

INŻYNIERIA MORSKA *i* GEOTECHNIKA

5
2025



$E = 100 \text{ MPa}$, $\nu = 0,30$, $\phi = 40^\circ$, $c = 0 \text{ kPa}$, podłoże gruntowe $E = 35 \text{ MPa}$, $\nu = 0,35$, $\phi = 40^\circ$, $c = 0 \text{ kPa}$, spoina $E = 1 \text{ MPa}$, $\nu = 0,4$. Wartości parametrów z prezentowanej iteracji (rys. 13) wskazują na niską sztywność podbudowy z mieszanki niezwiązanej (moduł poniżej 200 MPa) oraz niski moduł sprężystości płyt granitowych, co tylko częściowo można tłumaczyć występującymi spękaniami w płytach. Wartości modułu płyt granitowych wymagają dalszych wyjaśnień. Można stwierdzić, że na tym etapie obliczeń MES uzyskano wyniki jakościowo poprawnie opisujące zachowanie się nawierzchni, to jest odpowiadające wynikom z terenowego pomiaru DIC.

PODSUMOWANIE

Metoda DIC nie jest powszechnie stosowana w warunkach *in situ* z powodu większej pracochłonności przygotowania stanowiska pomiarowego w stosunku do powszechnie stosowanych narzędzi w diagnostyce nawierzchni, na przykład ugięciomierz FWD, TSD. Należy jednak podkreślić bardzo bogaty zakres danych pozyskiwany przez system DIC dla obserwowanej powierzchni o wymiarach około $2,0 \times 1,0 \text{ m}$, to jest szczegółową mapę przemieszczeń oraz mapę odkształceń.

Najważniejszym spostrzeżeniem z analizy pomierzonych ugięć metodą DIC jest widoczne uniesienie krawędzi płyt przeciwnych do krawędzi obciążonej kołem pojazdu. Stwierdzenie takiego zachowania się płyt pod obciążeniem bardzo dobrze tłumaczy mechanizm zniszczenia spoiny poddanej siłom rozciągającym. Do podobnych wniosków prowadzą wyniki obliczeń teoretycznych MES.

Przywołany zakres analizy wyników badań powinien być traktowany jako przykładowy i z pewnością nie wyczerpuje możliwości jakie niesie ze sobą korzystanie z danych pozyskanych podczas pomiarów metodą DIC.

Rozwój współczesnych technik pomiarowych, w tym metody DIC, stwarza coraz większe możliwości obserwacji i analizy zachowania się nawierzchni pod obciążeniem. Z pewnością metoda DIC stanowi ważne narzędzie do oceny nietypowych lub początkowo nieoczywistych zjawisk mogących wystąpić w konstrukcjach komunikacyjnych, w tym w nawierzchniach drogowych.

LITERATURA

1. Barriera M., Pouget S., Lebental B., Van Rompu J.: In Situ Pavement Monitoring: A Review. *Infrastructures (Basel)* 2020, 5, 18, doi:10.3390/infrastructures5020018.
2. Fang S., Gao Z., Sia B., Luan L., Yang L.: Laser-light speckle image correlation vs. white-light speckle image correlation: potentials and limitations. *Optics and Laser Technology*, 194 (2026), 114501.
3. Górszczyk J., Malicki K., Zych T.: Application of Digital Image Correlation (DIC) Method for Road Material Testing. *Materials* 2019, 12, 2349, doi:10.3390/ma12152349.
4. Grygierek M., Grzesik B., Rokitoski P., Rusin T.: Usage of Digital Image Correlation in Assessment of Behavior of Block Element Pavement Structure. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 2018, 356, 012024, doi:10.1088/1757-899X/356/1/012024.
5. Grygierek M.: Zmienność Modułów Sprężystości Niezwiązanych Warstw Nawierzchni Drogowej w Warunkach Górniczych Odkształceń Rozluźniających. *Drogi i Mosty* 2010, 17–30.
6. Jasiński R., Stebel K., Domin J.: Application of the DIC Technique to Remote Control of the Hydraulic Load System. *Remote Sens (Basel)* 2020, 12, 1–24, doi:10.3390/rs12213667.
7. Kapor M., Skejić A., Medić S., Balić A.: DIC Assessment of Foundation Soil Response for Different Reinforcement between Base and Soft Subgrade Layer – Physical Modeling. *Geotextiles and Geomembranes* 2023, 51, 390–404, doi:10.1016/j.geotextmem.2023.01.003.
8. Radzikowski M. i inni: Diagnostyka Stanu Nawierzchni i Wybranych Elementów Korpusu Drogi; Warszawa;
9. Segaline H., Sáez E., Ubilla J.: Evaluation of Dynamic Soil-Structure Interaction Effects in Buildings with Underground Stories Using 1 g Physical Experimentation in a Transparent Shear Laminar Box. *Eng Struct* 2022, 266, doi:10.1016/j.engstruct.2022.114645.
10. Sybilski D. i inni: Katalog Przebudów i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych; sierpień 2013, Warszawa.
11. Talvik O., Aavik A.: Use of FWD Deflection Basin Parameters (SCI, BDI, BCI) for Pavement Condition Assessment. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2009, 4, 196–202, doi:10.3846/1822-427X.2009.4.196–202.
12. Zimmermann T., Truty A., Urbański A., Podleś K.: Theory. Z_Soil.PC 2011 Manual, 1st Ed.; Zace Services Ltd., Software Engineering: Lausanne, Switzerland, 2011.

Ograniczenie osiadania budynków wysokich na przykładzie Atal Warta Towers i wytwórni pasz Cedrob

Mgr inż. Sylwester Sławik, mgr inż. Dawid Wichłacz
Keller Polska

Dostępność materiałów budowlanych w dzisiejszych czasach nie stanowi problemu, a ich jakość ciągle się polepsza. Z wdzięcznością to głównie rozwojowi wszelkich branż przemysłu. Inżynierowie coraz częściej spotykają się z sytuacjami, w których projektowany przez nich element konstrukcji bez większych problemów spełnia warunki Stanu Granicznego Nośności, natomiast stanem wymiarującym (decydującym) jest Stan

Graniczny Użytkowości (dalej SGU), którego wymagania zapewniają komfort eksploatacji i użytkowania obiektu. Przed podobnymi wyzwaniami stawiani są również projektanci wąskiej i specjalistycznej dziedziny budownictwa – geotechniki.

