

Wzmocnienie fundamentu wywrotnicy wagonowej w celu zmniejszenia intensywności drgań

Dr inż. Jan Adamczyk, mgr inż. Stanisław Naprawa, P.B.P. GEOSTAFF, Warszawa

1. Konstrukcja obiektu przed wzmocnieniem

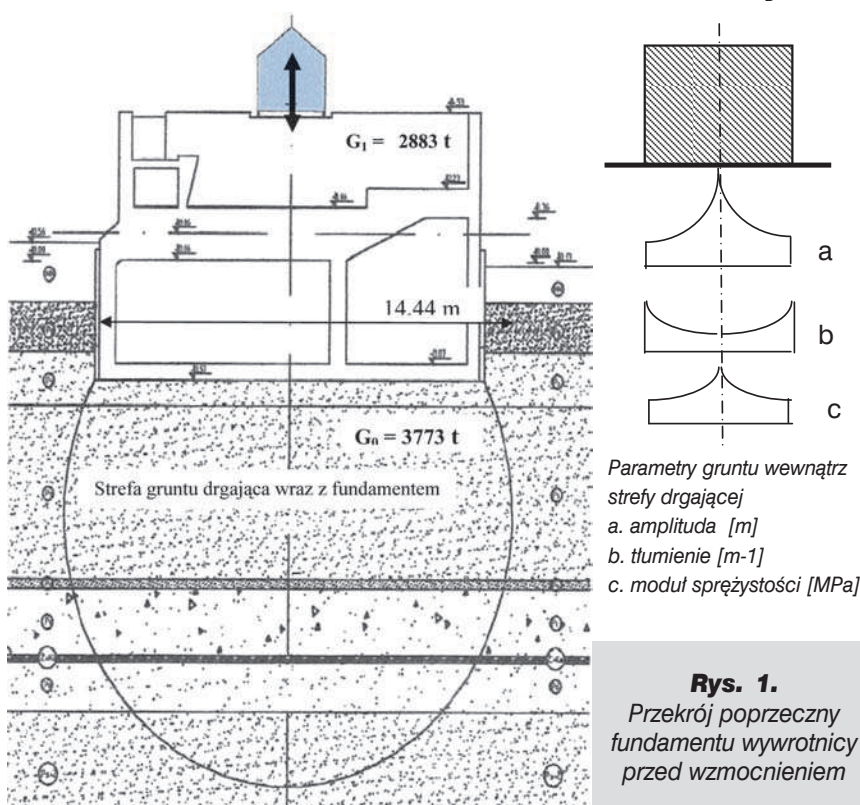
Fundament wywrotnicy składa się z dwóch skrzyń żelbetowych. Skrzynia dolna fundamentu na poziomie – 7,47 m o wymiarach w planie 14,10 x 14,35 m stanowi konstrukcję nośną dla skrzyni górnej usytuowanej w stosunku do dolnej pod kątem prostym.

Skrzynia górna (poziom posadzki – 3,07 m, grubość stropu 0,5 m) posiada wymiary w planie 14,10 m x 23,07 m, więc znacznie wykracza poza wymiary skrzyni dolnej tworząc dwa wsporniki. Na skrzyni gór-

nej zamontowane są tory kolejowe i urządzenia mechaniczne wyładowujące wagony z węglem przez ich obrót i wibrację. Na fundamencie jest zamocowana konstrukcja stalowa obudowy wywrotnicy w postaci sześciu ram stalowych o przekroju zamkniętym. Do ram przymocowana jest obudowa z blachy fałdowej. Reasumując, fundament skrzyniowy wywrotnicy posadowiony bezpośrednio na podłożu gruntowym podczas rozładunku jest obciążony dynamicznie ciężarem wagonu z węglem około 14 godzin na dobę. Dolna skrzynia jest posadowiona na piaskach średnich o $I_p = 0,66$.

Zwierciadło wody gruntowej występuje na poziomie 2,70 m powyżej spodu fundowania.

Poziom wody gruntowej jest zależny od poziomu wody w Wiśle i ulega wahaniom. Zmiany poziomu wód gruntowych przy stałych parametrach drgań generowanych podczas rozładunku wagonów z węglem powodują cykliczne zagęszczanie i rozluźnianie piasku w podłożu gruntowym. W wyniku przekazywania się drgań na podłożu gruntowe powstaje strefa gruntu, która drga razem z nim. Wewnątrz tej strefy amplituda drgań gruntu, moduł sprężystości i tłumienie zmieniają się w zależności od położenia względem środka ciężkości skrzyni fundamentowej (rys. 1).



