GEOINŻYNIERIA

GEOTECHNIKA

ŁUKASZ MADEJ
GDMT geoinżynieria drogi mosty tunele

18 czerwca br. firma Keller Polska zorganizowała webinarium, w trakcie którego jej eksperci dzielili się doświadczeniami z zadań zrealizowanych już w portach morskich. Praca w tego typu miejscach wiąże się nie tylko z bardzo specyficznymi warunkami gruntowymi, dużymi wyzwaniami projektowymi i wykonawczymi, ale również z niespodziankami. Przykład? W Porcie Gdańsk instalację pali uniemożliwiała zalegająca w gruncie... barka

Po połączeniu północy i południa Polski siecią dróg ekspresowych i autostrad na znaczeniu zyskały nasze rodzime porty morskie, stając się ważnymi elementami korytarza łączącego Morze Bałtyckie z Morzem Adriatyckim. By zwiększyć ich rolę, jakiś czas temu ogłoszono dalekosiężne plany. Z nimi wiąże się potrzeba pogłębiania torów, akwenów wewnętrznych, za którymi idzie z kolei np. konieczność modernizowania lub budowy nabrzeży. W dalszej perspektywie powstawać mają też terminale zewnętrzne czy porty centralne. To właśnie z tego powodu obecnie tak dużo mówi się nie tylko o samych portach, ale też o budownictwie hydrotechnicznym.

Webinarium Keller Polska podzielono na dwie części. W ramach pierwszej dr inż. Rafał Buca opowiadał o wyzwaniach geotechnicznych w projektowaniu i wykonawstwie konstrukcji morskich. *Z geotechnicznego punktu widzenia styk lądu i wody zawsze był bardzo interesujący, ponieważ, przeważnie, charakteryzuje się zaleganiem gruntów aluwialnych pochodzenia rzecznego czy morskiego, często organicznych, które cechują się bardzo niskimi parametrami wytrzymałościowo-odkształceniowymi. Jeżeli dodatkowo ten styk ma być pionowy do głębokości kilkunastu czy niekiedy nawet kilkudziesięciu metrów, a jeszcze dochodzi potrzeba cumowania statków, przeładunku oraz magazynowania towarów, to takie miejsce nazywamy nabrzeżem. To zawsze swego rodzaju wyzwanie inżynierskie* – mówił.

NAJWIĘKSZYM PRZECIWNIKIEM JEST GŁĘBOKOŚĆ

Z czym musi się zmierzyć projektant nabrzeża? Zdaniem dr. Bucy, przede wszystkim z głębokością. Znamienne jest, że w ciągu ostatnich 100 lat zanurzenie statków zwiększyło się z około 10 do 24-25 metrów, a obecnie nikogo już nie dziwią statki o ładowności przeszło 300 tys. DWT (ang. *deadweight tonnage*). W 75% o kosztach budowy nabrzeży, jak mówi ekspert, decydują ich wysokości oraz głębokości. Jedynie w około 10% wynikają one z planowanych obciążeń (od dźwigów czy składowanych towarów). Z kolei tylko 12% związane jest z warunkami geotechnicznymi, *co oczywiście nie upoważnia do tego, żeby nie robić dokumentacji geotechnicznej. Odwrotnie: należy ją robić zgodnie z rozporządzeniem i w zakresie odpowiadającym drugiej i trzeciej kategorii geotechnicznej, do których należą nabrzeża* – stwierdził. 3% kosztów to wypadkowa tzw. wpływów wody, choć akurat w Polsce te wahania nie są wielkie.

NOWOCZESNE METODY TRZEBA CZUĆ

Projektowanie portów czy nabrzeży to zagadnienia techniczne, które zawsze powinny być poprzedzone np. analizą koniunktury, miejsca na szlakach przepływu towarów czy praw własnościowych. Trzeba więc podjąć decyzję, jakiego rodzaju obiekt chcemy wybudować (zewnętrzny czy wewnętrzny) i jakie przeładunki zamierzamy w nim przeprowadzać. *O jakości projektu decyduje doświadczenie projektanta i to, jakie mamy tzw. wsady, czyli dane dotyczące parametrów gruntów, obciążeń, a także, jakimi posługujemy się metodami i modelami obliczeniowymi. Obecnie modne są metody numeryczne, różnego rodzaju programy bardzo pomagają*

W HYDROTECHNICE

CO NALEŻY WIEDZIEĆ, BY BUDOWAĆ ODPOWIEDZIALNIE?

w obliczeniach, ale należy pamiętać, że to tylko modele opisujące rzeczywistość, a nie ona sama. Inny model wykorzystuje się do określenia np. sił w palach, a inny do sił wewnętrznych w ścianie odwodnej. Trzeba mieć świadomość, że nie ma modeli uniwersalnych, a dobry to taki, którego wrażliwość na różne czynniki zewnętrzne jest nam znana. Nieodpowiedzialne używanie tego typu narzędzi może spowodować różne usterki. To metody nowoczesne, dające wiele możliwości, ale też wiąże się z nimi odpowiedzialność, trzeba je po prostu czuć – wyjaśnił.

