłowych terenów dla kolejnych celów i zamierzeń inwestycyjnych.

## 6. Żelbetowe pale prefabrykowane preferowanym wyborem

Podsumowując wybrane zagadnienia towarzyszące zastosowaniom żelbetowych pali prefabrykowanych należy wspomnieć, że przybliżono tylko wybrane aspekty towarzyszące pracom z wykorzystaniem pogrążanych pali. Wyboru technologii dokonano kierując się dobrem inwestycji i szeregiem zalet technologii. Jest to także wybór inwestora i zarządcy terenu inwestycji, poparty często przeprowadzonym rachunkiem ekonomicznym.

Pał prefabrykowany jest w pełni kontrolowalnym elementem od początku swojej produkcji do fazy eksploatacji. Dla zagadnień projektowych, m. in. dzięki stałej geometrii, ściśle określonej zbrojeniu i masie, jest dedykowany dla wszelkich zadań głębokiego posadowienia obiektów. Niezmiennie pozostają zalety wykonawcze, choćby czysty plac budowy, wysoka wydajność i krótki czas realizacji – przy natychmiastowej możliwości prowadzenia prac wykonawczych po wbudowaniu pali w podłoże.

Towarzyszące pracom sprzętu budowlanego oddziaływania jak emisja drgań czy hałasu, ze względu na oczywistą konieczność prowadzenia prac w zurbanizowanym terenie, podlegają uważnej obserwacji. Oddziaływanie prac budowlanych z wykorzystaniem technologii pali prefabrykowanych zawarte w zakresie oddziaływań otoczenia (tzw. „tła”) jest często faktem, a stosowane rozwiązania techniczne ograniczające oddziaływania podnoszą komfort prowadzonych prac i sprzyjają ochronie środowiska.

## 7. Wortal pale-prefabrykowane.pl

Warto wspomnieć, że w Internecie pojawiła się nowa inicjatywa gdzie gromadzona jest wiedza i doświadczenia z zakresu stosowania technologii żelbetowych pali prefabrykowanych. Choć technologia pali prefabrykowanych wbijanych jest znana od dziesiątków lat, nie było dotychczas stale aktualizowanego portalu dedykowanego wspomnianej wyżej technologii.

Odwiedzając i logując się na stronie internetowej pale-prefabrykowane.pl można uzyskać dostęp do szerokiego zasobu wiedzy i materiałów. Bogato ilustrowane opisy, liczne odwołania do wiedzy technicznej poparte studium przypadku (ang. case study), pozwalają dobrze zapoznać się z teorią i z praktycznymi aspektami zastosowań pali prefabrykowanych.



Rys. 17 pale-prefabrykowane.pl, przykład udostępnionych materiałów do pobrania

Zachęcamy do wymiany doświadczeń na pale-prefabrykowane.pl.

## 8. Wykaz głównych źródeł

- [1] Materiały udostępnione poprzez wortal pale-prefabrykowane.pl, [dostęp 2019.02.16]
- [2] Materiały własne firmy Aarsleff, opracowania technologiczne dla realizacji róbót palowych
- [3] <https://www.fakt.pl/wydarzenia/polska/slask/29-kwietnia-otworza-slaskie-wesole-miasteczko-nazywa-sie-legendia/6ldj16c#slajd-3>, [dostęp 2019.02.17]