Rys. 1.
Przekrój poprzeczny fundamentu wywrotnicy przed wzmocnieniem

2. Zachowanie się podłoża gruntowego w czasie rozładunku

Zmienność cech podłoża przedstawiona na rysunku 1 była przyczyną występowania niekorzystnych zjawisk w czasie rozładunku wagonów. Drgająca skrzynia fundamentowa zachowuje się jako ciało sztywne podparte jedynie w środku ciężkości, wprowadzone w drgania stosunkowo małymi siłami. W miarę upływu czasu drgająca powierzchnia fundamentu przekazująca obciążenie na grunt maleje, co jest przyczyną zmniejszenia się częstotliwości własnej drgań układu fundament + grunt drgający razem z nim. Częstotliwość własna tego układu w momencie

wykonania fundamentu i rozpoczęcia jego eksploatacji była znacznie większa od częstotliwości rezonansowej gruntu. Wieloletnie obciążenia dynamiczne fundamentu posadowionego na piasku mogą doprowadzić do zrównania częstotliwości drgań własnych układu fundament + grunt z częstotliwością rezonansową podłoża gruntowego. W takim przypadku istnieje niebezpieczeństwo utraty stateczności fundamentu i jego gwałtownego osiadania.

Częstotliwość drgań własnych „n” układu fundament + grunt drgający pod fundamentem blokowym [1] wynosi:

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_z \cdot F \cdot g}{G_1 + G_0}}$$

gdzie:

C_z – współczynnik sprężystego pionowego ugięcia podłoża, F – pole podstawy fundamentu, G_1 – masa fundamentu, G_0 – masa gruntu drgająca razem z fundamentem, g – przyspieszenie ziemskie.

3. Pomiary drgań podczas rozładunku wagonów

Wykonano pomiary drgań podczas hamowania wagonu z węglem i podczas wibracji w czasie wyładunku. W konstrukcji żelbetowej w rejonie podparcia belki stalowej zanotowano maksymalną prędkość zmian amplitudy drgań podczas hamowania wagonu $V=18,45$ mm/s i podczas wibracji wagonu $V = 15,6$ mm/s. W rejonie podparcia słupa ramy podczas wibracji wagonu prędkość zmian amplitudy wynosiła $V = 16,14$ mm/s. Dopuszczalne wielkości prędkości zmian amplitudy wg [2] wynoszą:

- dla ludzi przebywających w budynkach przemysłowych $V_{dop} = 3$ mm/s,
- dla stropów żelbetowych w budynkach $V_{dop} = 10$ mm/s,
- dla konstrukcji inżynierskich $V_{dop} = 15$ mm/s.

Należy zaznaczyć, że jeśli drgania występują częściej niż 3 razy

dziennie, dopuszczalne wielkości należy zmniejszyć do 2/3 wartości ($V_{dop} = 2/3 \times 15 = 10$ mm/s). Maksymalne pomierzone wielkości prędkości zmian amplitudy przekraczały dopuszczalne wielkości, tym samym wibracja i hamowanie wagonów powodowały powstanie spękań i uszkodzeń konstrukcji żelbetowej tworzącej fundament wywrotnicy.

4. Spękania i uszkodzenia konstrukcji fundamentu

W ścianach nośnych konstrukcji żelbetowej fundamentu zinventaryzowano dużą liczbę (rys. 2) zarysowań i szczelin. Podobne uszkodzenia wystąpiły w pozostałych ścianach nośnych skrzyń fundamentowych na poziomie – 6,17 m, jak i na poziomie – 3,07 m. Układ i intensywność spękań świadczyły o przekroczeniu naprężeń dopuszczalnych w betonie na rozciąganie. Konstrukcja nie pracowała w fazie sprężystej. W fazie II żelbet traci właściwości materiału jednorodnego i nie jest w stanie przenosić występujących obciążeń dynamicznych.