Geotechnika rozpatruje najczęściej trzy główne zagadnienia w ramach sprawdzenia SGU – przemieszczenia pionowe (osiadania) i poziome oraz obrót (sprawdzany na przykład podczas

projektowania ścian oporowych). Wymagania co do osiadania są zazwyczaj najbardziej restrykcyjne i bezwzględnie wymagane w przypadkach posadowienia budynków wysokich. Zbyt duże, a zwłaszcza nierównomierne osiadania mogą doprowadzić do uszkodzenia całej konstrukcji – powstania spękań w ścianach czy też przechylenia się budynku. Nierównomierność osiadania jest zawsze sprawdzana na przykład w projektach posadowienia turbin wiatrowych oraz magazynów wysokiego składowania, które są bardzo wrażliwe na zbyt duże różnice osiadania na krańcach płyty fundamentowej. Warunek taki jest stawiany również w przypadku posadowień podpór mostowych czy budynków o przeznaczeniu specjalistycznym (naukowym lub przemysłowym), w których specjalistyczna aparatura mogłaby być czuła na wszelkie odchylenia od poziomu lub pionu. W sytuacji, w której parametry wytrzymałościowe gruntu są wystarczające by zapewnić budowlę jej stateczność przy posadowieniu bezpośrednim, lecz parametry odkształceniowe są zbyt słabe by spełnić wymagania SGU, konieczne jest zastosowanie pośredniego posadowienia konstrukcji albo takiego wzmocnienia podłoża, które ograniczy przemieszczenia pionowe lub zapewni ich równomierność.

Poniżej zaprezentowano przykłady posadowienia, w których nośność gruntów była wystarczająca, aby zapewnić stateczność konstrukcji, jednakże odkształcalność podłoża okazała się zbyt duża aby spełnić wymagania odnośnie do osiadania. Przykłady dotyczą posadowienia budynku mieszkalno-usługowego Warta Towers w Poznaniu, realizowanego przez firmę Atal oraz wytwórni pasz Cedrob w Rypinie.

OPIS INWESTYCJI ORAZ BUDOWY GEOLOGICZNEJ PODŁOŻA

Warta Towers

Warta Towers to jeden z wyższych obiektów powstałych na przestrzeni ostatnich kilku lat w Poznaniu. Jest to 17-piętrowy budynek w kształcie litery U, o szerokości około 67 m, długości około 74 m oraz wysokości sięgającej 57 m ponad poziom terenu [1]. W skali kraju nie jest to spektakularna wysokość, jednakże patrząc na lokalną, dość niską zabudowę spowodowaną głównie ścieżką podejścia do lądowania samolotów zmierzających do lotniska Poznań – Ławica, można mówić o prawdziwym „wysokościowcu”. Budynek ten jest siódmym pod względem wysokości budynkiem w całym mieście [2]. Inwestycja zlokalizowana była w pobliżu rzeki Warty, około 700 m od krawędzi jej doliny. Przedstawione w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej [1], sporządzonej na potrzeby inwestycji, warunki gruntowe wskazały, że w poziomie posadowienia budynku znajdują się zwarte i półzwarte gliny piaszczyste, przechodzące w głębszych partiach do ilów, których stopień plastyczności kształtował się pomiędzy $I_L = 0,00 \div 0,25$. Przykładowy przekrój geologiczny przedstawiono na rys. 1.

Wytwórnia pasz Cedrob

Wytwórnia pasz Cedrob mieszcząca się w Rypinie była inwestycją o znacznych rozmiarach. Część produkcyjna składa

się z 12 obiektów, natomiast część magazynowa z 27, w tym z 21 silosów magazynowych (rys. 2). W przypadku tego zadania ograniczenie i równomierność osiadania konieczne było ze względu na specjalistyczną aparaturę w budynkach części produkcyjnej oraz podatność silosów na deformacje przy nierównomiernych osiadanach krańców fundamentu. Szczególną uwagę zwrócono na 6 silosów płaskodennych o średnicy około 22,5 m i wysokości prawie 26 m oraz na wieżę technologiczną, której wysokość od poziomu terenu wynosi ponad 52 m. Badania podłoża gruntowego wykazały, że jest ono zbudowane głównie ze zwartych i półzwartych glin, przewarstwionych soczewkami zagęszczonych piasków drobnych i średnich. W części magazynowej wykryto również płytko zalegające soczewki gruntów organicznych. Przykładowy przekrój geologiczny przedstawiono na rys. 3.

ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE

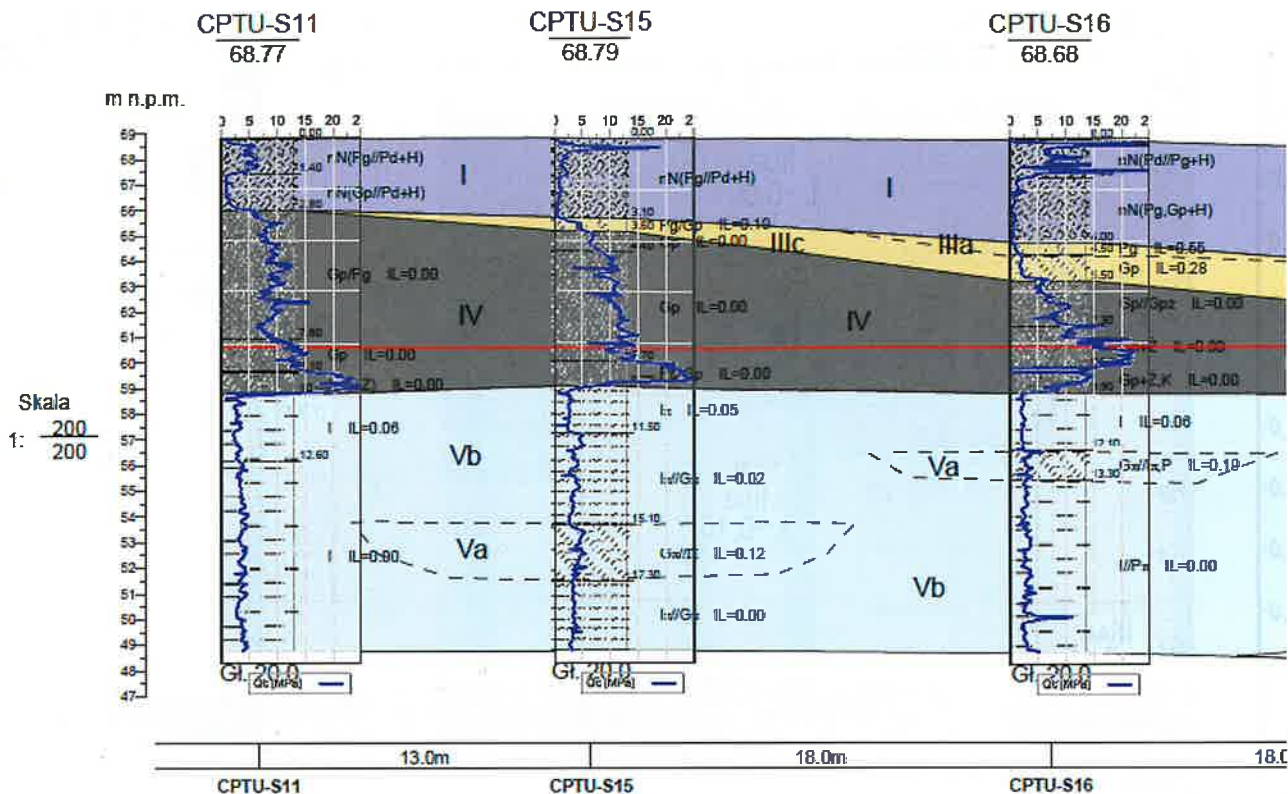
Warta Towers

Po przeanalizowaniu przez zespół projektowy warunków gruntowych, konstrukcji oraz potencjalnych trudności wykonawczych, zdecydowano się na zaprojektowanie posadowienia pośredniego w postaci pali CFA (*Continuous Flight Auger*). Wybór był rozwiązaniem najlepiej spełniającym wymagania wykonawczo-technologiczno-projektowe firmy Keller Polska. Do najważniejszych zalet pali wierconych świdrem ciągłym zaliczyć należy bezwstrząsowe i szybkie wykonanie, sposób instalowania zbrojenia oraz możliwość wykonania pali w bardzo niewielkiej odległości od istniejących zabudowań. Jednak głównymi czynnikami, dla których zdecydowano się na użycie tej technologii, były znaczne siły przekazywane na podłoża oraz warunki gruntowe zawierające twardoplastyczne grunty spoiste, w których bardzo często stosuje się pale CFA i w których dobrze się sprawdzają. Na etapie koncepcji projektowej analizowano również możliwość wzmocnienia gruntu kolumnami (np. CSC – *Controlled Stiffness Column*). Kolumny w tej technologii nie spełniały jednak warunku nośności wewnętrznej trzonów. Zespół projektowy zaplanował rozmieszczenie pali CFA w następujący sposób:

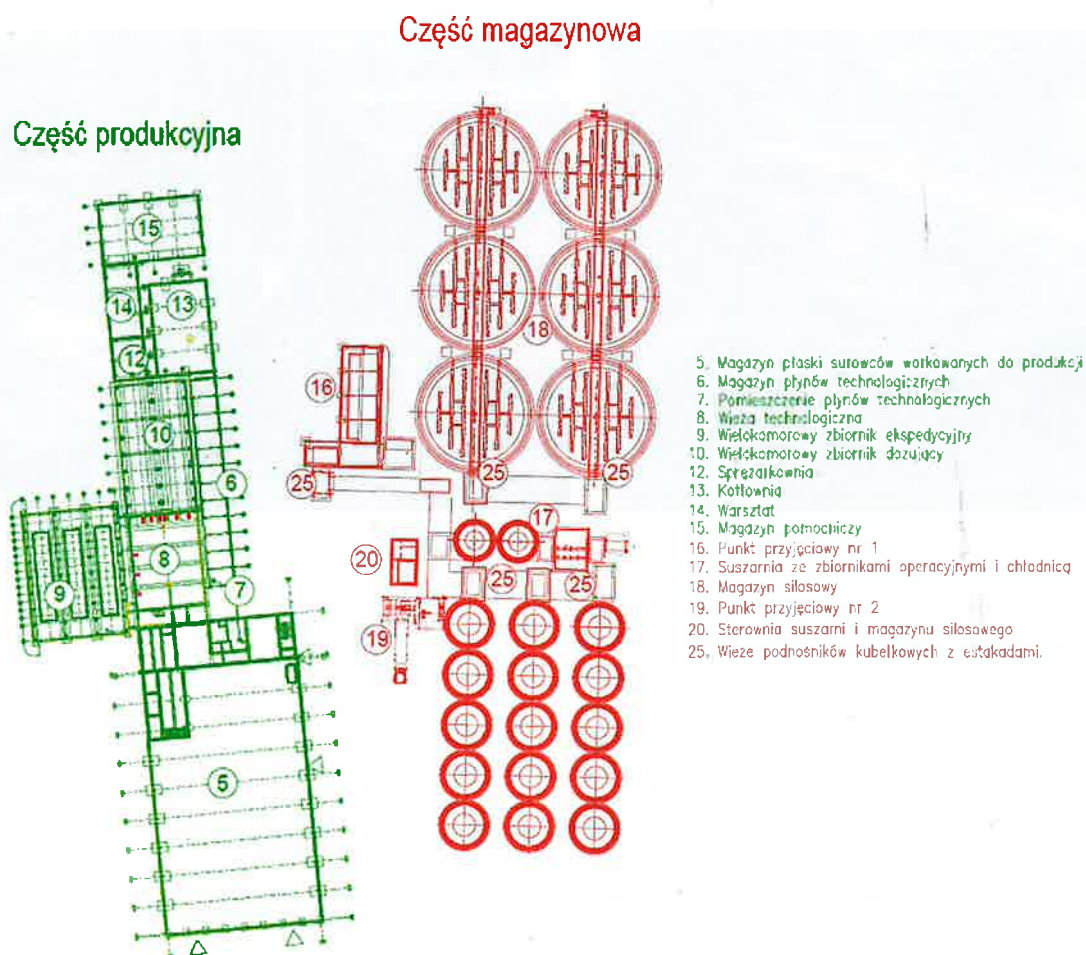
- 1 rząd pali o średnicy 800 mm pod obrysem ścian zewnętrznych,
- 4 rzędy pali o średnicy 630 mm pod wewnętrzną częścią budynku.

Zrezygnowano ze wzmocnienia podłoża pod częścią niską budynku ze względu na fakt, że siły przekazywane na grunt były w tych miejscach na tyle małe, że spełnione były wymagania zarówno Stanu Granicznego Nośności, jak i Użytkowości. Założono 3 różne długości pali (15,5 m, 13,5 m i 11,5 m), aby zróżnicować ich podatność i doprowadzić do tego, by pomimo różnych sił przekazywanych na pal, cały fundament osiadał równomiernie (rys. 4).

