

Diagnostyka żelbetowej wieży antenowej o wysokości 60 m



dr hab. inż.
MAREK LECHMAN, PROF. ITB
Instytut Techniki Budowlanej
ORCID: 0000-0003-1380-2881

Przedmiotem artykułu jest wieża antenowa o wysokości 60 m zaprojektowana w konstrukcji żelbetowej prefabrykowanej. W trakcie eksploatacji żelbetowy trzon wieży uległ zarysowaniom i spękaniom o różnym charakterze, co stanowiło bezpośredni asumpt do zbadania przyczyn ich powstania oraz określenia sposobu naprawy.

W ostatnich 20 latach nastąpił dynamiczny rozwój infrastruktury związanej z budową i eksploatacją stacji bazowych telefonii komórkowej. Jednym z rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych w tym zakresie są maszty antenowe zaprojektowane w konstrukcji żelbetowej prefabrykowanej [1]. Przedmiotem artykułu jest wieża antenowa o wysokości 60 m zaprojektowana w tej konstrukcji, składająca się z 5 segmentów rurowych wykonanych w technologii betonu wirowanego klasy wytrzymałości C45/55 (fot. 1). Połączenia segmentów zaprojektowano w postaci specjalnych łączników, składających się z płyt stalowych skręcanych na śruby (fot. 2). Elementy rurowe są zbrojone w kierunku pionowym prętami o średnicy \varnothing 28 ze stali BSt 500/550 S oraz obwodowo dwoma przeciwległymi spiralami

o skoku 10 cm z prętów o średnicy \varnothing 5. Średnica zewnętrzna wieży w poziomie terenu wynosi 1,75 m, a grubość ścianki żelbetowej 14 cm; w poziomie wierzchołka odpowiednio 0,64 m i 8 cm. W trakcie eksploatacji żelbetowy trzon wieży uległ zarysowaniom i spękaniom o różnym charakterze, co stanowiło bezpośredni asumpt do zbadania przyczyn ich powstania oraz określenia sposobu naprawy.

Badania diagnostyczne wieży

Badania techniczne wieży przeprowadzono w zakresie obejmującym oględziny i rejestrację rys, spękań trzonu, kontrolne pomiary sklerometryczne wytrzymałości betonu i grubości otuliny zbrojenia oraz ocenę stanu łączników segmentów w poziomach +16 m, +24 m i +36 m. Oględzin zewnętrznej powierzchni

żelbetowego płaszczka wieży dokonano przy użyciu podnośnika samochodowego i z poziomu terenu. Zasadnicze uszkodzenia zewnętrznej płaszczka żelbetowego wieży występowały w postaci krótkich rys pionowych o rozwarości 0,1 mm–0,4 mm, zlokalizowanych w strefach połączeń segmentów żelbetowych, oraz rys poziomych (fot. 3). Ponadto, głównie w dolnej części wieży, stwierdzono występowanie nieregularnej siatki mikro-rys powierzchniowych (fot. 4).

Powłoka ochronna płaszczka zewnętrznej wieży, poza opisanymi wyżej zarysowaniami, nie wykazywała uszkodzeń. Na wewnętrznej powierzchni płaszczka wieży zaobserwowano objawy złuszczenia i ubytków powierzchniowych betonu, o czym świadczyły odspojone części widoczne na posadzce



Fot. 1. Widok ogólny wieży



Fot. 2. Szczegół złącza prefabrykatów

w poziomie terenu (fot. 4.). Ocena wytrzymałości betonu w żelbetowej powłoce wieży przeprowadzono na podstawie kontrolnych pomiarów sklerometrycznych za pomocą młotka Schmidta typu N, zgodnie z normą PN-EN 12504-2:2002 [2]. Przy użyciu profometru (metoda magnetyczna) sprawdzono grubość otuliny betonowej prętów zbrojenia pionowego w dolnym elemencie wieży. Uzyskane wyniki były zawarte w przedziale 2,6 cm ± 4,0 cm (wartość średnia: 3,3 cm). Poprzez natryskanie fenoloftaleiny w miejscu nacięcia rys pionowych stwierdzono alkaliczny odczyn betonu, świadczący o jego dobrych własnościach ochronnych w stosunku do stali zbrojeniowej (fot. 5.). Po zdjęciu kołnierzy z blachy w poziomie +16,0 m, +24 m i +36 m dokonano oceny stanu płyt stalowych i śrub łączników. W przypadku złączy w poziomie +16,0 m oraz +24 m stwierdzono objawy korozji oraz występowanie wykwitów solnych na płytach stalowych (fot. 2.). Objawów takich nie zaobserwowano w odniesieniu do złącza w poziomie +24 m.