Istotne jest też założenie okresu użytkowania konstrukcji. Jak mówił ekspert, w przypadku nabrzeży w Polsce zakłada się 50–60 lat ich żywotności, a nawet więcej. Tymczasem na świecie jest inna tendencja. *W innych krajach decydujące znaczenie ma życie ekonomiczne nabrzeża, które w praktyce przeważnie jest krótsze od żywota technicznego. Dlatego warto zastanowić się, czy w Polsce nie powinniśmy budować takich nabrzeży, które będą bardziej podatne na to, co przyniesie przyszłość, niż od razu wydawać pieniądze na nabrzeża na 60 czy 100 lat* – dodał.

Rafał Buca podkreślił także potrzebę znajomości przez projektanta możliwości sprzętu służącego do pracy w poszczególnych technologiach. Chodzi o uniknięcie sytuacji, kiedy to w trakcie trwania robót nie da się czegoś wykonać, bo np. maszyna nie mieści się na placu budowy czy nie można jej pochylić. Jego zdaniem ogromną zaletą firm takich jak Keller jest występowanie w podwójnej roli. Jeśli *zajmujemy się zarówno projektowaniem, jak i wykonawstwem, to po prostu znamy możliwości swojego sprzętu. Samych technologii jest bardzo dużo, a każda ma swoje plusy i minusy. Warto znać te ograniczenia, bo tylko wtedy można je stosować odpowiedzialnie.* Dr inż. Rafał Buca uważa też, że w Polsce powinna rozpocząć się dyskusja nad monitoringiem wybudowanych już nabrzeży. *Pozyskane w taki sposób informacje byłyby bardzo przydatne projektantowi, pozwalałyby na dobór odpowiednich rozwiązań przy pracy nad kolejnymi nabrzeżami. Niestety, u nas monitoring konstrukcji nie istnieje w takim wymiarze, w jakim powinien.*

GEOTECHNIKA W PORTACH MORSKICH

Nabrzeże to konstrukcja oporowa, której stateczność zapewnia ściana odwodna oraz elementy kotwiące. Cały ten układ musi przenosić obciążenia: od parcia gruntu, od parcia i ciągnienia statku, od obciążeń zewnętrznych pochodzących od urządzeń dźwigowych. W przypadku obecnie planowanych głębokości nabrzeży najpopularniejszym rozwiązaniem ściany odwodnej jest tzw. ściana typu *combi wall* (kombinacja profili nośnych typu H albo podwójny H lub rur z elementami wypełniającymi typu U lub Z). Czym taka ścianka różni się od zwyczajnej ścianki szczelnej, która przez lata była stosowana w naszych portach? *Tym, że elementy kombinowane przenoszą też obciążenia pionowe. Ścianka szczelna z założenia ich nie przenosiła, robiły to, np. dla szyny odwodnej, pale wykonywane tuż za nią. Z kolei ściana kombinowana łączy zarówno elementy oporowe, przenoszące momenty zginające od parcia gruntu, jak i siły osiowe od obciążeń pionowych* – tłumaczył.

Firma Keller wzięła udział m.in. w modernizacji Nabrzeża Dworzec Drzewny w Porcie Gdańsk, realizowanego dla generalnego wykonawcy – Budimex. Była to jej pierwsza realizacja, w ramach której wykonała wszystkie elementy kotwiące, w tym przypadku pale oraz ścianę *combi wall*. Pierwotnie zaproponowano, by wykorzystane zostały pale pochyłe CFA o średnicy 630 mm oraz kotwy gruntowe. W międzyczasie spółka wzbogaciła się o nową palownicę (Fundex F350), co pozwoliło zmienić pierwotny układ i skorygować projekt „pod" nową maszynę. *Ograniczenia poprzednich maszyn umożliwiały wykonanie pali CFA maksymalnie w nachyleniu 5:1, a nowa jednostka może je wykonywać w nachyleniu 3:1, zarówno pod siebie, jak i na siebie. Postanowiliśmy zrezygnować z kotew gruntowych, ponieważ podrażały koszty inwestycji, i zakotwić nabrzeże za pomocą pali ukośnych. Zaprojektowaliśmy nowy układ palowy z nową ścianką. Wykonaliśmy układ pali pionowych i ukośnych o długości dwudziestu kilku metrów oraz nachyleniu 4:1. Zaprojektowaliśmy też szablon dla instalacji ściany odwodnej combi wall* – opowiadał. Założeniem było wykonywanie wszystkich elementów z lądu, przy czym w miejscach, gdzie ścianka kombinowana nie była w zasięgu dźwigu (16 m), pracowano z tzw. grodzy. Kolejność robót była następująca: instalacja szablonu, zawibrowanie rur do pewnej głębokości i dobicie ich 12-tonowym młotem w celu wytworzenia się korka gruntowego. Równocześnie instalowane były pale, zarówno pionowe, jak i ukośne.

JAK UNIKNĄĆ KUCIA NABRZEŻA?

Rafał Buca mówił też o wyzwaniach, przed jakimi firma Keller stanęła w ramach modernizacji Nabrzeża Wisłoujście, także w Porcie Gdańsk (w tym przypadku nie opracowywała projektu). *Było to o tyle ciekawe zadanie, że prace prowadziliśmy z wody. Zresztą, to pierwsza nasza realizacja, kiedy wypłynęliśmy dźwigiem na wodę. Roboty znacznie przyspieszyło zastosowanie mniejszego wibratora z możliwością zmiany częstotliwości drgań. Kolejny raz okazało się, że karty rozdaje grunt.*

Wszystkie prace na wodzie, a także palowanie pod obiekty na lądzie (magazyn, terminal promowy, estakada), to z kolei prace zlecone w ramach modernizacji Nabrzeża Polskiego w Porcie Gdynia. W tym przypadku także wykorzystano ściankę *combi wall*, a ponadto pale CFA, SDP i rurowe otwarte oraz kotwy. Wykonawca otrzymał projekt, z którego wynikało, że pale prefabrykowane z lat 70. XX w. nie przenoszą obciążeń dla nowej głębokości nabrzeża wynoszącej 12 m. *Podjęliśmy próbę zbudowania pełnego modelu 3D, żeby zobaczyć, ile rzeczywiście przenoszą i jakie mają obciążenie. Okazało się, że jest ono mniejsze, ale nie na tyle, żeby było bezpiecznie. Zdecydowaliśmy się zamienić oryginalną ściankę GU. Pierwotnie projekt zakładał rozkucie 7 m płyty i wykonanie dodatkowych pali prefabrykowanych. Chcieliśmy jednak uniknąć kucia całego nabrzeża. Postanowiliśmy o wykonaniu ściany kombinowanej z rur, czyli elementu znacznie sztywniejszego, odciążającego układ palowy* – wyjaśnił. W ramach tego samego zadania postanowiono też o zmianie konstrukcji rampy ro-ro. Pierwotnie obudowana była ścianką typu GU, w środku zainstalowano pale stalowe o średnicy 800 mm. Keller podjął decyzję o wykonaniu ściany kombinowanej. Po zasypaniu, zakończeniu konsolidacji gruntu, w środku zainstalowano pale CFA.

PRACA KONSTRUKCJI NIE MUSI BYĆ WYSILONA

Drugim tematem poruszonym w trakcie webinarium było wzmacnianie podłoża pod place i budowle portowe oraz omówienie poletek badawczych w ramach jednej z inwestycji. Ten temat przedstawił dr inż. Tadeusz Brzozowski, starszy specjalista z działu technicznego Keller Polska. *Jeżeli dysponujemy szeregiem różnych technologii, wiemy, jakie są sztywności, osiadania, to jesteśmy w stanie zaprojektować posadowienie obiektów, placów składowych, zbiorników w trochę inny sposób. Z jednej strony ma to korzyści ekonomiczne, a z drugiej praca konstrukcji nie musi być tak mocno wysilona* – powiedział.

W ramach budowy drugiego terminalu głębokowodnego w Porcie Gdańsk (DCT 2) musiano przegłębić dno basenu, zbudować nabrzeże i wykonać place składowe. Zadaniem firmy geotechnicznej było posadowienie placów składowych pod kontenery, jak również belki podsuwnicowej. *Kiedy powstawał projekt, trzeba było wziąć pod uwagę funkcjonalność, to, jakie wymagania stawiały urządzenia, suwnice, obciążenia. Wcześniej w tym miejscu była zatoka, więc po wykonaniu nabrzeża należało przeprowadzić zalądowanie, a następnie zagęścić grunt, żeby plac nadawał się do eksploatacji. Zmienności stropów i spągów warstw namułów również powodowały, że musieliśmy zastosować różne technologie, by posadowienie w ogóle było możliwe* – mówił dr Tadeusz Brzozowski.

