

dr inż. Jacek Dudkiewicz<sup>1)</sup>  
ORCID: 0000-0002-5773-8018

# Rekonstrukcja stalowych iglic budynku zabytkowego po ich awarii

*Reconstruction of the steel spirals of the historical building after their failure*

DOI: 10.15199/33.2022.11.23

**Streszczenie.** W wyniku działającego silnego wiatru spowodowanego orkanem oraz bardzo złego stanu technicznego doszło do awarii stalowych iglic wieńczących zabytkowe kopuły budynku teatru. Po przeprowadzonej inwentaryzacji oraz analizie statyczno-wytrzymałościowej ponadstuletniej konstrukcji wsporczej, bazującej m.in. na badaniach spektrometrycznych i twardości, określono rzeczywisty stopień wyęźnienia elementów konstrukcyjnych oraz ich ubytki korozyjne. W artykule przedstawiono zaprojektowane i zastosowane rozwiązanie konstrukcyjne, które pozwoliło odtworzyć konstrukcję iglic, z zachowaniem ich walorów konserwatorskich, a także poprawne przekazanie obciążeń na nośne elementy konstrukcyjne wież budynku za pośrednictwem wewnętrznej konstrukcji wsporczej. Przedstawione rozwiązania konstrukcyjne dopasowane były również do technologicznych możliwości wykonania rekonstrukcji z użyciem technik alpinistycznych, biorąc pod uwagę usytuowanie obiektu oraz ciężar i rozmiary elementów.

**Słowa kluczowe:** rekonstrukcja; iglica; awaria; budynek zabytkowy.

**Abstract.** As a result of strong winds caused by hurricane and generally poor technical condition of steel spires, crowning the historical domes of the theatre building, caused them to break down. An inventory and the static and strength analysis of the over one hundred-year-old supporting structure, based on e.g. the actual degree of stress of structural elements and their corrosion losses were determined on the basis of spectrometric and hardness tests. This article represents the designed and applied construction solution that allowed to recreate the spire structure, preserving their conservation values, as well as the correct transfer of loads to the load-bearing structural elements of the building towers through the internal supporting structure. The presented design solutions were also adapted to the technological possibilities of performing the reconstruction with the use of mountaineering techniques, taking into account the location of the object as well as the weight and size of the elements.

**Keywords:** reconstruction; spire; failure; historic building.

W ramach prac renowacyjnych obiektów zabytkowych często przedmiotem opracowań projektowych są elementy dekoracyjno-konstrukcyjne najbardziej narażone na oddziaływania środowiskowe. Należą do nich m.in. elementy konstrukcyjne wież ryzalitowych. Jako dominanty obiektów zabytkowych, wraz z różnego typu iglicami, stanowiącymi ich górną część, są bardzo wrażliwymi elementami konstrukcji. Oddziaływania środowiskowe wywołują duże i bardzo zmienne poziomy wyęźnienia. Ponadto wpływają na ich trwałość. Takiemu oddziaływaniu, przez ponad 100 lat, podlegały wieże z iglicami stalowymi budynku teatru, będące przedmiotem artykułu. Za pośrednictwem wewnętrznej konstrukcji wsporczej przekazywano obciążenie z iglic na elementy nośne budynku. Wraz z wiekiem i przy braku odpowiedniego systemu kontroli oraz remontu elementy te uległy uszkodzeniu.

<sup>1)</sup> Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego; jacek.dudkiewicz@pwr.edu.pl

## Ogólna charakterystyka

Przedmiotowe iglice stanowią zwieńczenie wież ryzalitowych od strony ewacji frontowej budynku teatru. Konstrukcję wież można podzielić na dwie części. Pierwsza z nich – górna, to iglica stalowa, natomiast druga – zasadnicza konstrukcja wież, wykonana jest jako sklepienie betonowe wraz z wewnętrzną konstrukcją wsporczą iglic. **Konstrukcja iglic stalowych** z miedzianymi elementami dekoracyjnymi na obu końcach iglic oraz pośrednimi pierścieniami maskującymi styki montażowe odcinków rur iglic była zakotwiona za pomocą specjalnej, stalowej konstrukcji wsporczej, wspartej za pośrednictwem stalowego rusztu dolnego stropu technicznego na ścianach murowanych wież. **Konstrukcja wsporcza** składa się, w górnej części, z narożnych elementów teowych, podpierających bocznie i podtrzymujących rurę iglicy. W tzw. zworniku znajduje się podparcie za pomocą śrub z konstrukcją rur iglicy (fotografia 1). Do rury iglicy, w dolnej części, dostawione są bocznie dwa kształtowniki, do których podwieszono ciężarek betonowy utrzymujący iglicę w równowadze. Dodatkowo