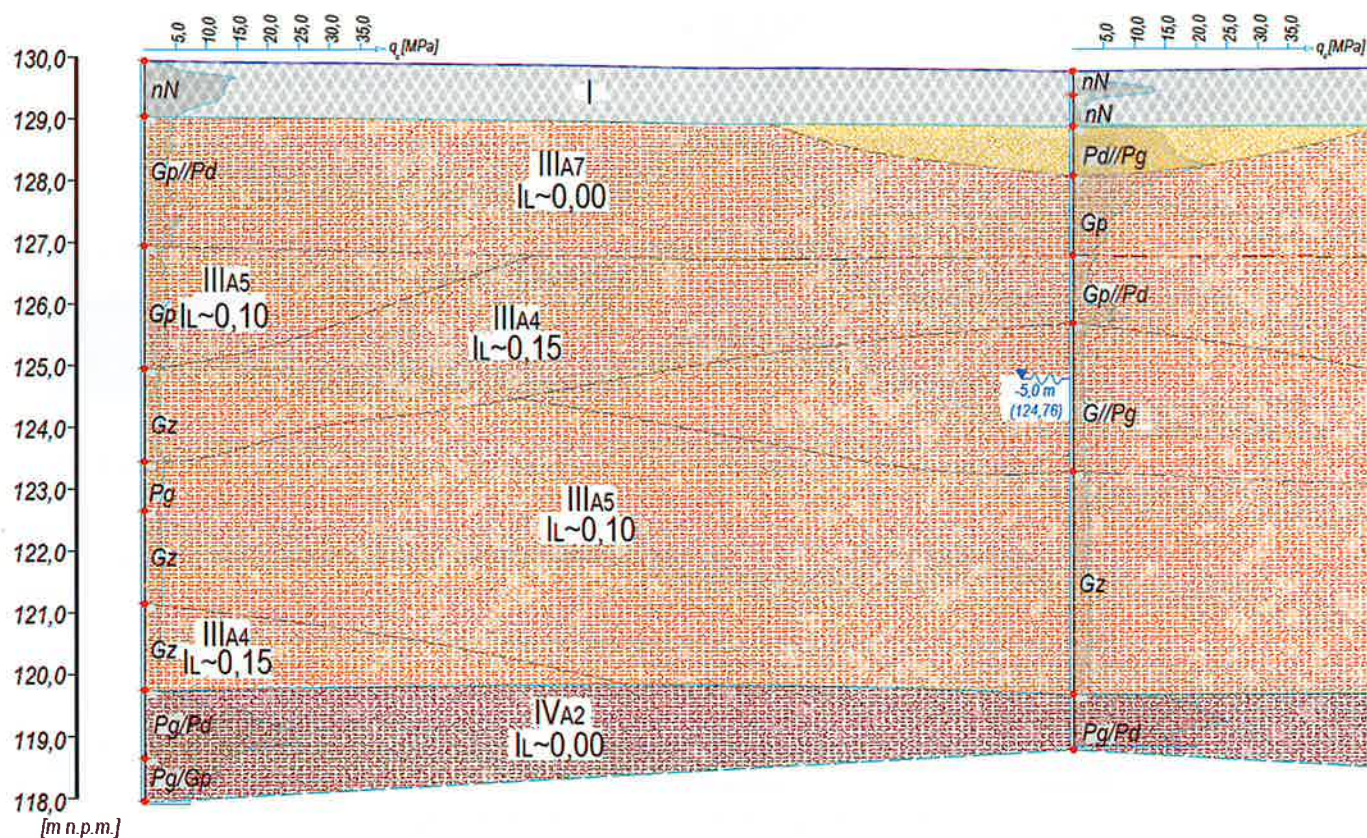
Analiza wykonana Metodą Elementów Skończonych (MES) miała na celu obliczenia osiadania, sprawdzenie sił wewnętrznych w palach oraz predykcję krzywych obciążenie-osiadanie ($Q-s$) i sprężystość-osiadanie ($k-s$). Istotne było również uwzględnienie pracy pali w grupie, ponieważ ich sztywność jest



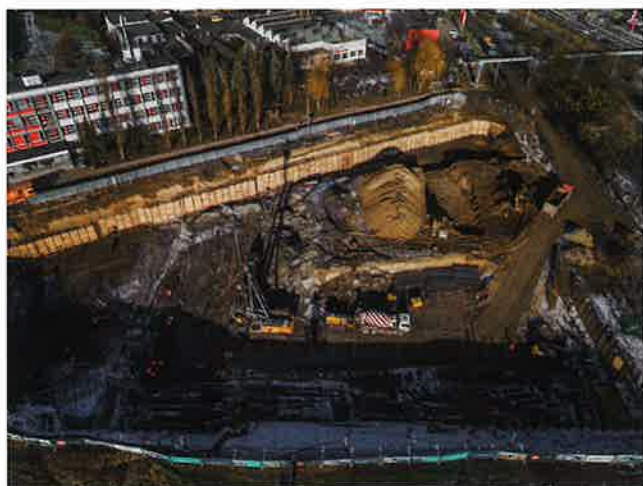
Rys. 1. Przykładowy przekrój geologiczny dla posadowienia budynku Warta Towers [1]
(czerwoną linią zaznaczono projektowany poziom posadowienia)



Rys. 2. Plan zagospodarowania wytwórni pasz Cedrob [6]



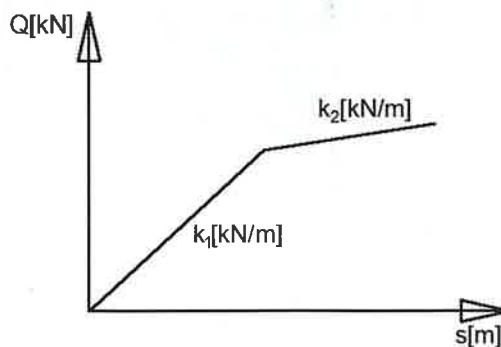
Rys. 3. Przykładowy przekrój geologiczny dla posadowienia Wytwórni pasz Cedrob [7]



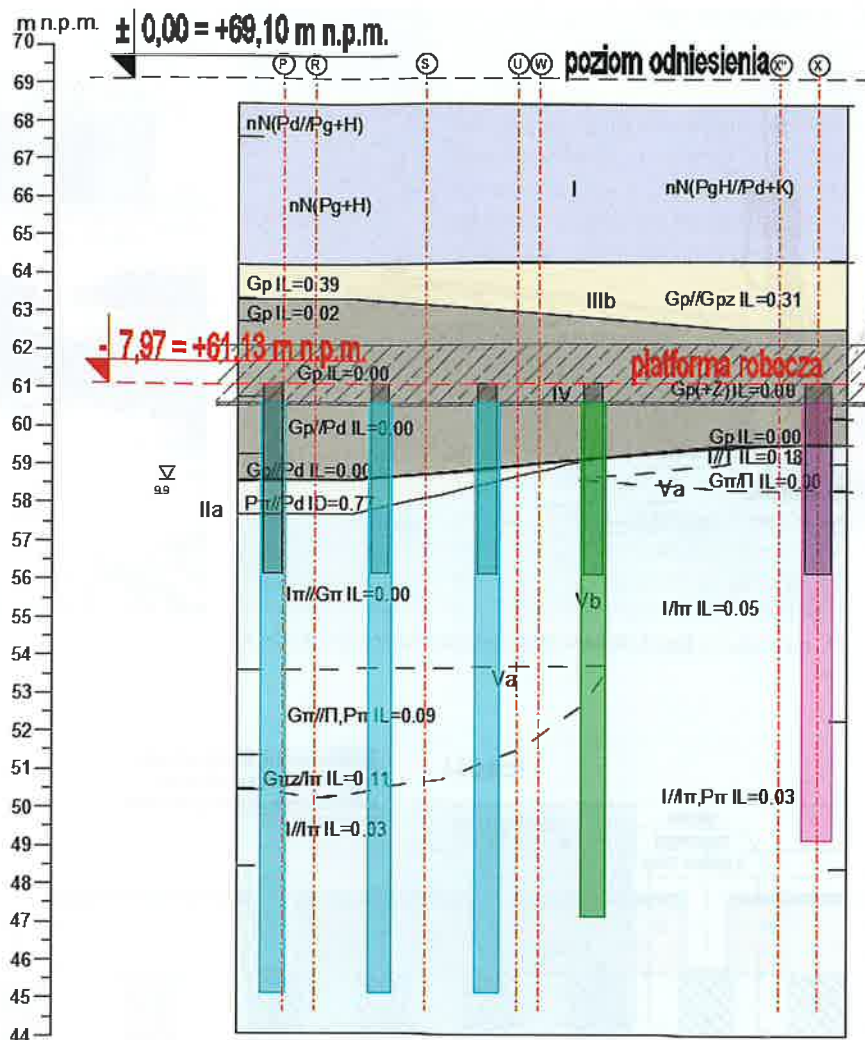
Rys. 4. Wykonawstwo pali CFA pod posadowienie Warta Towers (fot. Keller Polska)