Zakres robót dotyczących placów składowych był imponujący: ponad 20 ha zagęszczania powierzchniowego metodą *impuls compaction* (zagęszczanie impulsowe), prawie 100 km kolumn żwirowych i betonowo-żwirowych, blisko 40 km wzmocnienia gruntu w technologii *vibro compaction* (wibroflotacja), 12 km pali CFA jako bufor między kolumnami żwirowymi i nabrzeżem. W przypadku posadowienia belki podsuwnicowej wykorzystano prawie 23 km pali CFA, kotwy, mikropale (ponad 10 km). O skomplikowaniu tego zadania świadczy też fakt, że kooperowało ze sobą kilka biur projektowych z różnych krajów, które stosowały różne oprogramowanie. Na tej budowie firma Keller po raz pierwszy wykonywała tak długie pale CFA o średnicy 650 mm (do 29 m) i pod takim kątem (9,5 stopnia; zbrojone na całej długości i na części z centralizatorem zbrojenia). W przypadku mikropali wielkości wynosiły odpowiednio: do 36 m i 45 stopni nachylenia (wykorzystano największą dostępną wtedy żerdź – T103S).

Przed rozpoczęciem robót prowadzono badania na poletkach próbnych. Sprawdzano na przykład, jak bardzo można się zbliżyć z zagęszczaniem impulsowym do instalacji gazowej, aby jej nie uszkodzić. *Okazało się, że bez jakichkolwiek zabiegów możliwa jest praca tylko w odległości do 50 m. Gdyby jednak między tą instalacją a terenem wzmacnianym wykonać rów, to już można zbliżyć się na 15 m. Odseparowanie terenu rowem w zupełności spełniało warunek bezpiecznej pracy* – opowiadał dr Brzozowski. Na kolejnych poletkach skorzystano m.in. z metody obciążania nasypem, dzięki czemu symulowano rzeczywiste osiadania wzmocnionego podłoża. *Taki zabieg stosuje się rzadko, ponieważ najczęściej nie ma na to czasu, ale w tym przypadku było inaczej, z uwagi na obszar, który miał zostać wzmocniony. Wykonaliśmy kilka nasypów. Dwa miesiące obserwacji pokazały, że natychmiastowe osiadania zachodziły najszybciej do 20 dni, a później to już w zasadzie był proces stabilizacji* – wyjaśniał.

W ramach tego zadania sprawdzano też średnice trzonów kolumn FSS w piaskach i namułach. Jak przypominał ekspert, w przypadku

trzonu kolumny formowanej w gruntach słabych albo na przejściu z gruntami słabymi i niespoistymi (tutaj głównie piaskami drobnymi) zachodzi wątpliwość co do tego, jaką średnicę będzie miał trzon. Należało sprawdzić, czy nie występują przewężenia. Po odkopaniu kolumn okazało się, że o ile w piaskach, szczególnie zagęszczonych, średnica trzonu była prawie nominalna, to w przypadku namułów była większa, średnio wynosiła około 1 m lub więcej (wibrator ma wymiar 0,6 x 0,8 m). Według przedstawiciela Keller Polska *pokazało to, że ta technologia bardzo dobrze sprawdza się w takich gruntach i nie ma przewężeń trzonów czy problemów z przejściem z gruntu słabego w mocny.*

Na innych poletkach sprawdzano też np. skuteczność zagęszczania technologiami *vibro compaction* i kolumn żwirowych KSS czy nośności i sztywności pali CFA 650 mm, a także mikropali 300 mm. W ramach tak odpowiedzialnych robót niesamowicie istotna jest kontrola jakości. *Bardzo dużą rolę pełniły sondowania statyczne, wykonano ich ponad 500. Celem ich przeprowadzenia było sprawdzenie, czy zagęszczenie kolumnami żwirowymi i zastosowanie metody vibro compaction zdaje egzamin, gdyż zdarzały się miejsca, w których występowały bardzo słabe grunty. Zainstalowano też np. monitoring sił w mikropalach – czujniki założono na siedmiu żerdziach. Na razie maksymalna siła to 75% tego, co było obliczone (z pomiarów otrzymano 582 kN). Uważam, że świadczy to o optymalnym projektowaniu* – przyznał ekspert.