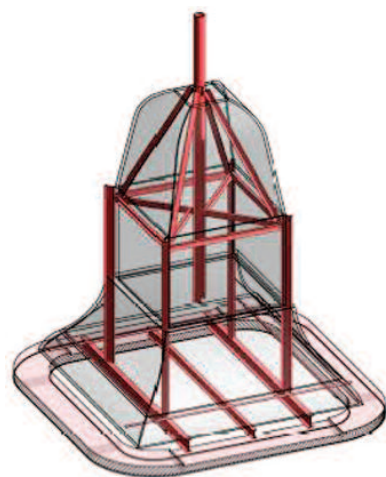
dwuteowniki są zabezpieczone w dolnej części przed nadmiernymi przesunięciami poziomymi w postaci dodatkowej stalowej przepony. To dość oryginalne rozwiązanie zapewniało stateczność samej iglicy oraz ograniczało przemieszczenia. Szczegóły konstrukcji pokazano na rysunku inwentaryzacyjnym, wykonanym z użyciem technik skanu 3D (rysunek 1).

## Stan techniczny iglic

Uszkodzenia i nieprawidłowości w konstrukcji wież wystąpiły na skutek długoletniej, intensywnej eksploatacji obiektu i pogarszającego się z biegiem lat stanu technicznego, spowodowanego m.in. nieszczelnością w górnych węzłach konstrukcyjnych, silną korozją stalowych elementów zewnętrznych oraz elementów wewnętrznych. Brak kontroli grubości powłok rur oraz stanu powłok malarskich, a także brak przeglądów technicznych, to pośrednie przyczyny zaistniałej sytuacji awaryjnej. Na fotografii 2 przedstawiono bardzo zły stan techniczny zwornika podtrzymującego rurę iglicy.



Fot. 1. Górny węzeł oraz konstrukcja podtrzymująca iglice  
Photo 1. Top knot and needle support structure



Rys. 1. Istniejąca konstrukcja wieży  
Fig. 1. Existing tower structure

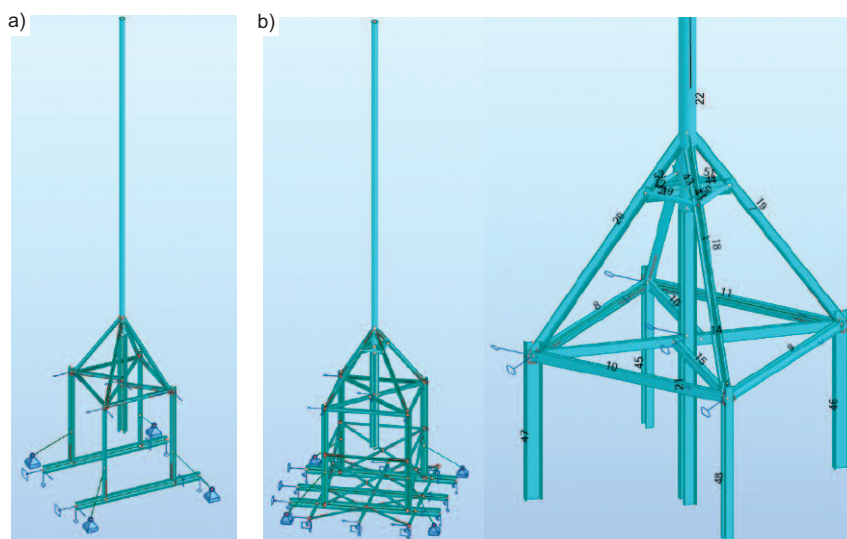


Fot. 2. Silna korozja zwornika górnego  
Photo 2. Strong corrosion of the upper keystone

Stan techniczny konstrukcji wsporczej określono jako średni do nieodpowiedniego, a stan stropu technicznego jako średni. Konstrukcja stalowa, jak na stuletnią historię, nie wykazywała silnych imperfekcji geometrycznych. Stan techniczny rur iglic uznano za zły. W przypadku jednej z nich wystąpiła lokalna katastrofa elementu kon-

strukcyjnego (pęknięcie rury iglicy). W miejscu pęknięcia iglicy stwierdzono bardzo silne ubytki korozyjne, które spowodowane przez dynamiczny charakter oddziaływania wiatru były przyczyną zaistniałej sytuacji. Na zły stan techniczny iglic miała również wpływ silna korozja łączników oraz elementów montażowych w stykach poszczególnych elementów.

W przedmiotowych wieżach mieliśmy do czynienia z wystąpieniem stanu awaryjnego jednej z iglic oraz awarii drugiej w wyniku silnego wiatru w 2017 r., spowodowanego orkanem „Grzegorz”, a przede wszystkim dynamicznego charakteru działania wiatru oraz małej sztywności przestrzennej konstrukcji wsporczych.



