

DYPLOM

w konkursie dotyczącym wyróżniającej się współpracy
z redakcją w 2021 roku

Kolegium Redakcyjne „Inżynierii i Budownictwa”
przyznało

NAGRODĘ

za wyróżniające się przedstawienie interesujących problemów
w realizowanych obiektach i konstrukcjach budowlanych w Polsce

Laureatem został

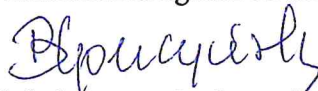
Dr inż. MARIUSZ BIAŁY

za artykuł pt.

„Analiza osiadań podłoża obiektów IOS bloku energetycznego o mocy 910 MW
w Elektrowni Jaworzno III – Elektrownia II” oraz „Analiza osiadań nastawni blokowej
i oczyszczalni ścieków IOS bloku energetycznego o mocy 910 MW
w Elektrowni Jaworzno III – Elektrownia II” opublikowane w nr. 9-10/2021.

SERDECZNIE GRATULUJEMY

W imieniu Kolegium Redakcyjnego



Prof. dr hab. inż. Barbara Goszczyńska
Redaktor naczelna

Analiza osiadań podłoża obiektów IOS bloku energetycznego o mocy 910 MW w Elektrowni Jaworzno III – Elektrownia II

Instalacja odsiarczania spalin pełni ważną rolę w pracy współczesnych bloków energetycznych, umożliwiając ich eksploatację przy znacznym zmniejszeniu emisji dwutlenku siarki do atmosfery. Zasada działania, parametry i elementy składowe instalacji zastosowanej w nowym bloku energetycznym o mocy 910 MW uruchomionym w Elektrowni Jaworzno III zostały opisane w publikacji [1]. Podstawowym problemem, który wystąpił przy projektowaniu posadowienia obiektów IOS, było zapewnienie równomierności ich osiadań. Zadanie to jest trudne ze względu na znaczne rozmiary płyt fundamentowych i ich duże naciski na podłoże. Warunkiem wykonania analizy osiadań jest przeprowadzenie dokładnych badań podłoża.

W niniejszym artykule przedstawiono analizy osiadań podłoża **fundamentów trzech obiektów IOS: absorbera, magazynu gipsu i rozdzielni elektrycznej**. Obliczenia osiadań absorbera i magazynu gipsu wykonano metodą analityczną, a osiadania płyty fundamentowej rozdzielni elektrycznej wyznaczono metodą numeryczną, opartą na metodzie elementów skończonych. Celem analizy było wyznaczenie osiadań obiektów przy założeniu bezpośredniego posadowienia i w przypadku przekroczenia dopuszczalnych osiadań – zakwalifikowanie obiektów do posadowienia pośredniego.

Geometria i naciski fundamentów analizowanych obiektów

Fundament absorbera stanowi płyta kołowa średnicy 21,5 m i grubości 2,5 m, posadowiona na głębokości 2,5 m. Wartość charakterystyczna nacisku fundamentu na podłoże wynosi 280 kPa. Magazyn gipsu opiera się na płycie średnicy 35 m i grubości 1,5 m, posadowionej na głębokości 2 m. Nacisk fundamentu na podłoże wynosi 733 kPa. Rozdzielnia elektryczna opiera się na płycie prostokątnej o wymiarach 22,4 × 34,4 m i grubości 1,0 m. Naciski płyty na podłoże osiągają 130 kPa. Fundamenty dwóch analizowanych obiektów: absorbera i magazynu wapna charakteryzuje wspólna cecha, jaką jest duża powierzchnia oddziaływania na podłoże i duże naciski na grunt. Z kolei fundamenty rozdzielni elektrycznej, mimo że nie wywierają dużego nacisku na podłoże, są rozległe w planie, co w przypadku podatnego podłoża może generować problemy z ograniczeniem różnic osiadań i ugięć obserwowanych w obrębie płyty.

Badania podłoża

Wstępne rozpoznanie podłoża obiektów IOS przeprowadził Zakład Robót Geologiczno-Inżynierskich „GEO-TEST” Ostrów Wielkopolski. Wykonano wiercenia głębokości od 15 do 45 m, pobierając próby do badań makro-