mniejsza od pala pracującego pojedynczo. Dzięki przeprowadzonej analizie uzyskano następujące wartości sztywności pali (przy założeniu biliniowego zachowania $Q-s$ (rys. 5), według propozycji [3, 4]):

- CFA ϕ 630 mm, $L = 15,5$ m, $k_1 = 64\ 000$ kN/m i $k_2 = 50\ 000$ kN/m;
- CFA ϕ 630 mm, $L = 13,5$ m, $k_1 = 48\ 000$ kN/m i $k_2 = 37\ 500$ kN/m;
- CFA ϕ 630 mm, $L = 11,5$ m, $k_1 = 40\ 000$ kN/m i $k_2 = 30\ 000$ kN/m;
- CFA ϕ 800 mm, $L = 11,5$ m, $k_1 = 60\ 000$ kN/m i $k_2 = 45\ 000$ kN/m.



Rys. 5. Biliniowy rozkład charakterystyki $Q-s$ w palu (zob. również [3, 4])



Rys. 6. Przekrój przez posadowienie – Warta Towers [5]

Wyprowadzone wartości pozwoliły konstruktorom budynku na obliczenie sił wewnętrznych i optymalne przyjęcie zbrojenia płyty fundamentowej.

Wszystkie pale zbrojone były jedynie 5-metrowym koszem zbrojeniowym, którego głównym zadaniem było zabezpieczenie głowicy pala przed przypadkowym uszkodzeniem sprzętem ciężkim, na przykład w czasie skuwania głowicy lub wykonywania płyty fundamentowej, oraz przeniesienie nieznacznych momentów zginających, pochodzących od utwierdzenia pali w płycie fundamentowej. Przykładowy przekrój opisanego powyżej rozwiązania zaprezentowano na rys. 6.

Wytwórnia pasz Cedrob

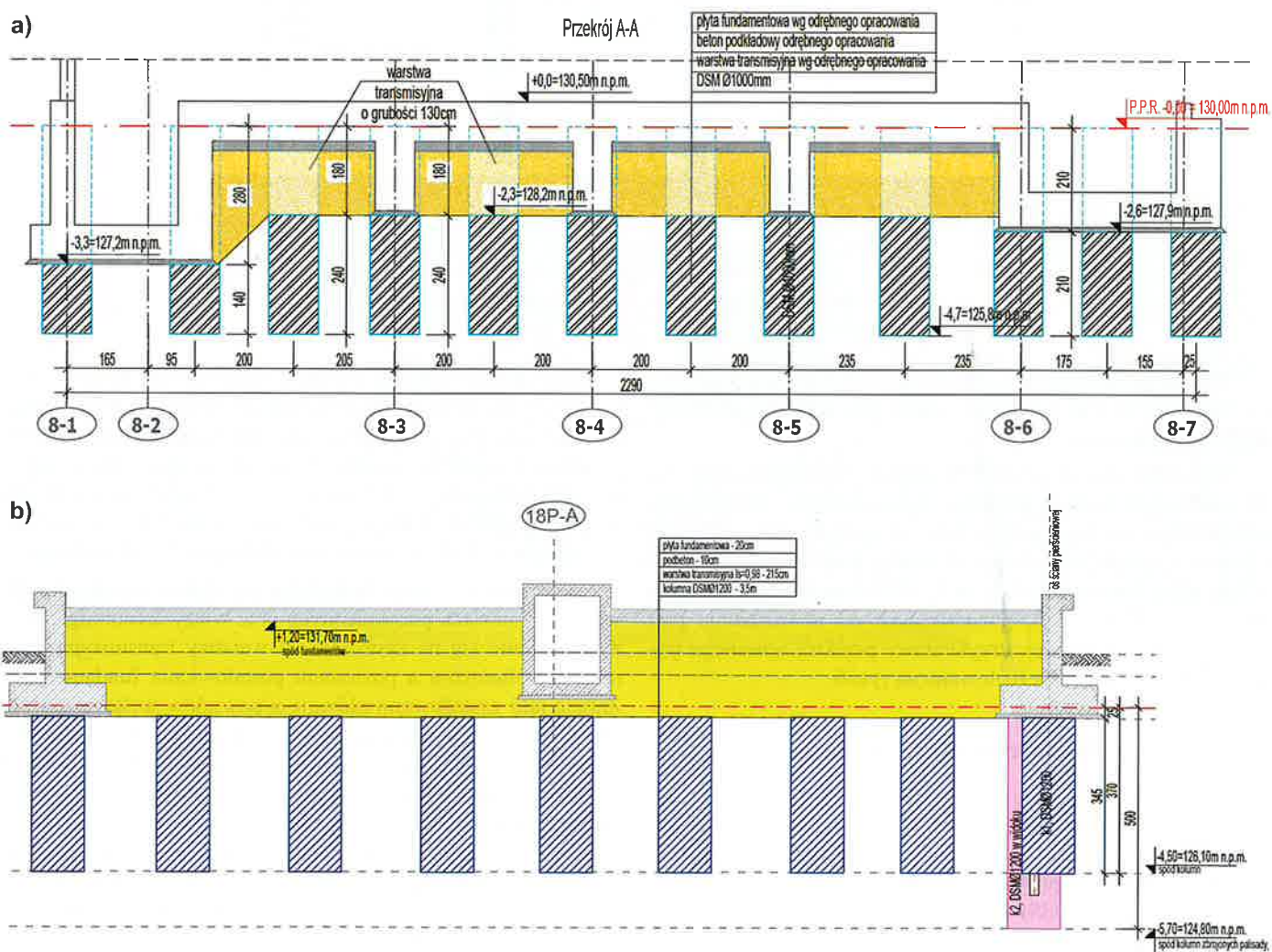
Po analizie warunków gruntowych, wymagań postawionych przez konstruktorów oraz obciążeń fundamentów projektanci wybrali technologię sprawdzoną w podobnych warunkach gruntowych – kolumny DSM (*Deep Soil Mixing*) wykonywane na mokro (DSM-wet). Do zalet takiego rozwiązania zaliczyć należy bezwzględność oraz zredukowanie ilości urobku w stosunku do na przykład technologii pali CFA. Z uwagi na stosowanie nieszkodliwych materiałów, technologia ta jest również bezpieczna dla środowiska, co jest niewątpliwym atutem.

