

Monitorowanie osiadań fundamentów hiperboloidalnej chłodni kominowej

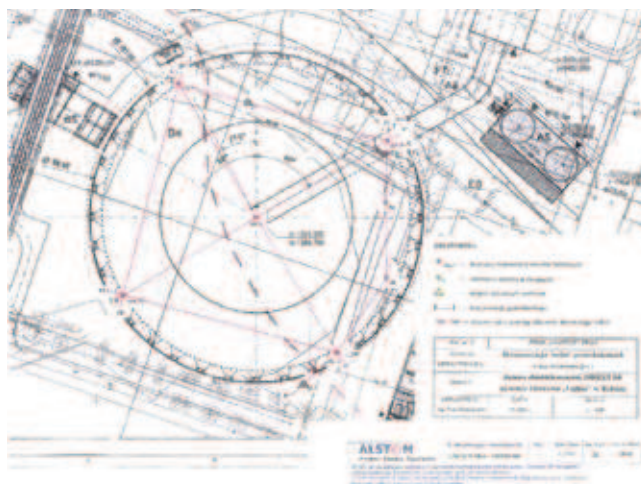
Dr inż. Mariusz Biały, Politechnika Śląska, Gliwice

1. Wprowadzenie

Bezpieczne posadowienie żelbetowych chłodni kominowych na podłożu, którego grunty znacznie różnią się wielkością modułów odkształcenia i historią obciążenia jest zadaniem trudnym. Wymaga precyzyjnego oszacowania osiadań fundamentu pierścieniowego, co z kolei jest uwarunkowane dokładnością wykonanych badań terenowych i laboratoryjnych gruntów. Ilość tych badań powinna być proporcjonalna do rozmiarów fundamentów i uwzględniać specyfikę warunków posadowienia. Wyniki badań gruntów w dużej mierze decydują o sposobie rozmieszczenia reperów badawczych na obwodzie fundamentu pierścieniowego i skuteczności działania systemu pomiarowego, gdyż podstawowym zadaniem monitoringu jest wychwycenie miejsc gdzie wystąpią największe i najmniejsze osiadania. Wspólnym celem projektantów i wykonawców chłodni jest minimalizacja różnic osiadań. Otrzymane w monitoringu wielkości osiadań, ich różnice i rozkład wzdłuż osi fundamentu są miernikiem bezpieczeństwa pracy konstrukcji i zarazem oceną trafności ułożenia punktów pomiarowych w odniesieniu do właściwości konstrukcji i podłoża.

2. Badania podłoża gruntowego

Monitoring osiadań prowadzono w trakcie wznoszenia chłodni kominowej dla bloku energetycznego o mocy 460 MW w Elektrowni Łagisza. Całkowita wysokość chłodni mierzona od poziomu terenu wynosi 133,2 m. Promień fundamentu pierścieniowego ma długość 47,2 m, jego wysokość równa jest 1,3 m, a szerokość 4,5 m. O konieczności przeprowadzenia monitoringu zdecydowały wyniki dwóch wstępnych etapów badań podłoża. W kilku otworach badawczych o głębokości 22 m stwierdzono występowanie pod planowanym fundamentem zwietrzliny piaskowców, mułowców i iłowców wykształconej w formie przewarstwiających się glin, glin pylastych, pyłów piaszczystych, piasków gliniastych i iłów. Pod warstwą zwietrzelin nawiercono skały, głównie były to piaskowce, iłowce i mułowce. Warstwy skał występowały na stosunkowo niewielkiej głębokości od 1,6 m do 10 m. W bezpośrednim sąsiedztwie otworów wiertniczych wykonano sondowania statyczne. Rozmieszczenie otworów badawczych pokazano na rysunku 1. W trakcie wierceń



