

# Problem modelowania połączeń pomiędzy obiektami zabytkowymi a elementami nowo projektowanymi

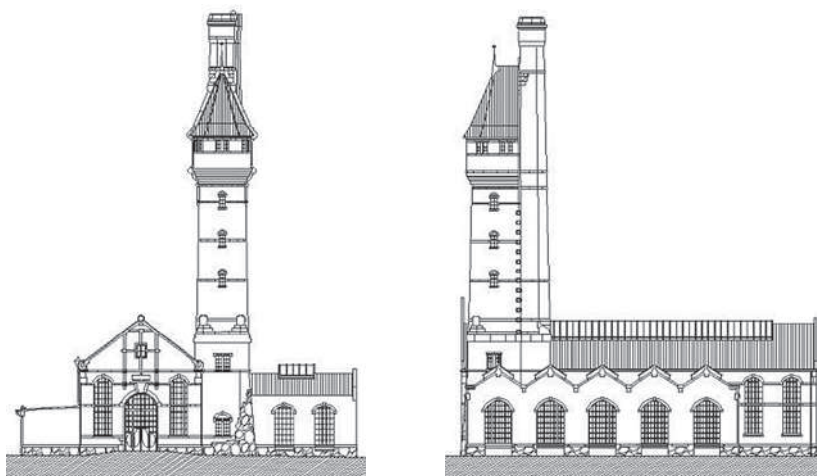
Mgr inż. Monika Zielińska, mgr inż. Karol Grębowski, Politechnika Gdańska

## 1. Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach zasób obiektów zabytkowych regularnie wzrasta. Powraca moda na wszystko co „stare”. Nowoczesna architektura w połączeniu z zabytkami daje nowe spojrzenie na przeszłość. Biorąc pod uwagę fakt, iż wszelakie obiekty budowlane przez lata pełnią swoją funkcję, ich realizacja powinna być poprzedzona dokładnymi analizami, uwzględniającymi

stopniu zmierzać do zmiany formy architektonicznej i funkcji użytkowej, a co za tym idzie do zmiany schematu statycznego konstrukcji [1, 2].

W celu zwiększenia dostępności do obiektu zabytkowego często projektuje się zewnętrzne szyby windowe lub klatki schodowe. Pozwala to na zapewnienie dróg ewakuacyjnych zgodnie z obowiązującymi przepisami, a jednocześnie może mieć bardzo duży wpływ na pracę konstrukcji samego obiektu zabytkowego. Dlatego



Rys. 1. Widok zabytkowej wieży ciśnień

lokalizację, formę architektoniczną, funkcjonalność i stopień oddziaływania na strukturę zabytku. Proces rewitalizacji zabytków może ingerować w ich formę, ale nie musi. Zazwyczaj architekci starają się nie naruszać tkanki historycznej obiektu, aby w możliwie maksymalny sposób zachować pierwotną substancję – architekturę i konstrukcję budowli. Projektanci dążą do stworzenia innowacyjnej i niekonwencjonalnej architektury, nawiązującej dialog z zabytkiem oraz jego otoczeniem. Pokazują zróżnicowane podejście do sposobu projektowania i postępowania z zabytkami. Każdy obiekt wymaga indywidualnego podejścia i warunkuje inne działania. Działania te mogą w mniejszym lub w większym

bardzo ważnym zadaniem podczas projektowania jest analiza samego elementu oparcia bądź połączenia pomiędzy nowo projektowanymi a zabytkowymi elementami konstrukcji.

W artykule przedstawiono wpływ oddziaływania nowo projektowanych konstrukcji na obiekty zabytkowe na przykładzie wieży ciśnień znajdującej się na terenie Politechniki Gdańskiej. Wykonano symulacje numeryczne modelowania połączeń oparcia oraz analizę dynamiczną połączonych ze sobą konstrukcji. Porównano oddziaływanie w zależności od sposobu oparcia konstrukcji klatki schodowej na budynek wieży [3].