Aby spełnić warunki nośności wewnętrznej kolumn zdecydowano się na zastosowanie różnych średnic: $\phi 800$, $\phi 1000$ i $\phi 1200$ mm (rys. 7). Dobrano również różne długości kolumn wynikające z głębokości zalegania gruntu nośnego: gliny o stopniu plastyczności $I_L < 0,15$ oraz $q_c > 2,5$ MPa (opór stożka sondy statycznej CPTU). Kolumny zaprojektowano jako niezbrojone ze względu na brak konieczności połączenia z fundamentami.

W przypadku części budynków (w tym w wymienionych wcześniej silosach płaskodennych oraz wieży technologicznej) zdecydowano się na zastosowanie warstwy transmisyjnej pomiędzy kolumnami a poziomem posadowienia fundamentów. Zabieg taki zastosowano głównie z powodów wykonawczych. Mianowicie, w przypadku różnicowania poziomów posadowienia płyty fundamentowej (z uwagi np. na żebra w płycie) istniało ryzyko, że podczas ścinania głowic sąsiednich kolumn różniących się rzędną ścięcia, do poziomu spodu betonu podkładowego, mogłoby dojść do ich uszkodzenia. Zalecono, by warstwę transmisyjną wykonać z zagęszczonego gruntu niespoistego o wskaźniku zagęszczenia $I_s \geq 0,98$. Dodatkowym zabiegiem wykonawczym w przypadku silosów było zastosowanie zróżnicowanych siatek kolumn – pod ławą zewnętrzną zastosowano rozkład kątowy, natomiast pod płytą denną – rozkład kwadratowy, co niewątpliwie ułatwiło na przykład tyczenie kolumn w terenie. Obliczenia wykonane za pomocą MES pozwoliły



Rys. 7. Budowa Wytwórni pasz Cedrob (fot. Keller Polska)



Rys. 8. Przekrój przez posadowienie – Wytwórnia pasz Cedrob [6]
a) wieża technologiczna, b) silos płaskodenny

ustalić przewidywane wartości osiadania i sił w kolumnach oraz procentowy udział gruntu między kolumnami w przenoszeniu obciążeń, który przyjęto wstępnie na poziomie 25%. Przykładowe przekroje przez posadowienie wieży technologicznej oraz silosów płaskodennych przedstawiono na rys. 8.

WYNIKI PRZEPROWADZONEJ ANALIZY

Warta Towers

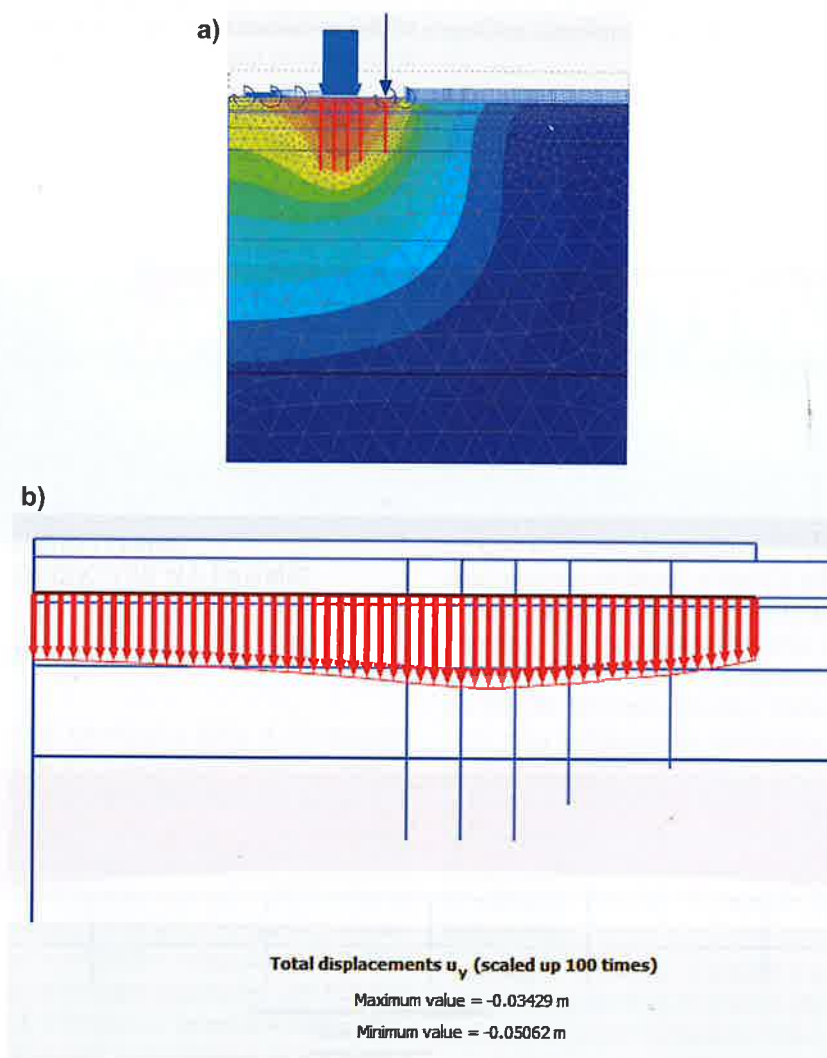
Analiza MES dla inwestycji Warta Towers potwierdziła, że przyjęte przez zespół projektowy rozstawy, długości oraz średnice pali dają wyniki zgodne z wymaganiami.

Wykazano, że maksymalne osiadania pod płytą fundamentową wyniosą 50,6 mm, a minimalne 34,3 mm, co daje różnicę osiadania na poziomie 15 mm. Są to wyniki, które uzyskały aprobatę konstruktorów obiektu, w rezultacie czego projekt mógł zostać wdrożony do realizacji. Przykładowe wyniki analizy MES przedstawiono na rys. 9.

