

BUILDER
FOR THE
FUTURE

BUILDER
FOR THE
YOUNG
ENGINEERS

W ramach realizowanego przez miesięcznik „Builder” programu „Wspieramy młodych inżynierów budownictwa” dajemy możliwość pierwszych publikacji naukowych młodym doktorantom.



inż. Jan Stępniewski, Izabela Dmowska
Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki
Warszawska



Opiekun naukowy:
dr inż. Maciej Cwyl
Instytut Inżynierii Budowlanej
Politechniki Warszawskiej

Tego typu konstrukcje są szczególnie narażone na działanie czynników atmosferycznych przyspieszających erozję, co jest widoczne w starszych obiektach. Celem wykonywania opinii technicznych bądź ekspertyz jest określenie bezpieczeństwa dalszego eksploataowania konstrukcji na podstawie stopnia jej wyętwienia oraz projektowanie ewentualnych wzmocnień, które pozwolą na dalsze użytkowanie pomimo zwiększenia obciążenia, np. poprzez zamontowanie dodatkowych anten. Artykuł powstał na podstawie opinii technicznej sporządzonej dla stalowego obiektu mierzącego 23 m i posadowionego na wieży żelbetowej o wysokości 63 m (rys. 1.).

Cel wykonania opinii technicznej

Opinia techniczna służy do oceny, na podstawie oględzin oraz dostępnej dokumentacji projektowej, stanu budynku istniejącego. Niniejsze opracowanie wykonywane jest okresowo, często też w przypadku planowanej modernizacji lub zmiany sposobu użytkowania obiektu. Wykonanie opinii zleca się

Podczas rutynowych przeglądów konstrukcji wieży sprawdzeniu podlegają podstawowe elementy nośne obiektu pod względem wyętwienia, deformacji, stopnia skorodowania oraz stanu poszczególnych połączeń.

KONSTRUKCJE WIEŻOWE

Dla zapewnienia bezpieczeństwa eksploatacyjnego obiekty wieżowe muszą podlegać okresowym przeglądom. Przypominamy, jak dokonać rzetelnej opinii technicznej, a także przywołujemy algorytm obliczeń konstrukcji wieżowych, które znajdują się na innych obiektach.

także w przypadku zaobserwowania niepokojących zmian w konstrukcji budynku. Obiekty wieżowe, o których mowa w niniejszym artykule, muszą podlegać okresowym przeglądom zgodnie z art. 62 ust. 1 ustawy Prawo budowlane – wynika to z obowiązku corocznego sprawdzenia stanu technicznego elementów budynku, budowli z powodu szczególnie niekorzystnego działania czynników atmosferycznych na konstrukcję oraz zmianę konfiguracji anten. W celu dokładnej oceny stanu technicznego została wykonana inwentaryzacja obiektu służąca zweryfikowaniu posiadanych o nim informacji. W trakcie prowadzonych oględzin wykonano prace inwentaryzacyjne w zakresie zamontowanych na wieży anten oraz osprzętu. Sprawdzono podstawowe elementy konstrukcyjne pod względem zgodności kształtowników oraz dokonano oględzin związanych z występującymi na obiekcie uszkodzeniami elementów oraz powłok antykorozyjnych. Ocenie poddano stan węzłów, połączeń śrubowych i spoin. Niezbędny do określenia stopnia korozji okazał się pomiar grubości ścianek elementów stalowych przy pomocy urządzenia ultradźwiękowego typu MC-812T z głowicą pomiarową 5MØ10 mm. Celem opracowania było orzeczenie techniczne stwierdzające stopień wyętwienia konstrukcji wieży oraz sformułowanie wniosków. W przeprowadzonej analizie obliczeniowej wykonanej w ramach niniejszej opinii uwzględniono obciążenie trzonu wieży istniejącymi antenami według inwentaryzacji oraz obciążenie wynikające z planowanego montażu dodatkowych urządzeń.

Analiza statyczna, obciążenia

W przypadku istniejących obiektów wieżowych wyróżnia się dwa sposoby podejścia do zagadnienia wykonywania analizy statycznej. Wykonując ekspertyzy, opinie techniczne mające na celu sprawdzenie stanu obiektu, analizę należy przeprowadzić, korzystając z norm, przy pomocy których zaprojektowano daną konstrukcję. Natomiast w przypadku przebudowywania lub wzmocniania obiektu konieczne jest sprawdzenie nośności zgodnie z normami aktualnie obowiązującymi. Warto w tym miejscu podkreślić dobrowolność stosowania norm projektowych – konieczność ich stosowania nie jest uregulowana prawnie.