## 2. Koncepcja połączenia zabytkowego budynku wieży ciśnień z nowo projektowaną klatką schodową

Wieża ciśnień to zabytkowy obiekt, należący do zespołu budynków Laboratorium Maszynowego kampusu Politechniki Gdańskiej. Budowa wieży trwała od 1900 do 1904 roku. Wysokość wieży sięga 42,5 m, a więc obiekt zaliczany jest do kategorii budynków wysokich. Utrzymana jest w stylu neorenesansu niderlandzkiego (rys. 1). Wybudowana w technologii tradycyjnej, w zasadniczej części niepodpiwniczona, z rozbudowaną częścią kominową. Na poziomie kondygnacji podziemnej są rozejścia na kanały, które łączą się z budynkiem Laboratorium Maszynowego i z częścią piwniczną budynku węzła. Cały zespół wybudowano z cegły licowej i zwieńczono dachami krytymi dachówką holenderką [4, 5].



przebudowy zabytku i pozostawia go w nienaruszonym stanie (rys. 2) [6,7].

Nowa bryła pełni funkcję gigantycznej klatki schodowej i składa się z trzech części: strefy wejściowej, strefy komunikacyjnej i strefy zwiedzania. Swoim kształtem przypomina przewrócony ostrosłup, który został podparty piramidalną strukturą, by zaakcentować strefę wejścia. Ta dynamiczna forma mieści 175 stopni schodów, w 17 biegach, o szerokości zapewniającej bezpieczną ewakuację, tj. 150 cm. Na jej szczycie znajduje się szklany taras widokowy, z którego roztacza się panorama Wrzeszcza. Połączony z południową częścią komina umożliwi wejście do zabytkowej wieży na wysokości sięgającej ponad 30 m.

Stalowy szkielet klatki schodowej składa się z kilku części. Pierwszą część stanowi prostokątna kratownica, podtrzymująca całą konstrukcję. Ma dziewięć podzia-



Rys. 2. Wizualizacja zewnętrznej klatki schodowej wraz z tarasem widokowym

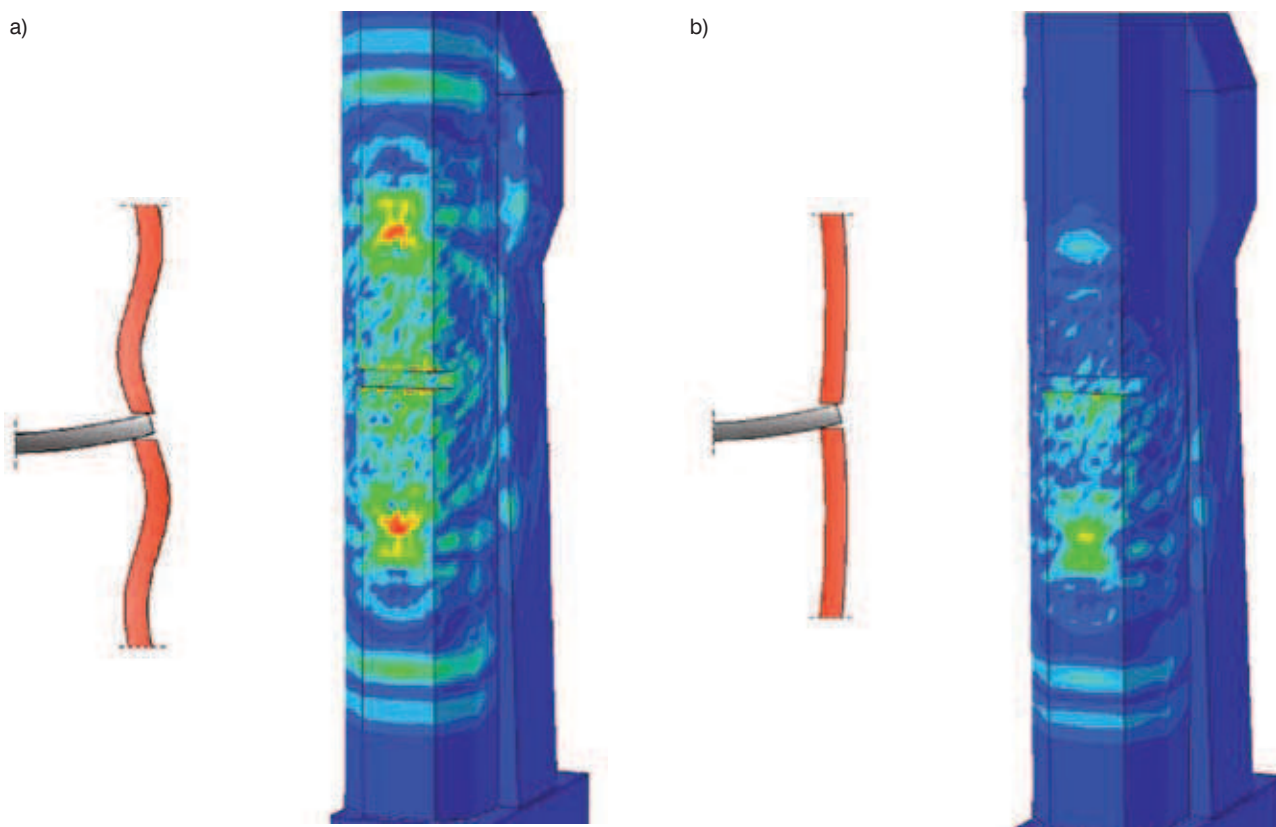
Ze względów bezpieczeństwa część budynku znajdująca się powyżej poziomu parteru jest zamknięta i nieużytkowana. W tej części znajdują się stalowe, zabiegowe schody oraz wysoka na kilka kondygnacji studnia. Schody oparte zostały częściowo na ścianach wieży, częściowo zaś na konstrukcji stalowej wykonanej z płaskowników, dwuteowników i rur stalowych. Ich szerokość wynosi 80 cm, co wyklucza mijanie się osób schodzących z góry z osobami, które chcą wejść na wieżę. Obiekt zatem nie spełnia warunków ewakuacji, a aktualny stan techniczny schodów jest podstawą do uznania przedmiotowej wieży za budynek zagrażający życiu ludzi.