NIESPODZIEWANE PRZESZKODY

Na budowie terminalu naftowego w Gdańsku firma Keller została zatrudniona do posadowienia sześciu zbiorników o średnicy 62 m, a także czterech zbiorników ppoż. o średnicy 17,6 m. Jak wyjaśnił dr Tadeusz Brzozowski, wykonano prawie 650 kolumn SDC z głowicami żwirowymi oraz 61 kolumn SDC pod każdy ze zbiorników ppoż., czyli prawie 80 km kolumn, w tym 18 km zbrojonych. Podłoże w rejonie posadowienia zbiorników zbudowane jest z luźnych i średnio zagęszczonych piasków oraz namułów. Dopiero na głębokości od kilkunastu metrów znajduje się warstwa bardzo zagęszczonych piasków. *Problem polega na tym, że nawet ciężkie maszyny nie są w stanie wkręcić świdra w bardzo zagęszczony grunt. Nasze kolumny zostały rozmieszczone we wspólnych koncentrycznych okręgach. Ściany dwupłaszczowego zbiornika posadowiono na dwóch rzędach kolumn, z czego tylko ta wewnętrzna była zbrojona, a dno zbiornika posadowiono na kolumnach bez zbrojenia, dodatkowo te kolumny nie były połączone z fundamentem. To sprawia, że siły znacznie lepiej się rozkładają, nie mamy punktowego podparcia, a jednocześnie praca wszystkich elementów jest bardziej równomierna. W przypadku tych zbiorników testowaliśmy nośności pojedynczych kolumn* – tłumaczył.

Co ciekawe, w trakcie wykonywania kolumn na jednym ze zbiorników po pewnym czasie od zabetonowania, najczęściej w trakcie wykonywania następnej kolumny, zaczyna znikać beton. Jak się okazało, w przeszłości ten obszar był zalądowiony, a głęboko w gruncie zostawiono barkę. Należało ją wykopać, aby następnie prawidłowo wykonać kolumny.

POSADOWIENIE MOŻE BYĆ MIĘKKIE

Jednym z opisywanych podczas webinarium zadań było także wzmocnienie podłoża pod posadowienie placów kontenerowych manewrowych i dróg dojazdowych do terminalu kontenerowego w Porcie Szczecin. Jak opisywał prelegent, w tym przypadku wykorzystano m.in: 3052 kolumn SDC z głowicą żwirową pod fundamenty placów, 16 pali SDP pod fundamenty masztów oświetleniowych, 503 kolumny SDC z głowicą żwirową pod posadowienie dróg dojazdowych. Były to kolumny o średnicy od 360 do 400 mm i długości od 10 do 19 m. W sumie wykonano 3571 kolumn (43,5 km; w tym 377 kolumn zbrojonych IPE 120 o długości 3 m). Maksymalne obciążenie wynosiło 350 kN na kolumnę w przypadku placów składowych oraz 453 kN na kolumnę w przypadku placów manewrowych.

W Szczecinie zaprojektowaliśmy posadowienie, które nie jest sztywne, a raczej miękkie. Kolumny zostały od góry zakończone głowicą żwirową, dodatkowo na to wszystko przyszła warstwa żwirowa z elementami geotekstylnymi, a potem nawierzchnia sztywna. Tego typu posadowienie powoduje lepszy rozkład sił, lepszą pracę i bardziej równomierne osiadanie – mówił ekspert Kellera. Na samym końcu przeprowadzono próbne obciążenie w skali naturalnej (nie na całych fundamentach, a na ich części). Pod obciążeniem kontenerów maksymalne osiadanie było mniejsze niż 5 mm. *Mimo elastycznego podparcia całość pracuje bardzo sztywno, a obciążenia są przenoszone w bardziej optymalny sposób niż gdybyśmy zastosowali sztywne podparcie palami* – stwierdził.

Do udziału w webinarium na temat związany z hydrotechniką zapisało się ponad 200 osób, co świadczy o dużym zainteresowaniu pracami Keller Polska oraz związanymi z budownictwem morskim w szczególności. Po wystąpieniach eksperci odpowiadali na pytania uczestników.

Obecnie władze portów w Polsce rozstrzygają przetargi na kolejne inwestycje, w ramach których konieczne będzie zastosowanie opisywanych technologii. Tym samym okazji i powodów do kolejnych dyskusji, ale i do zdobywania nowych doświadczeń, na pewno nie zabraknie.