Zastosowany typowy prostokątny dla belek kształt i rozmieszczenie zbrojenia nie uwzględniał faktu, że rzeczywisty rozkład naprężeń w przekrojach obliczeniowych ścian nie zapewnił przejścia naprężeń rozciągających o wielkości i rozkładzie charakterystycznym dla ustrojów tarczowych, tj. w belkach ścianach. Przyjęte w obliczeniach wzory oparte na zasadzie płaskich przekrojów nie mają zasto-

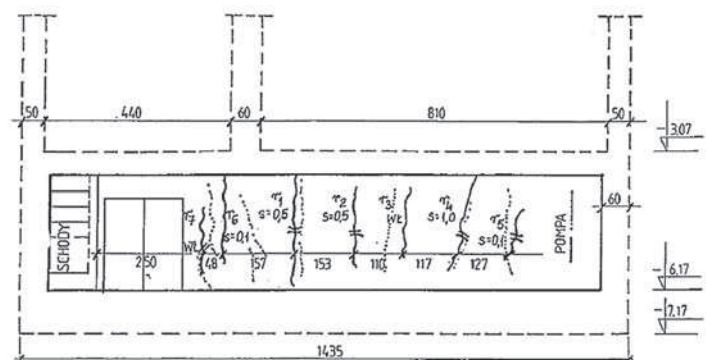
sowania do belek o dużej wysokości w stosunku do rozpiętości i nieznacznej stosunkowo wysokości. W tarczach, strefy maksymalnych naprężeń rozciągających odbiegają od miejsc ich występowania w ustrojach belkowych. Przyjęcie niewłaściwej ilości średnic prętów zarówno głównego, jak i przeciwskurczowego nie pozostało bez wpływu na powstanie rys i uszkodzeń oraz awaryjny stan konstrukcji fundamentu. W wyniku sumowania się czynników opisanych powyżej aktualne wymiary ścian fundamentu i stropu w wentylatorni poziom – 3,07 m oraz ściany w pompowni na poziomie – 6,17 m wymagały zwiększenia grubości oraz uzupełnienia zbrojenia do wymaganej ilości. Szczęólnego wzmocnienia wymagały ściany w strefach działania reakcji dodatkowych belek nośnych wywrotnicy (I 800). Dodatkowe obciążenia powstałe w wyniku powiększenia przekrojów nośnych ścian nośnych fundamentu powinny być przekazane poprzez pale fundamentowe na niżej położone warstwy podłoża o korzystniejszych parametrach wytrzymałościowych.

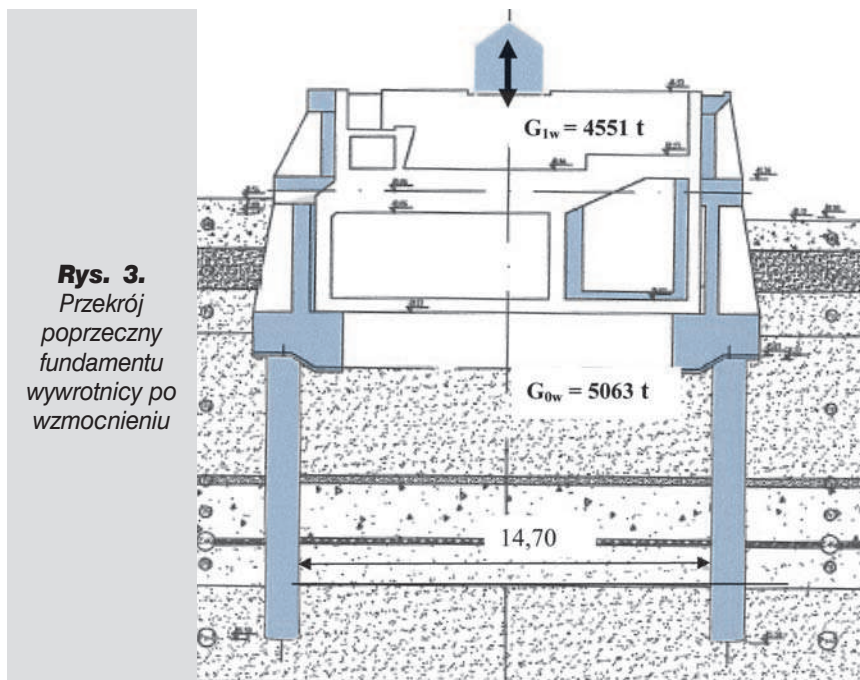
5. Wzmocniona konstrukcja fundamentu wywrotnicy

Do istniejących skrzyń fundamentowych dodano oznaczone szarym kolorem na rysunku 3 następujące elementy konstrukcyjne:

- 8 pali żelbetowych wierconych w otworach monolitycznych o średnicy 120 cm (po 2 sztuki w narożu);