Całe założenie nowo projektowanej, zewnętrznej klatki schodowej wraz z tarasem widokowym zostało zaprojektowane tak, aby zapewnić dostęp do wieży bez ingerencji w jej strukturę. To tzw. „mebel architektoniczny”, który został dostawiony do istniejącej zabudowy. Dzięki wyszukanej formie stanowi intrygujący punkt w przestrzeni, idealnie korespondując z wieżą i jej otoczeniem. Projekt jest o tyle ciekawy, że nie wymaga

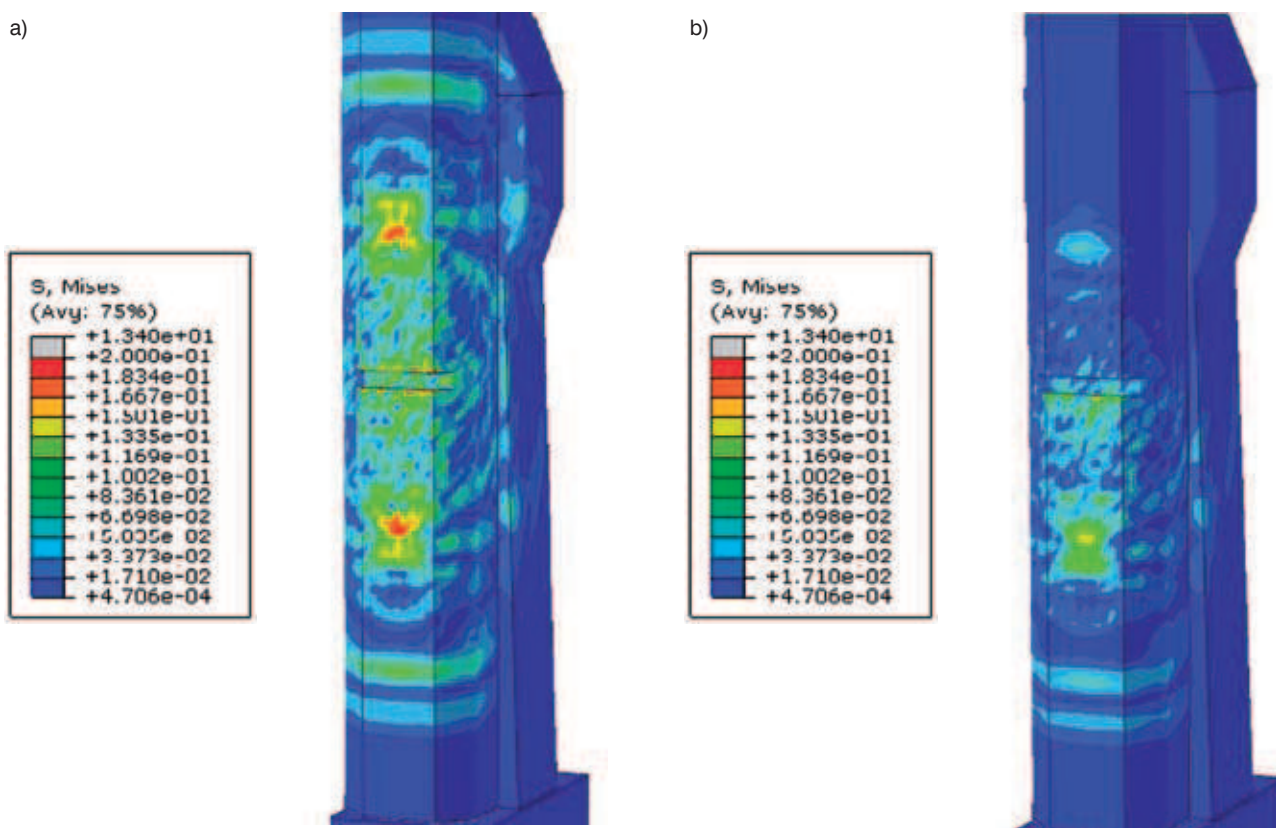
łków, w których zaprojektowano stężenia ze stalowych kształtowników. Została ona oparta na dwóch skośnych stalowych słupach, zakotwionych w ziemi. Druga, główna część to trójkątna kratownica przestrzenna, wykonana z profili dwuteowych, zakotwiona od strony wschodniej pod płytą żelbetową. Stanowi ramę do mocowania stalowych schodów i podwieszenia tarasów znajdujących się wewnątrz. Każdy ze szklanych tarasów różni się wielkością, im wyżej, tym większa powierzchnia. Trzecią część wyznacza strefa wejścia, tzw. podpora. Mieści ona pierwsze cztery biegi schodowe, zawieszony do jej pionowych ścian. Wszystkie profile, kątowniki i stężenia są wykonane z wysokiej jakości materiałów i zapewniają stabilność całej strukturze [1, 8].