skopowych, a także sondowania dynamiczne. Na próbach gruntów wykonano analizy sitowe. W przypadku piasków oznaczono współczynniki filtracji, a gruntów spoistych – wilgotność naturalną i granice konsystencji. Na podstawie wydzieleni genetycznych i parametrów fizyko mechanicznych podłoże podzielono na warstwy i określono ich parametry według normy [2]. W podłożu wydzielono trzy grupy genetyczne. Pierwsza obejmowała nasypy miąższości do 1 m. Druga grupa zawierała piaski o różnym stopniu zagęszczenia przewarstwione glinami i piaski z zalegającymi pod nimi warstwami glin, pyłów i ilów. Grupę drugą podzielono na dwie podgrupy: a – gdzie przeważały grunty sypkie i b – zawierającą grunty spoiste. W obu grupach występowały grunty o zróżnicowanej podatności na osiadania, a ich moduły ścisłości edometrycznej określono zależnie od stopnia zagęszczenia lub plastyczności. Trzecia grupa gruntów została podzielona również na dwie podgrupy: a – obejmowała wietrzliny w postaci okruchów piaskowca i zlepieńca, b – zawierała miękką skałę piaskowca. W podłożu nawiercono jeden poziom wody gruntowej, który występował w przypowierzchniowej warstwie piasków na głębokościach od 2,4 do 3,3 m.

Kolejne badania przeprowadziło Przedsiębiorstwo Geologiczne SA Kraków. W rejonie analizowanych obiektów wykonano odwierty głębokości od 15 do 45 m, sondowania dynamiczne, sondowania statyczne CPTU i badania dylatometryczne. W obszarze podłoża projektowanego poziomu posadowienia obiektów IOS zalegały piaski średnie w stanach średnio zagęszczonym, zagęszczonym i luźnym, z przewarstwieniami gruntów spoistych (ilów i pyłów) w stanie plastycznym. Poniżej zalegały grunty ilaste w stanie twardoplastycznym i półzwałym, w których obrębie występowały warstwy piasku średniego zagęszczonego, pył z iłem w stanie twardoplastycznym i piasek z iłem w stanie plastycznym. Na podstawie wykonanych badań polowych i laboratoryjnych określono parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe gruntów.

Ostatnie rozpoznanie podłoża, zaplanowane na podstawie wyników poprzednich etapów badań, przeprowadziły Instytut Konsultacyjno-Badawczy GEOCONTROL Kraków i HEBO Poznań. W podłożu absorbera „Geocontrol” wykonał jedno wiercenie umiejscowione pod centrum projektowanej kołowej płyty fundamentowej i trzy odwierty na jej obwodzie, a „Hebo” wykonało sondowania statyczne CPTU: jedno umiejscowione pod centrum płyty i cztery na jej obwodzie. Pod centrum płyty wykonano również badanie dylatometryczne w celu skalibrowania wielkości odkształceniowych parametrów gruntów. W analogiczny sposób rozmieszczono otwory i punkty sondowania CPTU i DMT w przypadku kołowej płyty fundamentowej magazynu gipsu.

Punkty sondowania statycznego CPTU do rozpoznania podłoża prostokątnej płyty fundamentowej rozdzielni elektrycznej umieszczono w czterech rogach i pod środkiem płyty. W centrum śladu płyty wykonano także sondowanie DMT.

Wiercenia wykonane przez „Geocontrol” w miejscu fundamentowania absorbera pokazały, że w podłożu od poziomu terenu do głębokości 0,5 m zalega humus, a pod nim nawiercono piaski średnie w stanie średnio zagęszczonym i luźnym o zmiennej miąższości od 10 do 12 m. Pod piaskami zalegały ropy w stanie twardoplastycznym o miąższości od 6,3 do 11,1 m i module ścisłości 16 MPa, miejscami przewarstwione piaskiem średnim w stanie średnio zagęszczonym, a pod nimi warstwy pyłu w stanie twardoplastycznym o miąższości od 6,5 do 12,2 m. Poziom stropu zwietrzelin piaskowca pod absorberem zmieniał się w planie i występował na głębokościach od 29,0 do 31,6 m poniżej poziomu terenu. Sondowania statyczne CPTU pokazały, że moduły ścisłości gruntów spoistych zalegających pod absorberem są małe (od 10 do 15 MPa). Podobnie jest z piaskami w stanie luźnym, których moduły wynosiły 14 MPa.

Wiercenie wykonane w miejscu fundamentowania magazynu gipsu pod centrum płyty pokazało, że w podłożu pod warstwą humusu grubości 20 cm zalegały nasypy niekontrolowane o miąższości 5 m. Pod nimi nawiercono warstwy piasków średnich średnio zagęszczonych o miąższości 6,9 m, a pod nimi zalegały warstwy ropy, o miąższości 11,2 m w stanie twardoplastycznym, przewarstwionych piaskiem średnim. Pod tymi gruntami nawiercono pyły w stanie twardoplastycznym, spoczywające na zwietrzelinach, których strop nawiercono na poziomie 35 m. W pozostałych otworach pod warstwą humusu nawiercono warstwy piasków średnich średnio zagęszczone i zagęszczone o miąższości od 6,8 do 7,8 m, a pod nimi ropy pylastych o miąższości od 10,5 do 20,3 m. Łączna miąższość gruntów spoistych w tych przekrojach dochodziła do 24,2 m. Sondowania statyczne pokazały, że w podłożu magazynu zalegały słabe warstwy pyłów piaszczystych o modułach od 8 do 13 MPa i miejscami ropy o modułach 18 MPa.

Sondowania CPTU wykonane w podłożu rozdzielni elektrycznej pokazały, że w podłożu od powierzchni terenu zalegały nasypy niekontrolowane o miąższości od 0,7 do 2,4 m, pod nimi występują piaski średnie średnio zagęszczone i zagęszczone przewarstwione gliną w stanie plastycznym, a pod piaskami zalegały ropy pylaste i gliny pylaste związane w stanie twardoplastycznym. Miejscami rozpoznano gliny w stanie plastycznym o małych wartościach modułów ścisłości edometrycznej (od 10 do 11 MPa) i piaski średnie średnio zagęszczone o modułach ścisłości 16 MPa.

Analiza statyczna osiadań podłoża absorbera i magazynu gipsu

Analizę osiadań podłoża absorbera i magazynu gipsu przeprowadzono, przyjmując wariant bezpośredniego posadowienia tych obiektów na niewzmocnionym podłożu. Podstawowymi parametrami oszacowania osiadań w obliczeniach przeprowadzonych metodą analityczną były edometryczne moduły ścisłości wyznaczone w sondowaniach statycznych CPTU (skalibrowanych badaniami DMT) wykonanych w ostatnim etapie badań. Biorąc pod uwagę duże (280 kPa), a w przypadku magazynu gipsu bardzo duże (733 kPa) naciski fundamentów i występu-

jące w ich podłożu silnie odkształcalne warstwy gruntów spoistych, spodziewano się znacznych osiadań. Z tego względu do ich oszacowania zastosowano uproszczony model podłoża nawiązujący do zalecanej w krajowej normie [2] metody naprężeń (jednoosiowych odkształceń) Stosunkowo prosty model podłoża jest skojarzony z tymi metodami z nowoczesnymi i wysokiej klasy badaniami *in situ*. Są nimi sondowania statyczne CPTU, które przy zastosowaniu odpowiednich metod obliczeniowych opisanych w publikacji [4], dostarczają kompletu parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych dla każdej warstwy gruntu w zidentyfikowanych profilach podłoża, co zdecydowanie poprawia precyzję oszacowania i rekomenduje uproszczenia modelu obliczeniowego.

Osiadania obliczono, korzystając ze wzoru

$$s_k = q\eta \sum h_i / M_{0i} \quad (1)$$

gdzie:

k – numer profilu geotechnicznego,

i – numer warstwy gruntu w profilu,

h_i – miąższość warstwy i ,

M_{0i} – moduł pierwotnej ścisłości edometrycznej warstwy i ,
 η – funkcja zaniku pionowej składowej normalnej naprężenia na głębokości.

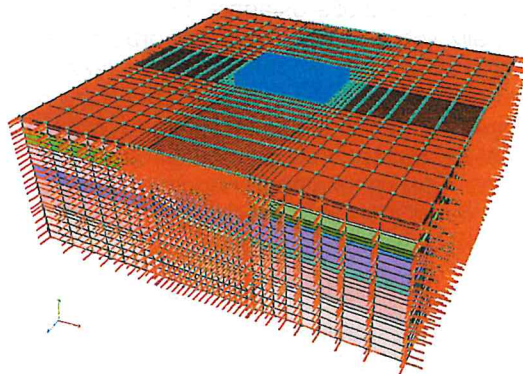
Analizy podłoża absorbera pokazały, że szacowane osiadania fundamentów dochodzą do 32 cm. W przypadku magazynu gipsu maksymalne osiadania oszacowano na 96 cm.

Analiza numeryczna osiadań podłoża rozdzielni elektrycznej

Analizę osiadań rozdzielni elektrycznej przeprowadzono w systemie Z_Soil wyspecjalizowanym w rozwiązywaniu zagadnień geotechnicznych współpracy budowli z podłożem.

Przestrzenny model numeryczny zawiera płytę fundamentową i współpracującą z nią bryłę podłoża. Podział siatki MES dostosowano do geometrii płyty fundamentowej i uwarstwienia podłoża. Przemieszczenia węzłów zlokalizowanych na ścianach bocznych modelu bryły podłoża zablokowano w kierunku osi X i Z (w płaszczyźnie równoległej do podstawy modelu), a przemieszczenia węzłów zlokalizowanych na płaszczyźnie podstawy modelu zablokowano w trzech głównych kierunkach XYZ osi opisujących współrzędne węzłów modelu.