Najważniejszą czynnością podczas przygotowania do wykonywania analizy statycznej każdej konstrukcji jest prawidłowe określenie oddziaływujących na nią obciążeń. Dla obiektu przytoczonego w artykule najważniejsze jest obciążenie wiatrem, które w tego typu konstrukcji jest dominujące. Podczas obliczania wartości oddziaływań kluczowym elementem jest określenie prawidłowej wysokości odniesienia i zastosowanie jej do odpowiednich wzorów zawartych w Eurokodzie [1]. Szczególne znaczenie ma to w przypadku wież usytuowanych na innych obiektach.

W takich konstrukcjach niekiedy należy uwzględnić wysokość samej wieży, w innych miejscach natomiast zastosować wysokość wieży wraz z wysokością budynku, na którym się znajduje. Dla zobrazowania tej sytuacji posłużono się sposobem obliczania wartości szczytowej prędkości wiatru

zgodnie z poniższym wzorem zawartym w normie [1].

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (1)$$

Przyjęcie do obliczeń jedynie wysokości wieży, w przypadku obiektów posadowionych na innych konstrukcjach, może prowadzić do znacznego zaniżenia obliczanej wartości, a w konsekwencji do błędnego określenia parcia wiatru.

Obliczając wartość współczynnika konstrukcyjnego c_s, c_d , należy zapoznać się z rysunkiem 2. zawartym w [1]. W tym miejscu Eurokod wyraźnie rozróżnia wysokość konstrukcji od wysokości odniesienia (uwzględniającej wpływ wielkości obiektu, na którym znajduje się wieża). W przypadku konstrukcji posadowionych na innych obiektach przyjęcie jako h odległości od poziomu terenu do wierzchołka wieży będzie powodowało pewien błąd skutkujący niewłaściwym określeniem siły oddziaływania wiatru.

Wypadkowe obciążenie wiatrem może przyjmować różne wartości, w zależności od kształtu konstrukcji w przekroju. Rozpatrując wieże kwadratowe, uwzględnia się dwa, natomiast w przypadku przekroju trójkątnego – trzy kierunki oddziaływania wiatru. Ponadto od kształtu konstrukcji zależą również wartości współczynników przyjmowanych do obliczenia siły wiatru oddziałującej na ścianę.

Wykonując obliczenia dla obiektów wieżowych, należy również pamiętać o znacznym wpływie kształtu elementów konstrukcji oraz wyposażenia na wartość oddziaływań wiatru. W normie [2] jest on określony poprzez zróżnicowanie wartości współczynników $C1, C2$.

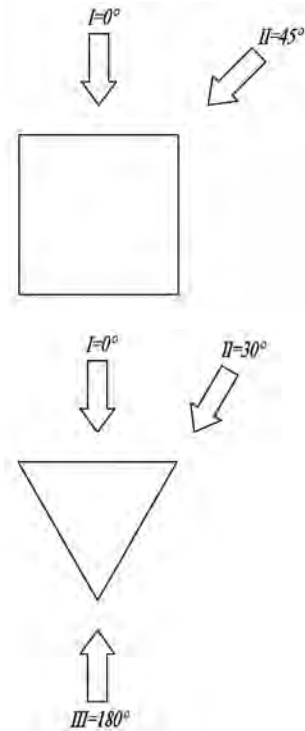
Kolejnym obciążeniem, które należy uwzględnić w analizie statycznej, jest oblodzenie. Oblicza się je zgodnie z polską normą [3]. Oblodzenie działa na konstrukcję w dwojaki sposób: zwiększa jej ciężar, a także powierzchnię, na którą działa wiatr. Wartość tego obciążenia zależy od wysokości konstrukcji, kształtu jej elementów oraz strefy, w której znajduje się obiekt. Oblodzenie może w znacznym stopniu wpływać na siłę parcia wiatru. Innymi obciążeniami, mającymi już jednak mniejszy wpływ na konstrukcję, są: obciążenia ciężarem własnym oraz wyposażeniem, obciążenia użytkowe, obciążenia śniegiem oraz obciążenia termiczne.