Rys. 1. Usytuowanie otworów – I i II etap badań podłoża



Rys. 2. Wielkowymiarowe badanie gruntu w miejscu mocowania reperu nr 6

pobrano próbki gruntów i skał. Następnie wykonano badania próbek gruntów w edometrze, w aparacie trójosiowego ściskania i przeprowadzono próby wytrzymałościowe na próbkach wyciętych z rdzeni uzyskanych z wiercenia skał. W ten sposób otrzymano bardzo precyzyjne wartości parametrów wytrzymałościowych, modułów odkształcenia gruntów i modułów sprężystości skał. Dokładny opis przebiegu badań zamieszczono w dysertacji [1] i w publikacji [2]. Wyniki badań wskazywały na znaczne zróżnicowanie sztywności poszczególnych warstw podłoża. Mogło się wydawać, że różnice te wynikają głównie z porównania modułów sztywności zwiertzelin i skał. Jednak po dłuższej analizie okazało się, że same skały miejscami są bardzo osłabione spękaniami i ich moduły są często mniejsze niż moduły zwiertzelin, nie mówiąc o modułach litych skał. Opisywane badania bazowały na kilku otworach (pokazanych na rys. 1) co pozwoliło wykonać kilka przekrojów pionowych ale nie dawało jeszcze pełnego obrazu podłoża. Obraz ten uzupełniono wykonując w trzecim etapie rozpoznania warunków posadowienia na obwodzie chłodni 10 dodatkowych otworów o głębokości do 4 m. Rozmieszczenie tych otworów dopasowano do lokalizacji istniejących już punktów wierceń, biorąc pod uwagę jednocześnie potrzebę kontrolowania kilku charakterystycznych punktów konstrukcji fundamentu. Na podstawie wyników badań próbek uzyskanych z tych otworów wytypowano dwa miejsca przeprowadzenia obciążeń wielkowsymiarowych gruntu w pobliżu zamocowanych później reperów nr 3 i 6 (rys. 3).

Obciążenie wielkowsymiarowe jest stosunkowo prostym i zarazem bardzo dokładnym sposobem wyznaczenia modułów odkształcenia podłoża budowli w warunkach polowych. Badanie to pozwala bez naruszania głębszych warstw gruntów (czyli bez znaczącej zmiany ich właściwości poza częściowym odprężeniem po wykonaniu wykopu do poziomu posadowienia) wyznaczyć osiadania obciążanego w kilku etapach stempla, który imituje projektowany fundament.

Analogicznie jak w przypadku edometru stosuje się trzy etapy przykładowo obciążenia, tj.: obciążenie pierwotne, odciążenie i obciążenie wtórne. Każdy z tych etapów jest dodatkowo podzielony na stopnie. Czas trwania każdego z tych stopni jest ograniczony, a za umowną stabilizację osiadań przyjmuje się stan, w którym osiadania w czasie 5 minut nie przekraczają 0,1 mm. Ostatni stopień obciążenia należy utrzymywać tak długo, aż uzyska się przyrost osiadań równy 0,1 mm w czasie 2 godzin. Metodę prowadzenia tych badań polowych opisał Wiłun w publikacji [3]. Znając naprężenia pod stemplem i wielkości osiadań w kolejnych etapach obciążenia można wyznaczyć moduł odkształcenia badanego podłoża.

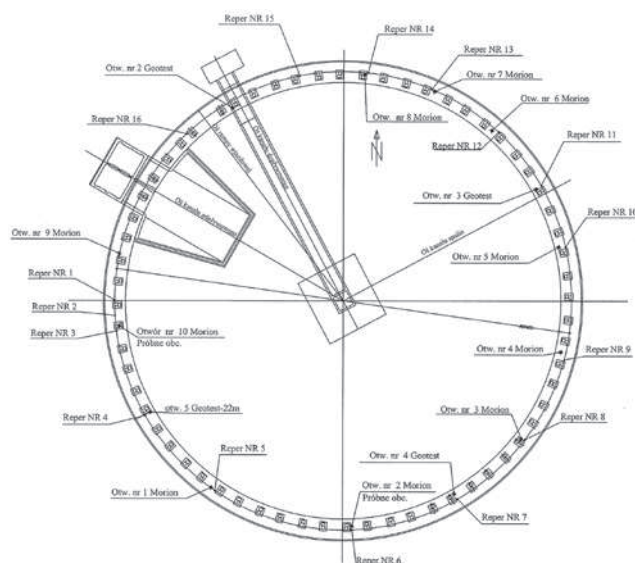
W przypadku chłodni w Łagiszy stempeł o podstawie 1,2 x 2,6 m utworzono z dwóch bloków betonowych o wymiarach 1,2 x 1,3 x 0,76 m. Następnie obciążono fundament modelowy balastem z bloków betonowych używanych w dźwigach budowlanych jako przeciwwaga

podnoszonych ładunków (rys. 2), uzyskując w trzech kolejnych stopniach następujące naprężenia pod stemplem: stopień 1 $q_1 = 56,875$ kPa ; stopień 2 $q_2 = 107,505$ kPa; stopień 3 $q_3 = 146,6$ kPa.

Na podstawie uzyskanych wartości osiadań i znanych nacisków stempla oraz po przeanalizowaniu profilu podłoża gruntowego, przy zastosowaniu teorii warstwy sprężystej wg [3], wyznaczono wartości modułów odkształcenia gruntu E, a to z kolei po przeliczeniach pozwoliło na wstępne oszacowanie osiadań rzeczywistego fundamentu.

3. Przyjęte kryteria rozmieszczenia reperów

Znajomość budowy podłoża (grubość, ułożenie i nachylenie warstw), rodzajów i stanów gruntów z uwzględnieniem stosunku ich sztywności jest podstawowym warunkiem poprawnego rozmieszczenia reperów. Jednak poza dokładnymi badaniami podłoża istotne jest przeanalizowanie innych czynników, które mogą mieć wpływ na wielkość osiadań. Bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na warunki posadowienia obiektu i decydującym o konieczności monitorowania jego budowy była prekonsolidacja podłoża. Zjawisko to występowało na części obszaru projektowanego fundamentowania, na której przez około 30 lat zlokalizowana była stara, mniejsza chłodnia. W efekcie jej wyburzenia uzyskano plac budowy położony częściowo na podłożu prekonsolidowanym ciężarem starej chłodni i częściowo na gruntach o małej prekonsolidacji od ciężaru własnego warstw zalegających powyżej poziomu posadowienia nowego fundamentu. Biorąc pod uwagę efekt prekonsolidacji repery umieszczono w miejscach gdzie krzyżują się ślady starego i nowego fundamentu, a także w pobliżu tych miejsc (okolicie mocowania reperów od 1 do 6 pokazanych na rys. 3).



Rys. 3 Usytuowanie reperów i otworów badawczych

Na pozostałym odcinku rzutu nowego fundamentu wpływ prekonsolidacji malał w miarę oddalania się od śladu pierścienia starej chłodni, co można zauważyć analizując osiadania poszczególnych reperów pokazane na rysunku 4. Na tym odcinku repery z reguły rozmieszczono zgodnie z rozstawem starych otworów badawczych i dodatkowych dziesięciu otworów, które lokalizowano biorąc także pod uwagę wpływ prekonsolidacji. Wyniki badań wielkowymiarowych pomogły usytuować grupę reperów w miejscu, gdzie spodziewano się wpływu na wielkość osiadań słabego podłoża i efektów prekonsolidacji (repery 3 i 6). O wyborze punktu nr 6 zdecydowało nawiercenie w otworze glin w stanie miękkoplastycznym (co później w trakcie próbnego obciążenia i monitoringu okazało się tylko efektem miejscowego uplastycznienia pobranej próbki od cieknącej do wierconego otworu wody, w rzeczywistości była tam glina w stanie twardoplastycznym). Ideałem byłoby wykonanie trzeciego badania wielkowymiarowego na obszarze, który podlegał niewielkiej prekonsolidacji, tj. w środku odcinka między reperami 9 i 15, ale nie było to możliwe ze względu na dużą czasochłonność badań i konieczność wyłączenia z prac na budowie przez dłuższy czas części ciężkiego sprzętu zaangażowanego do próbnego obciążenia. Osiedlenia w tej strefie oszacowano wstępnie w sposób przybliżony na podstawie modułów odkształcenia wyznaczonych w pierwszej fazie wierceń gruntów i postanowiono zamocować w tym miejscu trzy repery badawcze. Miejsce mocowania reperów 10-tego, 11-tego i 12-tego miało szczególne znaczenie, po pierwsze, te punkty są najbardziej oddalone od strefy wpływu prekonsolidacji od starej chłodni, a po drugie, reper 11-ty jest zlokalizowany tuż przy osi kanału spalin, który wchodzi do powłoki chłodni, a więc jest to wrażliwy punkt połączenia dwóch konstrukcji.

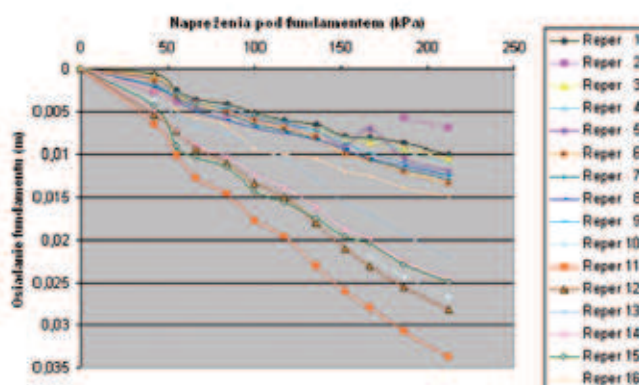
Kolejnym elementem wpływającym na zachowanie podłoża fundamentu i lokalizację reperów była obecność w wierzchnich warstwach gruntu nasypów niekontrolowanych w postaci gruzu betonowego z wyburzonej chłodni. Głębokość tych warstw sięgała miejscami od 0,5 do 1,4 m. Po usunięciu nasypów (na odcinku od repery 3-go do 6-go) wykonano w ich miejsce zagęszczone mechanicznie poduszki z pospółki i przekruszonego dolomitu. Spodziewano się w tym miejscu równocześnie z wpływem prekonsolidacji dodatkowo efektu stabilizacji i redukcji osiadań od zagęszczonych poduszek. Na tym odcinku zamocowano dodatkowo repery nr 4 i 5.

Biorąc pod uwagę właściwości konstrukcji pierścienia fundamentowego chłodni i jego pogrubienie w miejscach przejścia kanałów zasilania i odpływu, repery mocowano między tymi kanałami spodziewając się w tych miejscach większych osiadań. Znacznie pogrubione i głębsze fundamenty wyraźnie redukują osiadania dzięki swojej dużej sztywności. Ograniczenie osiadań związane jest także ze wzrostem modułu sztywności gruntów w miarę zwiększania się głębokości. Bliskie umiejscowienie reperów 1, 2 i 3 miało inne zna-

czenie niż opisywane powyżej przypadki, podyktowane było potrzebą sprawdzenia sztywności (ugięcia) fundamentu na odcinku między podporami.

4. Prace przygotowawcze i przebieg monitoringu

Prace przy przygotowaniu podłoża pod fundament chłodni prowadzono etapami, odstaniając krótkie odcinki gruntu na śladzie nowego fundamentu przez zdjęcie humusu. Podyktowane to było występowaniem długotrwałych opadów i przypadkami szybkiego uplastycznienia się gruntów spoistych zalegających w wierzchnich warstwach. W takich przypadkach zdejmowano cienką uplastycznioną warstwę i wbudowywano w to miejsce poduszkę dolomitową zagęszczaną mechanicznie. Na ustabilizowanym podłożu pod całym fundamentem pierścieniowym ułożono poduszkę żwirową o grubości 30 cm, a na niej wykonano podlewkę betonową. W trakcie układania zbrojenia fundamentu w betonie podlewki osadzono 16 reperów wykonanych z odpowiednio grubych i długich prętów zbrojeniowych z przyspawaną końcówką ze stali nierdzewnej. Repery wklejono żywicą epoksydową w otwory nawiercone w podlewce, a po związaniu żywicy od razu wykonano pierwszy pomiar ich wysokości. Następne pomiary prowadzono sukcesywnie wraz z postępem robót: drugi zaraz po zalaniu fundamentu pierścieniowego, trzeci po ustawieniu prefabrykowanych słupów i elementów dolnego prefabrykowanego pierścienia i dalej kolejne po ukończeniu 3-go, 9-go, 22-go, 40-go, 86-go, i 106-go cyklu betonowania powłoki. Numery cykli betonowania powłoki na potrzeby pomiaru osiadań dobrano tak, aby uzyskać w miarę równomierny przyrost obciążenia podłoża fundamentem (biorąc pod uwagę nacisk fundamentu od obciążenia ciężarem własnym chłodni). Całość powłoki zabetonowano w 106-ciu cyklach. W czasie trwania monitoringu wykonano 12 pomiarów osiadań kompletu 16-tu reperów, umieszczonych na obwodzie pierścienia fundamentowego i dwóch reperów porównawczych, osadzonych



Rys. 4. Zestawienie charakterystyk naprężenia pod fundamentem – osiadania fundamentu dla kompletu 16 reperów badawczych.

na obiektach położonych poza obrębem badanej budowl. Wyniki pomiarów osiadań w formie charakterystyki naprężenia pod fundamentem – osiadania fundamentu pokazano na rysunku 4.

5. Podsumowanie i wnioski

Wyniki pomiarów osiadań fundamentu chłodni wykonanych w czasie jej budowy potwierdziły przewidywania przyjęte na podstawie badań gruntów, skuteczność zastosowanych metod uzdatnienia podłoża i trafność umiejscowienia reperów. Najmniejsze osiadania $s=6,9$ mm pomierzono na reperze nr 3 zamocowanym w strefie działania prekonsolidacji, w miejscu przecięcia się dwóch śladów starego i nowego fundamentu chłodni. Największe osiadania wystąpiły w strefie małej prekonsolidacji, w miejscu mocowania reperu 11-tego i wyniosły 33,8 mm. Przy reperze 6-stym gdzie spodziewano się występowania efektu prekonsolidacji i nieco słabszych warstw uzyskano osiadania 13,3 mm. W miejscach występowania słabych nasypów po wyburzeniu starych fundamentów chłodni na reperach 4 i 5 udało się uzyskać małe osiadania 10,9 i 12 mm. Podobnie tam gdzie występowały uplastycznione wierzchnie warstwy, po ich wymianie na poduszki udało się osiągnąć w strefie małej prekonsolidacji na reperach 13, 14 i 15 osiadania odpowiednio 22, 24,5 i 24,9 mm. Między kanałami zasilania i odpływu obniżenia fundamentu na reperze 16-tym wyniosły 14,9 mm.

Optymalizacja ilości reperów w przypadku monitorowania osiadań fundamentów pierścieniowych wydaje się ważna ze względu na rosnące koszty w przypadku zwiększenia ilości punktów pomiarowych. Potencjalnie można by zamocować repery przy każdym punkcie oparcia słupa na pierścieniu, ale w chłodni w Łagiszy były 64 takie miejsca, a do zbadania osiadań chłodni użyto tylko 16-tu reperów. Ostatecznie można było nieco zwiększyć ich ilość biorąc pod uwagę możliwość uszkodzenia lub braku czasowego dostępu do nich. W trakcie budowy, repery 2-gi i 10-ty zostały czasowo zasłonięte przez rampy usypane nad fundamentem, służące do transportu materiałów do wnętrza pierścienia. Można to łatwo zauważyć na rysunku 4. Jednak ponowne odsłonięcie tych reperów pomogło uzyskać z nich końcowe odczyty. Uzyskane dzięki monitorowaniu wyniki potwierdziły stabilne zachowanie się chłodni, a różnice osiadań mieściły się w dopuszczalnych granicach.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Biały M., Przestrzenna analiza współdziałania fundamentu chłodni kominowej z nieliniowo odkształcalnym podłożem przy uwzględnieniu sztywności nadbudowy. Dysertacja doktorska, Gliwice, 2008
 [2] Biały M., Wpływ prekonsolidacji podłoża na osiadania hiperboloidalnej chłodni kominowej. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Czasopismo Techniczne z. 4-Ś/2009, zeszyt 14 (Rok 106), s. 3–14, Kraków, 2009
 [3] Wiłun Z., Zarys geotechniki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2005



Paint with Pride

**Tworzymy przyszłość.
Razem.**

**Przyjazne środowisku
powłokowe zabezpieczenia
antykorozyjne
w budownictwie
energetycznym.**

www.teknos.pl

oliva