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

W celu oceny bezpieczeństwa konstrukcji wieży przeprowadzono jej analizę wytrzymałościową, przyjmując dane geometryczne na podstawie dokumentacji technicznej oraz klasę betonu trzonu C45/55 (B55). Przy wyznaczaniu sił podłużnych w przekrojach wieży uwzględniono ciężar własny trzonu, ciężary anten, drabin, kabli, pomostów i konstrukcji wsporczych anten. Elementy te uwzględniono również przy zestawianiu wartości momentów zginających od oddziaływania wiatru (III strefa). Dodatkowo uwzględniono wpływ wychylenia trwałego i sprężystego osi wieży. Wyniki obliczeń wskazują, iż wychylenie sprężyste wierzchołka wieży, równe 57,5 cm, nie przekracza wartości dopuszczalnej dla tego typu wież $h/100 = 60$ cm. Z uwagi na małe wartości gradientu temperatury na grubości ścianki segmentów wieży w przedstawionej analizie pominięto wpływy termiczne. Odształcenia i naprężenia w tzw. krytycznych przekrojach wieży wyznaczono numerycznie na podstawie autorskiego programu, z uwzględnieniem nieliniowych związków fizycznych betonu i stali zbrojeniowej według Eurokodu 2 [4]. W tabeli 1. zestawiono wartości sił przekrojowych N, M, wartości maksymalnych odształceń ϵ_c i naprężeń σ_c w betonie oraz maksymalnych odształceń ϵ_s i naprężeń σ_s w stali zbrojeniowej.

Z rezultatów obliczeń wynika, że spełnione są wymogi wytrzymałościowe dotyczące nośności przekrojów poziomych elementów żelbetowych wież. Wykonane sprawdzenie według Eurokodu 3 potwierdziło, że również nośność złączy jest wystarczająca. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdza się zatem, że w aktualnym stanie nie



Fot. 3. Rysy pionowe i poziome w strefie złącza



Fot. 4. Mikrorysy w dolnej części wieży

Tabela 1. Zestawienie wyników obliczeń odształceń i naprężeń w przekrojach wieży

Poziom [m]	Siła podłużna N [kN]	Moment zginający M [kNm]	ϵ_c [‰]	σ_c [MPa]	ϵ_s [‰]	σ_s [MPa]
0,0	4434	618	-0,496	-13,0	0,912	191,5
16,0	2519	382	-0,48	-12,7	0,871	182,9
24,0	1740	289	-0,413	-11,1	0,697	146,3
36,0	842	186	-0,359	-9,8	0,581	122,0
52,5	88	61	-0,075	-2,2	0,091	19,1

wartości dopuszczalne: $\sigma_{cdop} = 30$ MPa; $\sigma_{sdop} = 435$ MPa;

występuje bezpośrednie zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji i użytkowania rozpatrywanej wieży.

Analiza stanu technicznego

Według oceny dokonanej metodą sklerometryczną wytrzymałość betonu elementów wieży odpowiadała klasie C45/55 (B55) i była zgodna z projektem. Beton trzonu wieży wykazywał przy tym dobre własności ochronne w stosunku do stali zbrojeniowej. Z analizy pomiarów geodezyjnych pionowości wynika-

ło, że rzędna wychylenia trwałego wierzchołka wieży nie przekraczała 12,5 cm, co stanowi 0,2% wysokości. Wychylenie to nie stwarza zagrożenia bezpieczeństwa konstrukcji wieży.

Krótkie rysy pionowe, zlokalizowane w strefach złączy poszczególnych elementów wieży, powstały w wyniku oddziaływań zakotwień blach złączy w żelbetowych elementach rurowych. W niektórych częściach trzonu żelbetowego szerokość rozwarcia tych rys wynosi 0,3 mm – 0,4 mm, przekraczając dopuszczalną wartość 0,3 mm. Występujące ry-



Fot. 5. Badanie głębokości karbonatacji betonu

sy pionowe nie mają wpływu na nośność, natomiast mogą stwarzać zagrożenie korozyjne dla zbrojenia poziomego. Rysy poziome z kolei powstały w wyniku zginania skutującego przekroczeniem wytrzymałości betonu na rozciąganie (tabela 1.).