Analiza statyczna obiektu

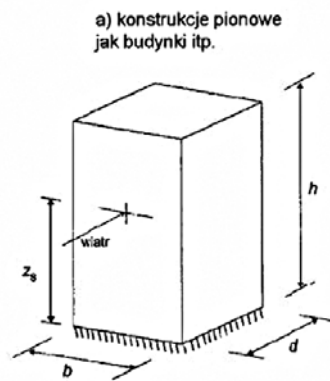
W omawianym obiekcie uwzględniono wpływ wszystkich najistotniejszych obciążeń działających na konstrukcję, a mianowicie: ciężar własny wieży z wyposażeniem, antenami i przewodami; parcie wiatru na nieoblodzoną wieżę z wyposażeniem, antenami i przewodami; ciężar oblodzenia na elementach konstrukcyjnych; parcie wiatru na oblodzoną wieżę z wyposażeniem, antenami i przewodami; obciążenie użytkowe pomo-



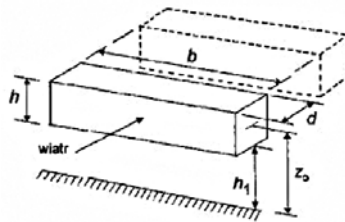
Rys. 1. Konstrukcja wieży stalowej posadowiona na wieży żelbetowej



Rys. 3. Normowe kierunki wiatru [2]



b) oscylator równoległy, tj. konstrukcje poziome jak belka itp. Diagram przedstawia prostokątny obiekt o wysokości h, szerokości b i d, osadzony na podporze o wysokości h_1. Wiatr działa na powierzchnię z_s.



Rys. 2. Wymiary konstrukcji (b, h, d) oraz wysokość odniesienia (z_s)

Rys. 2. Wymiary konstrukcji (b, h, d) oraz wysokość odniesienia (z_s)



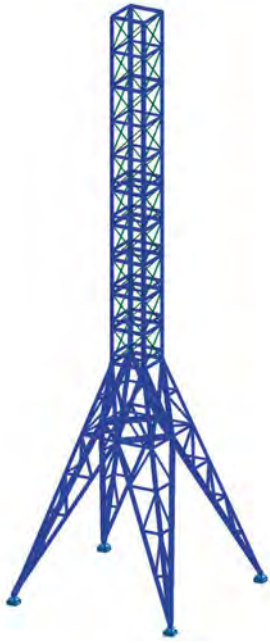
Rys. 4. Korozja wgłębna spowodowała odprysk farby



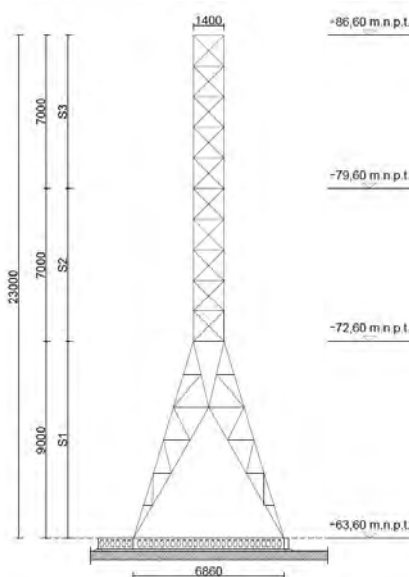
Rys. 5. Wada spoiny z uwagi na brak pełnego przetopu



Rys. 6. Element, który ma uszkodzoną przerwę przewiązkę



Rys. 7. Widok wykratowania wieży



Rys. 8. Schemat wieży z podziałem na segmenty

stów. Wartości obciążeń użytkowych zostały przyjęte zgodnie z normą [2].

W obliczeniach pominięto oblodzenie na elementach wyposażenia, obciążenie temperaturą oraz śniegiem. Przeanalizowano ich wartości i uznano, że nie będą miały istotnego wpływu na nośność ustroju prętowego.

Po oględzinach konstrukcji stwierdzono, że stan powłoki antykorozyjnej jest niezadowalający. Występuje wiele zapoczątkowanych ognisk korozyjnych, co jest szczególnie niebezpieczne dla takich konstrukcji. Wyniki oględzin pokazano na rys. 4–6.

Na rysunku 6. widoczna jest źle wykonana (z uwagi na brak pełnego przetopu) spoina, co skutkuje nieosiągnięciem jej pełnej nośności.

Stwierdzono braki połączeń elementów wielogązgowych trzonu konstrukcji podstawowej wieży. Skutkuje to zwiększeniem dłu-

gości wyobczeniowej prętów i niedoborami nośności ze względu na stateczność ogólną pręta wielogązgowego.

Model obliczeniowy

Wieżę zamodelowano jako konstrukcję kratową, podpartą przegubowo (rys. 7.). Ze względu na dużą smukłość przyjęto, że pręty skratowania pracują jedynie na rozciąganie i łączą się z krawężnikami za pomocą węzła przegubowego. Połączenia pomiędzy prętami krawężników uznano za sztywne. Do analizy wykorzystano oprogramowanie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2013 przeznaczone do zastosowań komercyjnych z licencją posiadaną przez Zespół Konstrukcji Metalowych Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej.