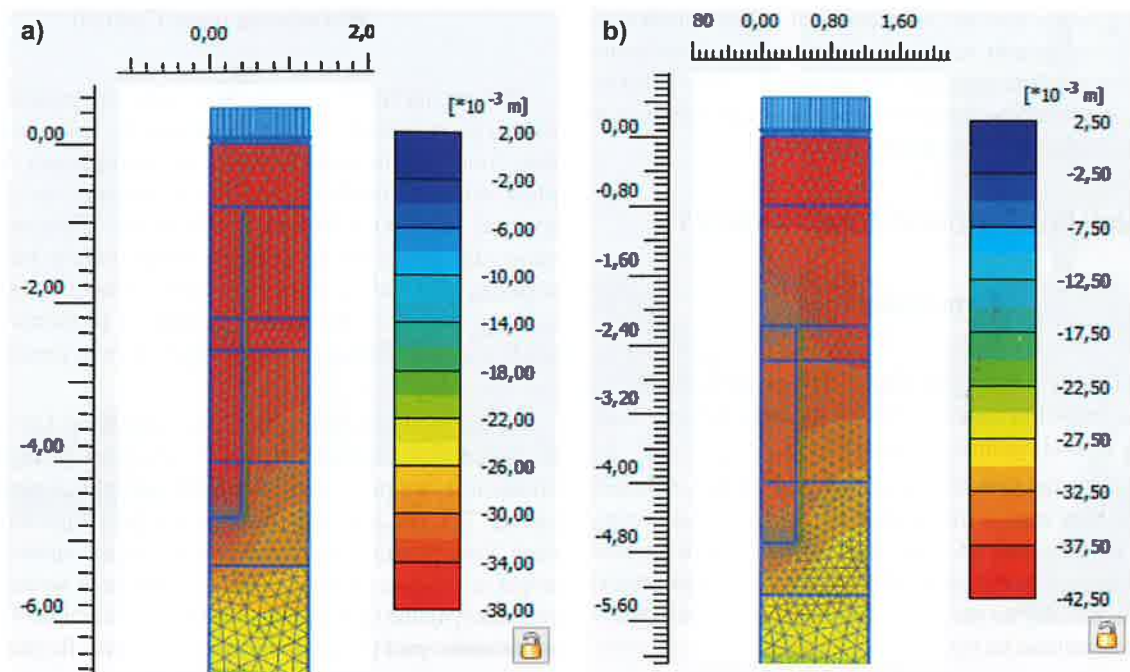
Wytwórnia pasz Cedrob

Obliczenia MES wykonane na potrzeby posadowienia wytwórni pasz Cedrob również potwierdziły założenia projektantów. Analizowane obiekty wieży technologicznej oraz silosów płaskodennych miały największe wymagania co do osiadania spośród wszystkich budynków Wytwórni. Obliczono, że osiadania dla żeber posadowionych bezpośrednio na kolumnach wyniosą 37,4 mm, a płyty pomiędzy żebrami z warstwą transmisyjną 40,6 mm. Różnica osiadania na poziomie 3 mm była wartością dużo lepszą od wymaganej. Wyniki przedstawiono na rys. 10.

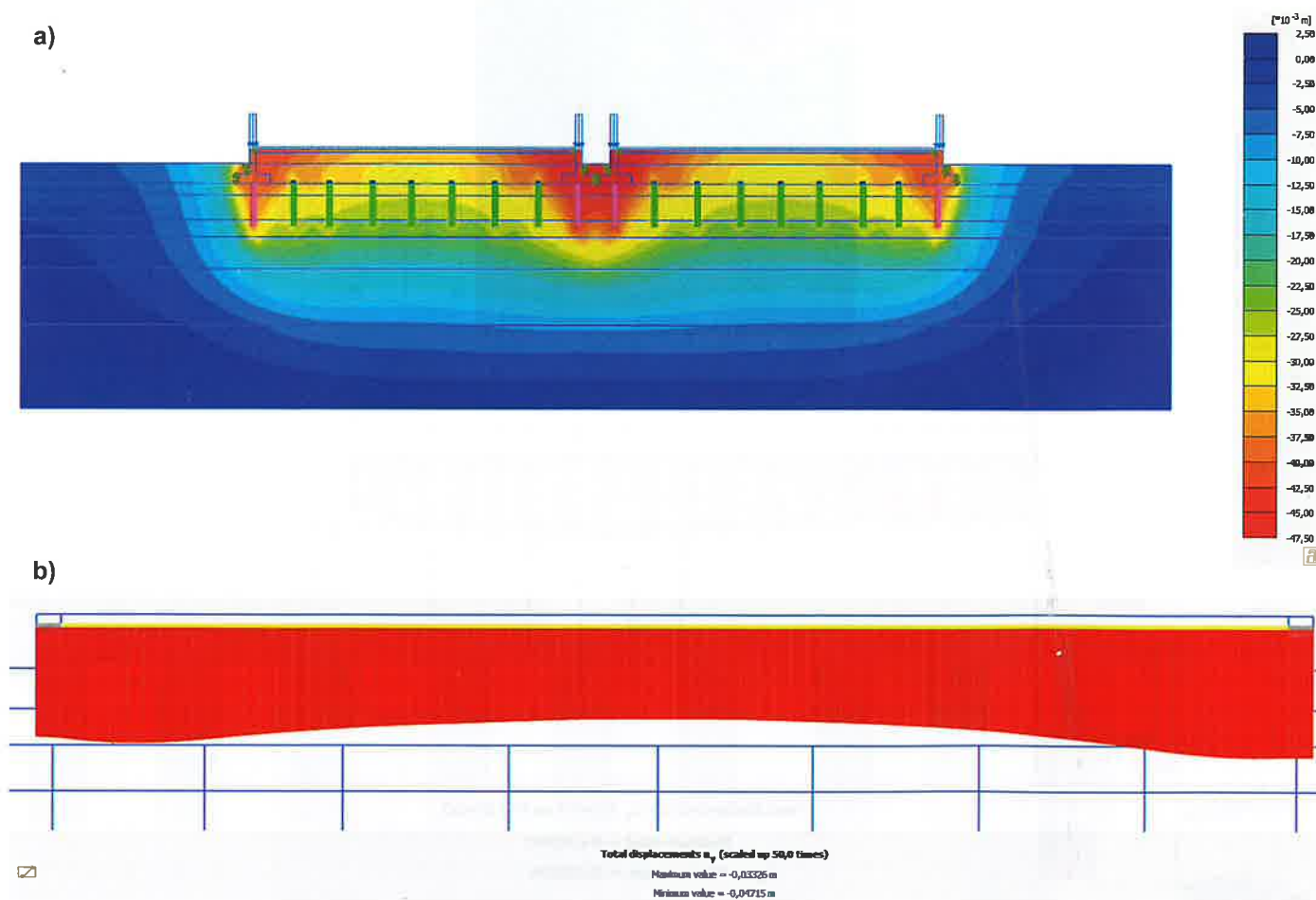
W przypadku silosów największe osiadania (zgodnie z przewidywaniami) zaobserwowano na obszarze pomiędzy dwoma silosami, które posadowione były w odległości około 0,5 m od siebie. Tak jak przewidywano przed przystąpieniem do obliczeń, koncentracja naprężenia w tym miejscu spowodowała największe przemieszczenia gruntu. Obliczenia wykazały osiadanie maksymalne (pomiędzy silosami) na poziomie 47,2 mm oraz minimalne (pod płytą) o wartości 33,3 mm. Różnica osiadania