Rys. 2. Wsporcza konstrukcja wraz z iglicą: a) stan istniejący; b) stan ze wzmocnieniami  
Fig. 2. Supporting structure with the spire: a) the existing condition; b) the condition with reinforcements

### Analizy statyczno-wytrzymałościowe

W związku z tym, że nie było możliwości pobrania dużych próbek materiałowych przedmiotowej konstrukcji do badań niszczących na rozciąganie (statycznej próby rozciągania), parametry wytrzymałościowe stali określono w sposób pośredni na podstawie nieniszczących pomiarów twardości Brinella, wykonanych bezpośrednio na elementach konstrukcyjnych oraz badań archiwalnych, bazując na pracach [2 ÷ 4]. Określono następujące parametry wytrzymałościowe elementów stalowej konstrukcji wsporczej wież:

$$R_{e,min} = f_y = 214 \text{ MPa}, R_{m,min} = f_u = 297 \text{ MPa}, f_d = 186 \text{ MPa}$$

Stal zastosowaną na konstrukcję wsporczą wieży uznano za niespawalną (odpowiada parametrom stali St0S wg oznaczeń normy PN-90-03200). Analizę statyczno-wytrzymałościową wykonano w przypadku dwóch sytuacji. Pierwsza z nich to stan istniejący – bez wzmocnień (rysunek 2), natomiast druga to stan z uwzględnieniem zaproponowanych, koniecznych wzmocnień, pozwalających na spełnienie wymagań norm. Wymiarowanie konstrukcji stalowej wykonano na podstawie normy PN-EN 1993-1-1 [5] oraz normy kominowej PN-EN 1993-3-2 [6]. Oddziaływania klimatyczne zestawiono zgodnie z pracami [7, 8] i obowiązującymi normami. Analizę statyczną przeprowadzono w programie obliczeniowym



Autodesk Robot Structural w zakresie liniowym, przy stworzeniu modelu przestrzennego, odwzorującego konstrukcję.

Przeprowadzone obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wykazały przekroczenie stanów granicznych nośności konstrukcji iglic – rur (wyteżenie  $>1,40$ ) i użyteczności (duże przemieszczenia  $-0,24\text{ m} > y_{\text{dop}} = 0,2\text{ m}$ ) oraz niektórych elementów konstrukcji wsporczych (nawet 1,77). Przedmiotowa konstrukcja wsporcza miała bardzo małą sztywność przestrzenną.

W drugiej fazie, w obliczeniach uwzględniono wprowadzenie dodatkowych elementów konstrukcyjnych, zwiększających sztywność konstrukcji oraz nośność poszczególnych elementów konstrukcyjnych, zmniejszając wielkości przemieszczeń i deformacji lokalnych. W przypadku tej sytuacji otrzymano spełnienie wszystkich wymagań stanów granicznych – przemieszczenia nowych rur iglic mniejsze od 0,2 m, wyteżenie 0,7, a wyteżenie pozostałych elementów konstrukcyjnych poniżej 0,8.

### Prace naprawcze i rekonstrukcja iglic

W ramach prac naprawczych wprowadzono dodatkowe stężenia prętowe części konstrukcji wsporczej (w każdej ze ścian), zmieniono sposób podparcia w górnym węźle z zachowaniem istniejących elementów konstrukcyjnych (rysunek 3), wzmocniono przepone poziomą wraz z modyfikacją elementów blokujących przesuw poziomy oraz zasto-

sowano dodatkowe elementy usztywniające w poziomie stropu technicznego. Ponadto odtworzono pierwotne rozwiązanie stabilizujące z obciążeniem w postaci betonowego bloku. W miejsce istniejących iglic, które uległy awarii i demontażowi, wykonano nową konstrukcję z zachowaniem ich średnicy, ale z zastosowaniem grubszej ścianki, a także przeprowadzono komplet prac antykorozyjnych elementów wewnętrznych (system C3) oraz konstrukcji samej rury iglicy (system C4). Szczegóły opisano w [1]. Przy wykonywaniu prac wykorzystano stężenia tymczasowe wg [9, 10]. Sposób montażu nowej konstrukcji iglic pokazano na fotografii 3. Zastosowano podział rury na tzw. element króćcowy, na który nasadzono górny odcinek rury.