W modelu obliczeniowym obciążenia wiatrem przykładano punktowo, rozkładając równomiernie obciążenia przypadające na poszczególne segmenty (rys. 8.). Obciążenia od wyposażenia rozłożono na odpowiednią ilość węzłów wynikającą ze sposobu jego zamontowania do konstrukcji nośnej wieży.

Wyniki

W wyniku przeprowadzonych obliczeń pod obciążeniem obecną konfiguracją anten oraz modułów nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych wyteżeń elementów konstrukcji wieży. Maksymalne wykorzystanie nośności obciążonego elementu w stanie SGN dla obecnej konfiguracji anten, wynoszące 58%, stwierdzono dla krawężnika, a dla elementu skratowania utrzymywało się ono na poziomie 86%. Sprawdzone nośność połączeń spawanych pomiędzy prętami skratowania a krawężnikami. Stwierdzono, iż jest ona wystarczająca we wszystkich skratowaniach na całej wysokości wieży.

W stanie granicznym użyteczności porównano maksymalne wychylenie wierzchołka wieży z warunkami normowymi. Warunek został spełniony. Maksymalne obliczeniowe wychylenie wierzchołka wieży – $8,6 \text{ cm} < \frac{H_{gr}}{100} = 23 \text{ cm}$. W przypadku anten zamontowanych na wieży trzeba też sprawdzić kąty obrotu w miejscach ich zamontowania, a dopuszczalne wartości tych przemieszczeń kątowych podaje ich użytkownik. Dość często te wartości wynoszą ok. $0,3\text{--}1^\circ$.

Obliczenie współczynnika dynamicznego wymaga określenia okresu drgań własnych wieży. W tym celu wyznacza się podstawową częstość drgań własnych zgodnie ze wzorem (2) zawartym w załączniku F normy [1]. Dla omawianego obiektu jej wartość wynosi 1,73 Hz, pomijając wpływ samej żelbetowej wieży, na której zamocowana jest wieża stalowa.

$$n_1 = \frac{\varepsilon_1 \cdot b}{h_{eff}^2} \cdot \sqrt{\frac{W_s}{W_t}} \quad (2)$$

Współczynnik konstrukcyjny $c_s c_d$ pozwolił w niewielkim stopniu zredukować wartość

oddziaływania wiatru na konstrukcję. Zarówno oblodzenie, jak i wysokość położenia segmentu miały niewielki wpływ na wartość współczynnika c_{scd} .

Analiza wartości obciążeń wskazuje na to, jak istotne jest prawidłowe określenie obciążeń działających na elementy wyposażenia (szczególnie duże anteny), gdyż może ono stanowić, tak jak w przypadku segmentu 3, większą część całkowitych wartości oddziaływań. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, iż grubość warstwy lodu na poszczególnych segmentach, mimo wzrostu wysokości, jest niemal identyczna.

Podsumowanie i wnioski

W przypadku wież stalowych wiatr, który działa na wyposażenie, jest obciążeniem dominującym. Mimo redukcji odpowiednimi współczynnikami wartości parcia wiatru podczas wystąpienia oblodzenia nie powinno się pomijać jego wpływu na elementy konstrukcyjne, gdyż może to powodować niedoszacowanie wartości sił oddziałujących na konstrukcję. Rozpatrując wieże stalowe posadzone na innych obiektach, należy mieć na uwadze przyjmowanie odpowiedniej wartości wysokości odniesienia przy przeprowadzaniu obliczeń. Poprawny dobór wysokości ma kluczowe znaczenie w przypadku określania szczytowej wartości ciśnienia prędkości wiatru, częstotliwości drgań własnych, współczynnika konstrukcyjnego $c_s c_d$ i w konsekwencji siły oddziaływania wiatru na konstrukcję. ■

Bibliografia

- [1] PN-EN 1991-1-4:2008 Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru.
- [2] PN-EN 1993-3-1 Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 3-1: Wieże, maszty i kominy. Wieże i maszty.
- [3] PN-87/B-02013:1987 Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne środowiskowe. Obciążenie oblodzeniem.
- [4] K. Rykaluk, Konstrukcje stalowe. Kominy, wieże, maszty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
- [5] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. Nr 106 z 2000 r., poz. 1126 z późniejszymi zmianami).

ABSTRACT: THE TOWER CONSTRUCTION. The purpose of the article is to present the subject matter related to the assessment of the technical condition of existing tower buildings. Such structures are particularly exposed to atmospheric factors accelerating erosion. The purpose of technical opinion or expert opinion is to determinate the safety of further exploitation of the structure based on its effort and to design any reinforcements that will allow further safe use, despite increasing loads, e.g. by installing additional antennas.

Keywords: technical opinion, tower, construction