XXIV awarie budowlane
XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009

Dr inż. JAN GIERCZAK, *jan.gierczak@pwr.wroc.pl*
Katedra Konstrukcji Stalowych PWr.
Dr inż. ANDRZEJ KMITA, *andrzej.kmita@pwr.wroc.pl*
Katedra Konstrukcji Betonowych PWr.

PRZEDAWARYJNY STAN HALI STALOWEJ O ZNACZNEJ ROZPIĘTOŚCI SPOWODOWANY BŁĘDAMI POSADOWIENIA

PREFAILURE STATE OF STEEL HALL BUILDING OF A LARGE SPAN CAUSED BY SETTELMENT FAULT

Streszczenie W typowej hali stalowej o konstrukcji ramowej portalowej o rozpiętości 30,0m zaobserwowano przemieszczenie się fundamentów stopowych. Fundamenty stopowe wykonane z betonu B25 i zbrojone stalą stanowiły podparcie ram portalowych przegubowo mocowanych do fundamentów. Fundamenty stopowe były połączone trwale z belkami podwalinowymi i łączyły fundamenty stopowe. W niniejszym referacie przedstawiono przyczynę przemieszczenia się fundamentów i konsekwencje przemieszczania się ich na konstrukcję stalową oraz zalecany sposób naprawy posadowienia konstrukcji.

Abstract In a typical portal frame (span 30m) structure of a hall building displacements of the foundation footings were observed. The reinforced concrete foundations were made of C20/25 concrete. They support the portal frames through hinges. The foundation footings were permanently connected with substructure beams. The reason of the displacements, consequences of the displacements for the steel structure and proposed method of the settlements repair are given in the paper.

1. Wstęp

Przedstawiony obiekt wybudowano w północnej części Polski w II-giej strefie wiatrowej i I-szej strefie śniegowej. Obiekt został zaprojektowany i zrealizowany w konstrukcji stalowej z systemową lekką obudową. Hala składała się z 11 ram portalowych przegubowo mocowanych do fundamentów stopowych. Słupy są sztywno mocowane do rygla ramy. Ramy portalowe o rozpiętości ponad 30,0 m rozstawione są co 8,324 m. Na ramach spoczywają płatwie zimnogięte typu Z o wysokości 203 mm w rozstawie około 1,5 m. Płatwie pracują jako belki wieloprzęsłowe. Rygle ścienne są wykonane z profili zimnogiętych na których spoczywa obudowa systemowa z pełną izolacją termiczną. Obiekt jest przystosowany do dalszej rozbudowy, która miała być realizowana w okresie 1 roku od uruchomienia produkcji przemysłowej. Po rozbudowie układ poprzeczny stanowiłaby rama portalowa dwunawowa o wspólnym słupie środkowym.

Obciążenia poziome działające w kierunku poprzecznym do osi hali są przenoszone z płaszczyzny ścian, przez rygle na główną konstrukcję nośną, a stąd na fundamenty. Stateczność w kierunku poprzecznym hali jest zapewniona przez sztywność głównej konstrukcji nośnej. W kierunku osi podłużnej hali obciążenia poziome są przenoszone z płaszczyzny

ścian przez rygle na słupy ścian szczytowych, skąd obciążenia te są przenoszone przez stężenia dachowe do stężeń wiatrowych ścian, słupów, a następnie są przekazywane na fundament.

2. Opis fundamentów

Fundamenty stopowe wykonano z betonu B25 o wymiarach 180×220 cm i grubości 40 cm oraz z drugiej strony o wymiarach 200×220 cm. Mniejsze wymiary fundamentów miały w okresie późniejszym służyć jako fundamenty pod słup środkowy (dla rozbudowanej hali). Na fot.1 widzimy że fundamenty te zostały dodatkowa spięte ławą żelbetową o szerokości 60 cm. Ze stóp są wypuszczone słupki do mocowania przegubowego słupów ram portalowych. Zamocowanie słupów zaprojektowano i wykonano jako połączenie przegubowe z możliwością przekazywania siły pionowej i poziomej.

Fot. 1. Widok na fundamenty stopowe połączone z ławą

Pomiędzy słupkami wychodzącymi ze stóp fundamentowych wykonano belkę podwalinową (fot. 2). Ława fundamentowa oraz belka podwalinowa są wykonane na całej długości hali oraz w ścianach szczytowych stanowiąc powiązanie wszystkich fundamentów stopowych między sobą. Należy tutaj nadmienić, że zgodnie z dokumentami budowy oraz z relacjami kadry inżynierskiej wykonującej prace budowlane, grunt był zagęszczony pod stopami i pod ławami w tym samym stopniu.

Grunty zalegające pod stopami fundamentowymi to piaski drobne o ID = 0,57. Okresowo poziom wód gruntowych jest ponad poziomem posadowienia.

Fot. 2. Fundamenty stopowe z belkami podwalinowymi

3. Początki awarii i próba oceny zjawiska

Po upływie jednego roku od zakończenia budowy i oddania obiektu do użytkowania zauważono pękanie posadzki przy słupach ram portalowych. Pierwsze pęknięcia zauważono w okresie wiosennym, przy braku zalegania śniegu na dachu, ale przy intensywnych wiatrach. Należy tutaj przypomnieć, że obiekt został wybudowany w strefie II obciążenia wiatrem w północnej części Polski, blisko morza Bałtyckiego. Pomierzone przemieszczenia fundamentów z ławami wynosiły do 20mm. Ponieważ hala stalowa była zaprojektowana i wykonana w systemie hal prefabrykowanych z małym zapasem nośności poszczególnych elementów, zachodziło podejrzenie, że przemieszczenia poziome wywołają dodatkowe siły wewnętrzne w konstrukcji hali, które spowodują przekroczenia stanu granicznego nośności ram portalowych. Późniejsze analizy wykazały, że w ramach portalowych wytężenie w sztywnych narożach ramy wzrosło o 5%, przy założeniu przemieszczenia się podpory o 20mm w kierunku poziomym [2]. Założone punktu pomiarowe w okresie późniejszym wykazały że, przemieszczenia ustabilizowały się i dalsze deformacje nie narastały. Pomimo, że według Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z Poznania prędkość wiatru dochodziła do 29m/s. Pomiaru dokonano w okresie od 10.06 do 02.09.2008r na poziomie wiatromierza 24 m nad poziomem gruntu. Kierunek wiatru na obiekt nie był sprecyzowany co ma duże znaczenie przy szacowaniu obciążeń od wiatru na konstrukcję. Brak dalszego przesuwu fundamentu mogło być spowodowane włączeniem pobocznicy fundamentu [3] (czyli odporu czynnego) do przenoszenia obciążenia z ramy portalowej.

Fot. 3. Widoczne przemieszczanie się słupa względem posadzki

4. Przyczyna przemieszczania się fundamentów

Po przeprowadzonej analizie statyczno – wytrzymałościowej konstrukcji i przeanalizowaniu obciążeń możemy stwierdzić:

1. Na fundamenty działają siły od obciążenia stałego, technologicznego, obciążenia śniegiem i wiatrem.
2. Obciążenie stałe wywołuje małe reakcje pionowe i poziome na fundament, gdyż konstrukcja wraz z obudową nie przekracza 23kg/m2 rzutu dachu (bez ciężaru ramy portalowej).
3. Obciążenie technologiczne nie przekracza 10kg/m2 rzutu dachu, ponadto nie w każdym polu jest to obciążenie wykorzystane.
4. Obciążenie wiatrem np. od czoła wywołuje obciążenie charakterystyczne prostopadłe do połaci dachowej równe 56,7kg/m^2.

Obliczenia fundamentów wykonane przez Projektanta programem komputerowym są wykonane dla fundamentów jako fundamentów symetrycznych (patrz fot. 1) a fundament jest niesymetryczny. Ponadto, w obliczeniach tych nie uwzględniono sił rozciągających przekazywanych na fundament od obciążenia wiatrem, przyjęto, wartość równą zero. Do obliczeń przyjęto, dla osi zewnętrznej (bez możliwości rozbudowy) ciężar podwaliny i ławy 139,8 kN, natomiast w osi zewnętrznej (z możliwością rozbudowy) ciężar podwaliny i ławy przyjęto 47,7 kN. Ciężar ten może być wliczony do obciążenia fundamentu pod warunkiem, że zadane obciążeniem przekazuje się bezpośrednio na fundament tzn. belka podwalinowa i ława nie spoczywają bezpośrednio na gruncie, tylko opierają się na fundamencie. Możemy mieć także sytuację pośrednią, że część obciążenia przekazywana jest bezpośrednio na grunt i na fundament ale w obliczeniach projektowych tego nie przeanalizowano.

Wykonano własne obliczenia fundamentów stopowych bezpośrednich zgodnie z normą PN-81/B-03020 ”*Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*”. Według tej normy w punkcie 2.3. Wymiary podstawy fundamentów należy ustalać z zachowaniem następujących warunków:

a) rozkład obliczeniowy obciążenia jednostkowego w podstawie fundamentu należy przyjmować liniowy; nie wolno uwzględniać sił rozciągających między podłożem i podstawą fundamentu;
b) wypadkowa sił od obliczeniowego obciążenia stałego i zmiennego długotrwałego nie powinna wychodzić poza rdzeń podstawy fundamentu;
c) przy uwzględnieniu wszystkich obciążeń obliczeniowych dopuszcza się powstawanie szczeliny między podłożem i podstawą fundamentu; dla fundamentów o podstawie prostokątnej $C \leq L/4$, gdzie L jest długością fundamentu

Przy uwzględnieniu tylko ciężaru własnego (bez obciążenia technologicznego) i obciążenia wiatrem (bez ciężaru ławy i podwaliny) zasięg ten jest przekroczony C = 3,60 przy uwzględnieniu podwaliny, ławy i obciążenia technologicznego $C = 1{,}04 > L/4 = 0{,}55$m. Sposób obliczania fundamentów bez uwzględnienia obciążenia technologicznego i ciężaru ław, podwaliny (na fundament przypada wartość obciążenia technologicznego równa 1230kg) jest bezpieczniejszy gdyż, może w niektórych polach obciążenie technologiczne być równe zero, a obciążenie z ław, podwaliny przekazywać się bezpośrednio na grunt. Uwzględnienie tych obciążeń, w zasadzie odciążających fundament, jest dyskusyjne i może powodować w praktyce zagrożenie awarią konstrukcji hali.

Przeprowadzono własne obliczenia fundamentów w których stwierdzono, że największy wpływ na niekorzystne obciążenie fundamentu ma obciążenie wiatrem hali. Obciążenie to wywołuje rozciąganie pod fundamentem od obciążeń krótkotrwałych na obszarze większym niż norma dopuszcza. Ponieważ wiatr jest obciążeniem zmiennym o kierunku także zmiennym występuje rozciąganie (czyli rozluźnienie gruntu) raz w jednej części stopy fundamentowej raz w drugiej. Dodatkowo pogarsza te warunki gruntowe występująca woda gruntowa powyżej posadowienia fundamentu. Woda zmniejsza tarcie pomiędzy stopą fundamentową a tzw. chudziakiem betonowym oraz między chudziakiem betonowym a gruntem. Ponieważ nie wiemy, czy następuje przesuw fundamentu względem tzw. chudziaka betonowego, czy też gruntu nie możemy włączać chudziaka betonowego do ciężaru fundamentu.

Obliczenia fundamentu wykonane przez Projektanta bez uwzględnienia sił wyrywającej powstałej podczas działania obciążenia krótkotrwałego, czyli wiatru, spowodowały niedoszacowanie wymiarów fundamentu. Ponadto, występująca woda gruntowa powoduje łatwiejsze przemieszczania się fundamentu w gruncie. Należy nadmienić tutaj, że reakcje przekazywane przez fundament na podłoże są bardzo małe w porównaniu z nośnością podłoża. Natomiast ich nierównomierne przekazywanie na podłoże jest główną przyczyną osiadania i przesuwania się fundamentów.

Obliczanie fundamentów, zestawienie obciążeń i uwzględnienie do ciężaru fundamentu ław, podwalin jest sprawą indywidualną i zależy od decyzji Projektanta. Jeśli Projektant ma wiedzę, że ławy i podwaliny będą przekazywać obciążenia bezpośrednio na fundament może je uwzględnić. Oczywiście rozwiązania podane przez Projektanta oparcia np. belek podwalinowych muszą uwzględniać przekazywanie ciężaru tej belki na fundament, a nie bezpośrednio na podłoże gruntowe. Uwzględnienie tych dodatkowych sił powoduje mniejsze przekroczenia warunku $C > L/4$.

Według analiz własnych, przeprowadzonych obliczeń najgorszym obciążeniem na fundament jest obciążenie stałe z wiatrem tj. wiatr z prawej lub wiatr od czoła. Działanie zmienne wiatru co do kierunku i natężenia, w czasie powoduje rozluźnienie gruntu pod fundamentem co skutkuje jego niekontrolowanym osiadaniem i przemieszczaniem się.

5. Sposoby wzmocnienia fundamentów

Sposób naprawy fundamentów można wykonać na kilka sposobów. Jednym z możliwym rozwiązaniem jest zmiana schematu statycznego ramy portalowej przez dodanie poziomego ściągu [4] na poziomie kotwienia ram do fundamentu. Według obliczeń ściąg o średnicy 40mm ze stali S355J2 eliminuje powstanie siły poziomej działającej na fundament.

Innym rozwiązaniem jest wydłużenie fundamentu około 1,0m od strony zewnętrznej. W ten sposób zwiększamy ciężar fundamentu oraz jego długość redukując strefę rozciągającą pod fundamentem od obciążenia krótkotrwałego. Sposobem poprawienia pracy fundamentu jest zwiększenie siły pionowej poprzez np. zastosowanie balastu.

Innym sposobem poprawy sytuacji może być przewidywana rozbudowa hali. Wtedy to, w hali dwunawowej pod słupem środkowym zwiększa się siła pionowa i zmniejsza się siła pozioma. Wtedy to fundamenty spełnią warunki określone w normie [1].

Obecnie właściciel obiektu zgodził się na naprawę hali poprzez zwiększenie wymiarów fundamentu od strony zewnętrznej. Warianty polegające na zmianie schematu statycznego ramy portalowej poprzez dodanie ściągu nie były zaakceptowane przez Użytkownika, gdyż wiązało się to z pracami wewnątrz obiektu, co skutkowałoby okresowym unieruchomieniem produkcji.

6. Wnioski końcowe

Przy projektowaniu fundamentów stopowych w nowoczesnych halach o dużych rozpiętościach z lekką obudową należy pamiętać, że ciężar takich hal jest mniejszy od obciążenia wywołanego przez ssanie wiatru na dachu. Wtedy to, może pojawić się duża siła wyrywająca pionowo skierowana w górę przy znacznej sile poziomej. Przy takich warunkach obciążeniowych może łatwo nastąpić rozciąganie gruntu bezpośrednio pod fundamentem, co w konsekwencji prowadzi do rozluźnienia gruntu pod podstawą fundamentu. Aby temu zapobiec należy przewidzieć fundament o znacznych gabarytach, który swym ciężarem własnym i gabarytami powoduje, że od obciążeń stałych i długotrwałych siła nie wychodzi poza rdzeń podstawy fundamentu czyli od kombinacji obciążeń stałych i krótkotrwałych siła nie wychodzi poza $C = L/4$.

Uwzględnianie belek podwalinowych, posadzek lub innych elementów do ciężaru fundamentów jest ryzykowne, gdyż od sposobu wykonania danych elementów zależy sposób przekazywania obciążenia od ciężaru własnego.

Projektowanie fundamentów stopowych w lekkich halach stalowych jest specyficzne, gdyż mamy przeważnie niewielkie obciążenie pionowe, przy znacznych obciążeniach poziomych.

Literatura

1. PN-81/B-03020. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
2. Wei – Wen Yu: Cold – Formed Steel Design, 3rd ed., John Wiley & Sons, USA 2000.
3. Wiłun Z.: Zarys Geotechniki, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1982.
4. Kucharczuk W.: Efektywne zastosowanie ram ze ściągiem w konstrukcjach halowych „Inżynieria i Budownictwo”, nr 2/1985.