Główną przyczyną wystąpienia siatki mikrorys na zewnętrznej powierzchni żelbetowego trzonu, odpajania się fragmentów betonu na jego powierzchni wewnętrznej i objawów korozji śrub łączników segmentów była niedostateczna wentylacja wnętrza wieży wskutek szczelnego przykrycia (zadeklowania) jej wylotu i otworów wentylacyjnych. Ograniczenie możliwości grawitacyjnego odprowadzania wilgoci zawartej we wnętrzu powodowało jej przenikanie przez pory ścianki żelbetowej, co manifestowało się wystąpieniem charakterystycznej siatki mikrorys. Utrzymujące się zawilgocenie powierzchni wewnętrznej wieży sprawiło, że warstwa powierzchniowa była poddana destrukcyjnemu działaniu wielokrotnych cykli zamrażania-odmrażania w okresie zimowym, czego objawem są złuszczenia i odsłojenia betonu. W celu poprawy wentylacji wnętrza wieży zalecono wykonanie trzech otworów $\varnothing 80$ [mm] usytuowanych na jednym poziomie w części podgłowicowej żelbetowego trzonu wieży. Zgodnie z zaleceniami zarysowane strefy złączy segmentów żelbetowych wieży zabezpieczono za pomocą przyklejanych mat z włókna węglowego w pasie o szerokości 60 cm bezpośrednio nad oraz o szerokości 30 cm bezpośrednio pod każdym kotłownikiem z blachy (fot. 6.).

Uwagi końcowe

Zgodnie z przepisami prawa budowlanego konstrukcje wież antenowych powinny spełniać warunki zapewniające nieprzekroczenie



Fot. 6. Zabezpieczenie zarysowanej strefy elementów wieży za pomocą przyklejanych mat z włókna węglowego

stanów granicznych nośności oraz stanów granicznych przydatności do użytkowania w żadnym z jej elementów i w całej konstrukcji. Na podstawie wyników obliczeń statyczno-wytrzymałościowych według Eurokodów stwierdzono, że rozpatrywana wieża spełniała wymogi bezpieczeństwa konstrukcji. Spełnione były również wymagania w zakresie użytkowości, dotyczące ugięć oraz szerokości rozwarcia rys pionowych (poza niewielkim lokalnym przekroczeniem). Zapewnienie bezpieczeństwa użytkowania wież antenowych wymaga przeprowadzania przeglądów technicznych nie rzadziej niż co 5 lat, wykonywania bieżących napraw i utrzymania w dobrym stanie zabezpieczeń antykorozyjnych elementów nośnych i niekonstrukcyjnych.

Literatura

- [1] M. Lechman, 2018, Bezpieczeństwo użytkowania żelbetowych wież telekomunikacyjnych. Materiały Budowlane, nr 4, s. 94-95.
- [2] PN-EN 12504-2:2002/Ap1:04 Badania betonu w konstrukcjach. Część 2. Badanie nieniszczące. Oznaczenie liczby odbicia.
- [3] PN-EN 1991-1-4: 2008 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4. Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru.
- [4] PN-EN 1992-1-1: 2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [5] PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

DOI: 10.5604/01.3001.0013.9710

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
 Lechman Marek, Diagnostyka żelbetowej wieży antenowej o wysokości 60 m, „Builder” 04 (273). DOI: 10.5604/01.3001.0013.9710

Streszczenie: Przedmiotem artykułu jest wieża antenowa o wysokości 60 m zaprojektowana w konstrukcji żelbetowej prefabrykowanej, składająca się z 5 segmentów rurowych wykonanych w technologii betonu wirowanego.

Połączenia segmentów zaprojektowano w postaci specjalnych łączników, składających się z płyt stalowych skręcanych na śruby. W trakcie eksploatacji żelbetowy trzon wieży uległ zarysowaniom i spękaniom o różnym charakterze, co stanowiło bezpośredni asumpt do zbadania przyczyn ich powstania oraz określenia sposobu naprawy. Celowi temu służyły przeprowadzone badania diagnostyczne oraz obliczenia statyczno-wytrzymałościowe konstrukcji wieży, z uwzględnieniem oddziaływania wiatru według Eurokodu 1. oraz nieliniowości fizycznej betonu i stali zbrojeniowej. Na podstawie otrzymanych wyników określono stan techniczny wieży oraz podano sposoby wyeliminowania występujących uszkodzeń i nieprawidłowości.

Słowa kluczowe: wieża antenowa, żelbetowa, prefabrykowana, łączniki, diagnostyka

Abstract: The subject of this paper is a reinforced concrete (RC) antenna tower 60 m high consisted of 5 tubular segments made of spun concrete. The connections between segments were designed in the form of special joints consisted of steel plates fixed by screws. The reason for undertaking this issue was the occurrence of cracks on the external surface of the tower shaft. For this purpose the relevant investigations and static analysis of the tower structure have been performed in accordance with Eurocode 1 and by taking into account the physical nonlinearity of concrete and reinforcing steel. Based on the obtained results the diagnosis of tower structure and recommendations for its repair and protection were made.

Keywords: antenna tower, reinforced concrete, precast, joints, diagnostics