Rys. 2. Zarysowania i szczeliny w ścianie nośnej skrzyni





Rys. 3.
Przekrój poprzeczny fundamentu wywrotnicy po wzmocnieniu

Tabela 1. Porównanie mas konstrukcji fundamentu i gruntu drgającego razem z nim

Stan fundamentu	Masa fundamentu + wagon z węglem + mechanizm rozładawczy [t]	Masa gruntu drgającego wraz z fundamentem [t]	Masa fundamentu + ciężar gruntu drgającego z fundamentem [t]
Przed wzmocnieniem	$G_1 = 2883$	$G_0 = 3773$	6656
Po wzmocnieniu	$G_{1w} = 4551$	$G_{0w} = 5063$	9614

- belki żelbetowe (oczepy) łączące głowice pali;
- wzmocnienie stropu w pomieszczeniach pompowni i wentylatorni (poziomy -6,17 i -3,07);
- wzmocnienie ścian pomieszczenia wentylatorni łącznie z porzecznymi żebrami usztywniającymi;
- wzmocnienie zewnętrznych ścian fundamentowych łącznie z nowym oparciem belek I 800.

W wyniku przeprowadzonych prac remontowych zmianie uległy parametry podłoża gruntowego i samego fundamentu mające wpływ na drgania układu fundament + grunt drgający razem z nim. Po remoncie i wzmocnieniu fundamentu masa konstrukcji fundamentu zwiększył się o 58%, a masa gruntu drgającego razem z nim o 34 % (tab. 1).

W wyniku zwiększenia masy konstrukcji fundamentu, masy gruntu drgającego razem z fundamentem zmniejszeniu uległa częstotliwość drgań własnych wymienio-

nego układu. Te same urządzenia wyładowujące wagon z węglem wprowadzające w drgania masę 6656 t teraz wprowadzają w drgania masę 9614 t. Wykonano pomiary drgań trzy miesiące po zakończeniu prac wzmocniających fundament wywrotnicy. Stwierdzono, że w konstrukcji żelbetowej w rejonie podparcia belki stalowej zanotowano maksymalną prędkość zmian amplitudy drgań podczas hamowania wagonu $V=8,23$ mm/s i podczas vibracji wagonu $V = 9,46$ mm/s. W rejonie podparcia słupa ramy podczas vibracji wagonu prędkość zmian amplitudy wynosi $V = 8,14$ mm/s. Dopuszczalna prędkość zmian amplitudy dla konstrukcji inżynierskich wynosi: $V_D = 10$ mm/s. Po remoncie i wzmocnieniu konstrukcji drgania wywołane rozładunkiem wagonów nie przekraczają obecnie wielkości dopuszczalnych.

5. Wnioski

W opisanym przykładzie przed modernizacją wywrotnicy wystąpiło szereg niekorzystnych sytuacji spowodowanych następującymi czynnikami:

- Niewłaściwym określeniem dynamicznego oddziaływania wyposażenia mechanicznego wywrotnicy na konstrukcję budynku i fundament. Drgania towarzyszące eksploatacji wywrotnicy spowodowały uszkodzenie konstrukcji obiektu w formie spękań zarówno w części nadziemnej, jak i zagłębionej w gruncie (część fundamentu żelbetowego).
- Stwierdzonym podczas wykonywania kontrolnych badań geotechnicznych faktem, że parametry wytrzymałościowe gruntów w podłożu różnią się od wartości przyjętych do projektowania. W rzeczywistości obiekt był więc użytkowany w bardziej niekorzystnych warunkach nie przewidzianych w projekcie.

- Niewłaściwą oceną współpracy fundamentu z gruntem podłoża na etapie projektowania. W częściach wspornikowych fundamentu liczone na wystąpienie reakcji podłoża i stosowano w obliczeniach wzory oparte na występowaniu płaskich przekrojów. W wyniku tych obliczeń błędnie oceniono nośność zaprojektowanych przekrojów wsporników, które w rzeczywistości pracowały jak tarcze (belki ściany).

W ramach projektu modernizacji wzmocniono elementy zarysowanej konstrukcji żelbetowej co znakomicie zwiększyło ciężar budowli, poprawiając warunki pracy konstrukcji obciążonej dynamicznie. Zaszła również konieczność podjęcia decyzji o zmianie sposobu posadowienia budowli z bezpośrednio na gruncie, na system palowy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Major A., Dynamics in civil engineering. Analysis and design. Budapest 1993
- [2] Lipiński J., Fundamenty pod maszyną. Warszawa 1983