Rys. 9. Osiadania płyty fundamentowej dla Warta Towers [5]
a) osiadania w przekroju, b) osiadania w poziomie posadowienia płyty



Rys. 10. Wyniki obliczeń MES osiadań płyty fundamentowej wieży technologicznej [6]
a) żebro posadowione bezpośrednio na kolumnie, b) płyta na warstwie transmisyjnej i kolumnie



Rys. 11. Wyniki obliczeń MES osiadań fundamentów silosów płaskodennych [6]
a) osiadania w przekroju, b) osiadania w poziomie posadowienia płyty

wyniosła więc 14 mm, co było wartością wystarczającą dla bezpiecznej pracy konstrukcji. Wyniki przedstawiono na rys. 11. Warto również dodać, że wykonana analiza wykazała, iż w przypadku posadowienia mniejszych silosów lejowych (średnica ławy fundamentowej 10,7 m) rozwiązanie zaproponowane przez projektantów zmniejszyło osiadania płyty fundamentowej o ponad 12 mm, co w przypadku takich obiektów było wartością znaczącą.

Tabl. 1. Zestawienie obliczonych osiadań wybranych budynków wytwórni pasz Cedrob [6]

Budynek	Bez wzmocnienia	Ze wzmocnieniem
8	47,6 mm	37,4 mm
10	28,9 mm	18,2 mm
Silosy ϕ 10,7 m	63,6 mm	35,6 mm
Silosy ϕ 22,5 m	61,6 mm	47,2 mm

PODSUMOWANIE

Doświadczenie projektowe jak i wykonawcze Keller Polska pozwoliło na znalezienie optymalnych rozwiązań posadowienia zarówno w przypadku budynku Warta Towers, jak i wytwórni pasz Cedrob. Zaproponowane rozwiązania dobrano odpowiednio do przedstawionych w dokumentacjach warunków gruntowych i obciążeń przekazywanych przez konstrukcję na podłoże gruntowe. Najważniejszym rezultatem jest spełnienie wymagań stawianych przez konstruktorów jak i inwestorów w zakresie

wartości i różnicy osiadań. Pozwoli to na bezpieczne użytkowanie przedstawionych obiektów przez długie lata.

LITERATURA

1. Dokumentacja Geologiczno-Inżynierska dla określenia warunków geologiczno-inżynierskich w podłożu dla projektowanego budynku mieszkalnego wielorodzinnego z wydzielonymi usługami w parterze oraz wbudowanym garażem wielostanowiskowym wraz z infrastrukturą techniczną i zagospodarowaniem terenu w Poznaniu, ul. Rataje (zbieg ulic Hetmańska i Zamenhofs) na działkach nr 3/18, 3/19, 4/14, 6/8, 6/9, 8/4, 8/9 AM-16, obręb Rataje, HEBO Poznań Sp. z o.o., grudzień 2017.
2. https://pl.wikipedia.org/wiki/Lista_najwyzszych_budynkow_w_Poznaniu
3. Krasiński A.: Propozycja alternatywnego podejścia do obliczania i projektowania fundamentów palowych. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 5/2015, 703–709.
4. Krasiński A.: Propozycja procedury obliczania i projektowania fundamentów palowych. Materiały XXXVI Ogólnopolskich Warsztatów Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła 2022.
5. Projekt wykonawczy palowania pod budynek mieszkalny wielorodzinny w Poznaniu, ul. Hetmańska, Rataje i Zamenhofs autorstwa Keller Polska Sp. z o.o.
6. Projekt wykonawczy posadowienia wytwórni pasz Cedrob na podłożu wzmocnionym kolumnami DSM autorstwa Keller Polska Sp. z o.o.
7. Uzupełniające badania geotechniczne: „Raport z uzupełniających badań geotechnicznych” – wykonany przez Inżynieria Wielkopolska, Poznań, październik 2018.

Morska Elektrownia Wiatrowa Bałtyk II. Część 5

Mgr inż. Jerzy Dąbkiewicz, mgr inż. Martyna Golan, mgr inż. Julia Płatek
„PROJMORS” Biuro Projektów Budownictwa Morskiego Sp. z o.o. w Gdańsku

PRZEWIDYWANA REALIZACJA OBIEKTÓW NA FARMIE

Porty instalacyjne w Polsce

Zgodnie z dyrektywą (tzw. Dyrektywa RED II) Parlamentu Europejskiego i Rady Europy Rzeczpospolita Polska zobowiązana jest do utrzymania po roku 2020 obowiązkowego udziału odnawialnych źródeł energii (zwanych „OZE”). Państwa członkowskie zapewniają, zgodnie z Dyrektywą RED II, że udział energii ze źródeł odnawialnych będzie wynosił w 2030 roku co najmniej 32%. Trzeba zaznaczyć, że morska energetyka wiatrowa w Polsce stanowi jeden z projektów strategicznych Polityki Energetycznej Polski do 2040 roku (nazywana „PEP2040”) przyjętej przez polski Rząd. Obecnie (w przedstawianym artykule jest początek 2025 roku) moc w morskiej energetyce wiatrowej jest zerowa, ale zgodnie z „PEP2040” Polska zobowiązała się do zainstalowania 5,9 GW do 2030 roku oraz 11 GW do 2040 roku, a przewidywane analizy zakładają wzrost mocy do

28 GW na polskich wodach do roku 2050. Głównymi inwestorami ze strony polskiej, w rozwój morskiej energetyki wiatrowej w naszym kraju, mają być PGE, PKN Orlen oraz inwestorzy prywatni. Z energii wytwarzanej na morskich farmach wiatrowych (MFW – rys. 1) obecnie korzystają już takie państwa jak Wielka Brytania, Niemcy, Holandia czy Dania. W styczniu 2021 roku podpisano list intencyjny w sprawie współpracy przy projektach MFW pomiędzy trzema największymi spółkami energetycznymi PGE, Enea i TAURON, w którym zobowiązały się nawiązanie strategicznej współpracy z przyszłymi projektami inwestycyjnymi w zakresie morskiej energetyki wiatrowej na obszarze Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej Morza Bałtyckiego.

Jednym z bardzo ważnych wyzwań w rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce jest jednak brak koniecznego zaplecza w postaci portów instalacyjnych i serwisowych, które oprócz inwestycji w infrastrukturę hydrotechniczną w portach wymagają zapewnienia infrastruktury dostępowej (odpowiedniego wejścia dla specjalistycznych statków); tu w uproszczeniu rozszerzenie wymienionych nazw: