

mgr inż. Marcin Skwarek\*

dr hab. inż. Jacek Hulimka, prof. Pol. Śl\*\*

mgr inż. Dominika Tomaska\*

# Rozwiązanie konstrukcji wsporczej deskowania płyty górnej fundamentu turbozespołu dużej mocy

*Solution of formwork supporting structure of upper slab of high power turbine foundation*

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano rozwiązanie konstrukcji nośnej pod deskowanie górnej płyty fundamentu turbozespołu bloku energetycznego dużej mocy. W miejsce zwykle stosowanego układu nośnego, prowadzonego od poziomu gruntu, zaproponowano stalową konstrukcję wspartą na żelbetowych wspornikach wyprowadzonych ze słupów fundamentu. Rozwiązanie takie okazało się bardzo wygodne do wykonywania, a jednocześnie oszczędne. Rzeczywista realizacja potwierdziła prawidłowość założeń projektu, pozwalających na spełnienie ostrych tolerancji wykonawczych fundamentu.

**Słowa kluczowe:** fundament turbozespołu, konstrukcja wsporcza deskowania.

**Abstract.** The report presents solution of formwork supporting structure of upper slab of high power turbine foundation. Steel structure founded on concrete cantilevers output of the foundation columns is proposed instead of typically used bearing system, leading from the level of ground. That solution proved to be very convenient executively and economical at the same time, as well as allowed to fulfill executive tolerance of foundation.

**Keywords:** turbine foundation, formwork supporting structure.

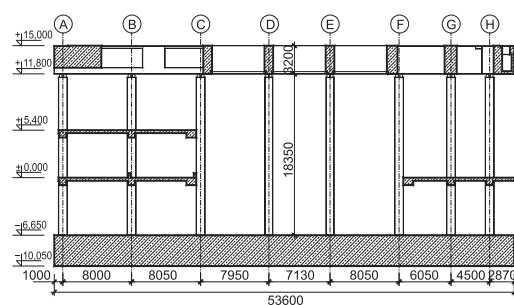
Opisywany problem dotyczy realizacji wspólnego fundamentu pod turbinę, generator, kondensator i rurociągi pary, w jednej z polskich elektrowni, zaprojektowanego jako żelbetowy, długości 53,6 m, szerokości od 16,0 m do 11,0 m i wysokości całkowitej 21,5 m. Konstrukcję fundamentu tworzą: płyta dolna, osiem par słupów i płyta górna (stół turbogeneratora), będąca bezpośrednią podporą urządzeń technologicznych. Płytę dolną zaprojektowano jako pełną, grubości 3,5 m, a wszystkie słupy nośne jako prostokątne szerokości 0,90 – 1,00 m i wysokości przekroju 1,85 m lub 2,50 m. Na słupach oparto płytę górną przez systemowe podpory sprężyste. Silnie zróżnicowana geometrycznie płyta górna fundamentu jest w obrysie zgodna z płytą dolną, a pod względem wysokości mieści się w gabarycie 3,20 m. Poziom oparcia płyty górnej, w stosunku do górnej powierzchni płyty dolnej, wynosi 18,30 m. Z uwagi na wymagania technologiczne płyta górna jest silnie perforowana, co skutkuje znaczną zmiennością

ciężaru własnego (jest on zróżnicowany od wartości minimalnej 10 kN/m<sup>2</sup>, do maksimum 85 kN/m<sup>2</sup>). W skrajnych i przedskrajnych polach (osie A-B-C i F-G-H wg rysunku 1) słupy spięto stropami pośrednimi, podczas gdy w strefie środkowej (osie C-D-E-F) przestrzeń pomiędzy słupami pozostała wolna. Miało to duży wpływ na technologię wznoszenia konstrukcji, gdyż istotnie zmieniło

możliwość podparcia deskowania płyty górnej. W polach skrajnych i przedskrajnych systemowe deskowania odpowiednich fragmentów płyty górnej oparto na niższych stropach, pozostawiając je (a także kolejne, niższe stropy) zadeskowane i podparte stemplami, a tym samym przekazano obciążenia na dolną płytę fundamentu. W efekcie można było stosować stosunkowo krótkie stemple, zdolne do przeniesienia obciążenia deskowaniem wypełnionym niezwiązaną mieszanką betonową. W przypadku przestrzeni bez stropów pośrednich koncepcja bezpośredniego podparcia deskowania płyty górnej okazała się nierealna z uwagi na zbyt dużą wysokość podpór w od-

niesieniu do ciężaru betonu w deskowaniu. Najsilniejsze podpory systemowe przy zadanej wysokości miały zbyt dużą smukłość. W efekcie ich nośność obliczeniowa spadała poniżej poziomu przewidywanych obciążeń technologicznych.

W pierwotnym zamierzeniu wykonawcy, konstrukcja wsporcza pod deskowanie wykonana miała być w postaci płaskiego rusztu z profili walcowanych. Pojawiły się jednak dwie zasadnicze trudności. Pierwsza miała charakter czysto techniczny i sprowadzała się do braku realnej możliwości oparcia rusztu na odpowiednio silnych podporach. Problem ten był oczywiście możliwy do rozwiązania, wiązał się jed-



Rys. 1. Schematyczny rysunek fundamentu (przekrój podłużny)

\* Pracownia Projektowa M. Skwarek, J. Hulimka Sp. J

\*\* Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

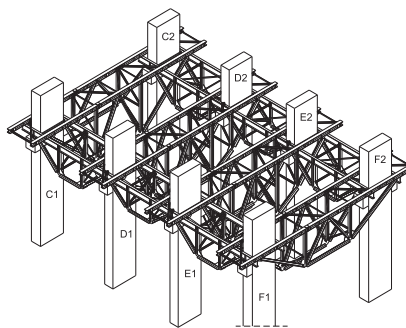
nak z koniecznością wbudowania odpowiednio silnej, a tym samym kosztownej konstrukcji podporowej, wypełniającej przestrzeń ponad płytą dolną. Drugim problemem było zapewnienie odpowiedniej sztywności rusztu, wprost przekładającej się na ugięcie pod obciążeniem technologicznym, a w efekcie na wstępną deformację górnej płyty fundamentu. Wykonanie typowego rusztu o odpowiedniej sztywności wymagało gęstego układu silnych profili stalowych, co znowu skutkowało bardzo dużym ciężarem własnym konstrukcji wsporczej. Oszacowana masa samego rusztu mogła przekroczyć 500 ton, co w sposób oczywisty przekładało się na wzrost kosztów. Trzeba pamiętać, że konstrukcja wsporcza pod deskowanie ma charakter typowo tymczasowy, a zużyta do jej wykonania stal w znacznej części nie nadaje się do powtórnego wykorzystania. W opisanej sytuacji wykonawca robót żelbetowych zwrócił się do autorów artykułu o opracowanie koncepcji alternatywnej konstrukcji podporowej, a później jej projektu wykonawczego. Podstawowym założeniem projektowym było ograniczenie dopuszczalnego ugięcia konstrukcji wsporczej do 8 mm, a wymaganiem ekonomicznym zminimalizowanie masy stali.

### Opis przyjętego rozwiązania

Przyjęto koncepcję wykonania, w środkowej strefie fundamentu, konstrukcji wsporczej pod deskowanie jako opartej na żelbetowych słupach. Tym samym eliminowało to konieczność wykonania dodatkowych wysokich podpór, jednocześnie uwalniając przestrzeń pomiędzy słupami.

Pierwszym problemem było oparcie tymczasowej konstrukcji stalowej na słupach żelbetowych. Wykorzystano fakt, że słupy nie były jeszcze wykonane, co pozwoliło na doprojektowanie żelbetowych krótkich wsporników o odpowiedniej nośności. Po demontażu deskowań i stalowej konstrukcji wsporczej przewidziano odcięcie wsporników, z odpowiednim zabezpieczeniem antykorozyjnym przeciętych wkładek zbrojeniowych. Oparcie projektowanej konstrukcji nośnej deskowania na wspornikach słupów żelbetowych pozwoliło na dość swobodne kształtowanie jej elementów pod

względem wysokości (poniżej rusztu). Zdecydowano się zatem na nietypową konstrukcję bazującą na belkach ze sztywnymi ściągami. Rozwiązanie takie, typowe w przypadku wzmacniania belek, pozwala na uzyskanie znacznej sztywności przy relatywnie niewielkim zużyciu stali. Jako główny układ nośny przyjęto dwie podwójne belki podłużne – każda bezpośrednio obejmująca rząd słupów żelbetowych i wsparta na wprowadzonych ze słupów wspornikach (rysunek 2). Na belkach podłużnych wsparto cztery podwójne belki poprzeczne ze ściągami, tworząc tym samym podstawowy układ nośny (fotografia). Rozstaw belek poprzecz-



Rys. 2. Widok aksonometryczny zaprojektowanej konstrukcji wsporczej deskowania



Widok fragmentów wykonanej konstrukcji; a) belki podłużne; b) belki poprzeczne

nych pozwalał na bezpośrednie oparcie na nich elementów deskowań systemowych. W belkach głównych zastosowano dwuteowniki zwykłe I550 ze ściągami z podwójnych kątowników równoramiennych 160 x 160 x 15 lub 130 x 130 x 12, a w belkach poprzecznych dwuteowniki szerokostopowe HEB320 ze ściągami z podwójnych kątowników równoramiennych 200 x 200 x 20 lub 160 x 160 x 15. W poszczególnych elementach konstrukcyjnych zastosowano połączenia spawane oraz połączenia na śruby klasy 5,8 i 12,9 – te ostatnie jako sprężane. Sumaryczna masa zaprojektowanej konstrukcji stalowej wynosiła nieca-

łe 85 ton. Wobec przewidywanego okresu użytkowania konstrukcji, wynoszącego kilka tygodni, zaprojektowano ją bez jakichkolwiek zabezpieczeń antykorozyjnych, co oczywiście przełożyło się na obniżenie kosztów.

Obliczenia konstrukcji wsporczej wykonano, przyjmując obciążenie ciężarem własnym wygenerowanym przez program obliczeniowy, ciężarem deskowań (wg projektu deskowania), obciążeniem z pomostów roboczych i ciężarem mieszanki betonowej wraz ze zbrojeniem (dominujące i podstawowe obciążenie). Obciążenie wiatrem na konstrukcję i deskowanie potraktowano jako wyjątkowe. Wykonane obliczenia wykazały wyężenie głównych elementów konstrukcyjnych ok. 90%. Maksymalne ugięcie w płaszczyźnie podparcia deskowania wynosiło 4 – 8 mm, przy dopuszczalnej wartości 8 mm. Gwarantowało to nieprzekroczenie dopuszczalnych odchyłek geometrii gotowej płyty z uwzględnieniem podatności deskowań, wynoszącej 10 mm. Jak później przekazano autorom projektu, rzeczywiste, pomierzone wartości ugięć (przemieszczenia pionowych) konstrukcji nie przekroczyły 7 mm.

### Podsumowanie

Omówiona w artykule realizacja to z jednej strony element prostego i standardowego zadania polegającego na zadeskowaniu konstrukcji żelbetowej, z drugiej jednak ciekawe i odpowiedzialne zagadnienie inżynierskie. Nieszablonowe podejście do rutynowego zadania, pomimo pozornego skomplikowania zaprojektowanej konstrukcji wsporczej, pozwoliło na znaczne obniżenie kosztów realizacji, oszczędność czasu oraz uwolnienie przestrzeni poniżej deskowania, umożliwiając prowadzenie tam dalszych prac.