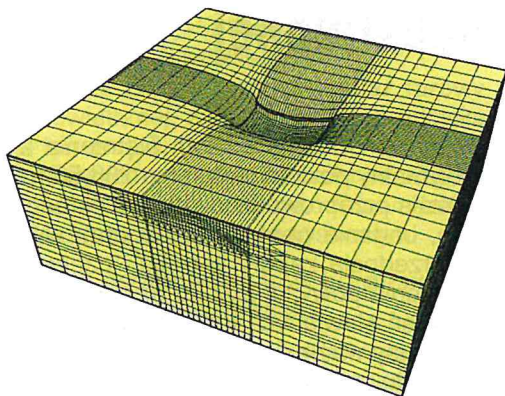
Należy zaznaczyć, że w systemie Z_Soil główna oś pionowa modelu jest oznaczona literą Y . Siatkę elementów skończonych, pokazaną na rysunku 1, utworzono na bazie 46 979 węzłów i 43 212 przestrzennych izoparam-



Rys. 1. Dyskretyzacja siatki MES modelu współpracy fundamentu rozdzielni elektrycznej z podłożem gruntowym

trycznych ośmiowęzłowych i sześciowęzłowych elementów skończonych. Na bokach i na spodzie płyty zadano 860 powierzchniowych elementów kontaktowych. Beton płyty opisano modelem sprężystym, a grunty podłoża modelem sprężysto-idealnie plastycznym z powierzchnią graniczną Coulomba-Mohra.

Dyskretyzację siatki MES pokazano na rys.1, a deformację siatki – na rys. 2.



Rys. 2. Model fundamentu rozdzielni elektrycznej. Deformacja siatki MES

Analizy numeryczne pokazały, że osiadania podłoża płyty fundamentowej będą nierównomierne: w środku płyty uzyskano 13,8 cm, a w narożach od 9,3 do 10,9 cm.

Wnioski

Analizy statyczne fundamentów absorbera i magazynu gipsu pokazały, że oszacowane osiadania przekroczą wielokrotnie wartości dopuszczalne, które ograniczono w Eurokodzie 7 do 5 cm. Przyjęcie w tym przypadku przybliżonej metody oszacowania, nawiązującej do stosowanej w [2] metody naprężeń, było uzasadnione. Osiadania absorbera wyniosły 32 cm, a magazynu gipsu 96 cm. Duże osiadania absorbera i magazynu gipsu były wynikiem skojarzenia kilku czynników, tj. sporych rozmiarów fundamentów i nacisków na podłożu oraz występujących w podłożu warstw gruntów o małych wartościach modułów

ściśliwości edometrycznej. Te czynniki miały wpływ na rozmiary i głębokość strefy aktywnej podłoża współpracującej z fundamentami. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na nierównomierność osiadań był zmieniający się w obrysie rzutu analizowanych fundamentów poziom stropu zwietrzelin piaskowca zdecydowanie sztywniejszych od silnie odkształcalnych gruntów spoistych zalegających powyżej.

Inne podejście, ze względu na zdecydowanie niższe niż w przypadku absorbera i magazynu naprężenia pod fundamentem, zastosowano w przypadku analizy osiadań płyty fundamentowej rozdzielni elektrycznej. Zdecydowano się przeprowadzić dokładną analizę numeryczną przestrzennego modelu współpracy płyty z gruntem. Jednak i w tym przypadku w podłożu dużej płyty fundamentowej w wielu miejscach występowały grunty o bardzo małych modułach ściśliwości, co skutkowało występowaniem dużych i nierównomiernych osiadań. Osiadania maksymalne płyty oszacowane w jej środku wyniosły 13,8 cm, a w narożach od 9,3 cm do 10,9 cm.

Ze względu na przekroczenie dopuszczalnych osiadań określonych przez normę Eurokod 7, niemożliwe było bezpośrednie posadowienie trzech analizowanych obiektów instalacji odsiarczania spalin. Ostatecznie, zgodnie z opisem fundamentowania obiektów elektrowni zawartym w publikacji [4], przyjęto posadowienie płyt fundamentowych na palach.

PIŚMIENICTWO

- [1] Klinos D.: Projekt Jaworzno 910 MW. Opis i dane techniczne. Informator Śląskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa, nr 1 (53) kwiecień 2017.
- [2] PN-B-03020:1981. Grunty budowlane. – Posadowienie bezpośrednie budowli – Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [3] Młynarek Z., Wierzbicki J., Wołyński W.: Koncepcja budowy modelu sztywności podłoża na podstawie badań CPTU z wykorzystaniem analizy funkcyjnej. Analizy i doświadczenia w geoinżynierii. Monografia. Praca zbiorowa pod redakcją J. Bzówki i M. Łupieżowca. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2017.
- [4] Krzyski A.: Projekt Jaworzno 910 MW. Fundamentowanie. Informator Śląskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa, nr 2 (54) czerwiec 2017.

Szanowny Czytelniku!

Zapraszamy do prenumerowania „Inżynierii i Budownictwa”



Więcej informacji na stronie www.inzynieriaibudownictwo.pl