Fot. 3. Montaż konstrukcji iglic  
Photo 3. Installation of spire structures

### Podsumowanie

W artykule przedstawiono problematykę związaną z pracami naprawczymi konstrukcji wsporczych i samych iglic

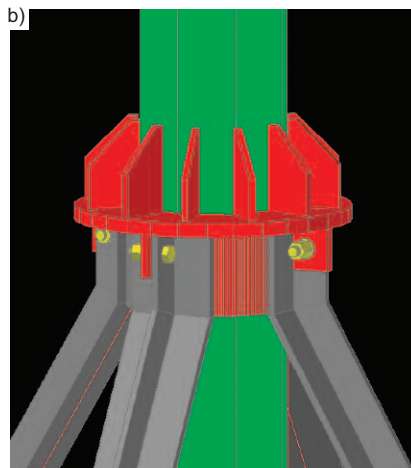
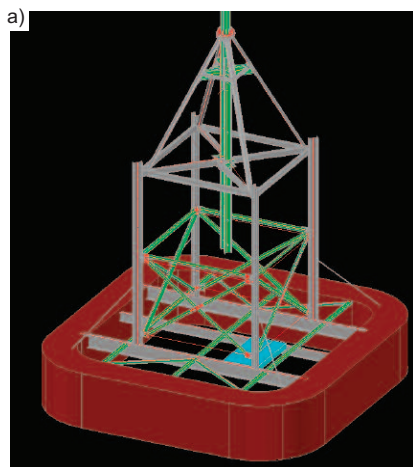
zabytkowego budynku teatru w Jeleniej Górze. Iglice ze względu na brak systematycznej kontroli i remontów oraz silny wiatr wywołany orkanem „Grzegorz” uległy awarii, które mogły spowodować niebezpieczeństwo dla ludzi.

Prace naprawcze były poprzedzone wieloma pracami wstępnymi, takimi jak inwentaryzacja, skan 3D, ekspertyza techniczna oraz projekt wykonawczy konstrukcji, który należało modyfikować w trakcie procesu budowlanego. Dzięki dużemu doświadczeniu, połączone z technikami alpinistycznymi, udało się wypracować optymalne technicznie i ekonomicznie rozwiązania konstrukcyjne, które pozwoliły na odtworzenie konstrukcji iglic bez szkody dla ich walorów zabytkowych. Zwieńczeniem zadania było zamontowanie elementów dekoracyjnych iglic wraz z tzw. dzbanami na czubkach iglic, w których umieszczono kapsuły czasu.

### Literatura

- [1] Ekspertyza, Projekt budowlany i wykonawczy renowacji iglic zabytkowych iglic wież Teatru w Jeleniej Górze, PB Stalbet Sp z o.o.
- [2] Bodarski Z, Czaplinski K. Informacje dla rzeczoznawców w zakresie spraw ogólnych oraz wybranych problemów wytrzymałości, stateczności i sztywności elementów konstrukcyjnych wykonanych z dawnych gatunków stali, a także z dawnych asortymentów drewna. CUTOB PZITB, Wrocław 1986.
- [3] Dudkiewicz J. Uogólnienia zależności między wytrzymałością a twardością lub składem budowlanych stali konstrukcyjnych. Raporty Inst. Bud. PWr. 2000, Ser. PRE; nr 44. 188 s.
- [4] Dudkiewicz J, Gosowski B, Organek P. Assessing the strength and weldability of historic structural steel – Ocena wytrzymałości i sprawności konstrukcyjnych stali historycznych. Civil and Environmental Engineering Reports. 2015, vol. 18, nr 3: 33 – 43. ISSN: 2080-5187.
- [5] PN-EN 1993-1-1 – Projektowanie konstrukcji stalowych. Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [6] PN-EN 1993-3-2 -Projektowanie konstrukcji stalowych. Wieże, maszty i kominy. Kominy.
- [7] Rykaluk K. Konstrukcje stalowe. Kominy, wieże, maszty. Oficyna Wydawnicza PWr. 2005.
- [8] Żurański J, Gaczek M. Oddziaływania klimatyczne na konstrukcje budowlane według Eurokodu 1. Komentarze z przykładami obliczeń. 2011.
- [9] Kuchta K. Stalowe stężenia tymczasowe w budynkach o konstrukcji murewej i żelbetowej. Inżynier Budownictwa. 2015. 131 (9): 64-70.
- [10] Kuchta K. Zastosowanie stalowych stężeń prętowych w renowacji i modernizacji obiektów zabytkowych. Materiały Konferencyjne. Zielona Góra, 2015.

Przyjęto do druku: 30.09.2022 r.



Rys. 3. Schemat konstrukcji z uwzględnieniem dodatkowych stężeń (a). Zmieniony sposób podparcia iglicy w górnym węźle (b)

Fig. 3. Scheme of the structure with additional bracings (a). Changed way of supporting the needle in the upper node (b)