## 3. Modelowanie i analiza połączenia pomiędzy elementem nowo projektowanym a elementem zabytkowym

Symulacje numeryczne modelowania połączeń zostały wykonane w programie Abaqus. W programie



**Rys. 3.** Symulacje numeryczne modelowania połączenia: a) sztywnego, b) przegubowego



**Rys. 4.** Wyniki naprężeń normalnych dla połączenia: a) sztywnego, b) przegubowego

zostały wykonane dwa typy połączeń pomiędzy konstrukcją klatki schodowej a konstrukcją zabytkowej wieży ciśnień – połączenie sztywne oraz przegubowe. Dyskretyzacji modelu, w skład którego wchodziły kamienne fundamenty, wieża oraz komin, dokonano za pomocą elementów bryłowych. Model składał się ze 100 942 elementów skończonych i 122 786 węzłów, w których zastosowano elementy bryłowe ośmiowęzłowe z pełnym całkowaniem. Przy modelowaniu konstrukcji wieży ciśnień użyte zostały przekroje zastępcze, w których przekrój ceglano-mur i kamiennych fundamentów zostały zastąpione przekrojami jednorodnymi (rys. 3) [9, 10].

Podczas analizy numerycznej zostały odczytane naprężenia w miejscu połączenia klatki schodowej z konstrukcją zabytkowej wieży ciśnień. Na podstawie tych wyników zostały sformułowane wnioski (rys. 4).

Na podstawie odczytanych wyników można zauważyć, że jakakolwiek ingerencja zewnętrzna w strukturę obiektu zabytkowego nie jest wskazana. Podczas analizy numerycznej zostały przeanalizowane dwa różne typy połączenia pomiędzy łączonymi obiektami. Połączenie przegubowe, które powoduje, że poszczególne elementy konstrukcji pracują niezależnie oraz połączenie sztywne, które powoduje, że jeden element ma bardzo duży wpływ na elementy dochodzące do niego i które wzajemnie na siebie oddziałują.

Wyniki naprężeń po przeprowadzonej analizie wynoszą odpowiednio:

- a) połączenie sztywne: 200 MPa,
- b) połączenie przegubowe: 116 MPa.

Wyniki przemieszczeń pionowych wynoszą odpowiednio:

- a) połączenie sztywne: 2,5 cm,
- b) połączenie przegubowe: 5,2 cm.

Oparcie konstrukcji o małej sztywności i niewielkiej masie negatywnie wpływa na strukturę zabytku przy zastosowaniu połączenia sztywnego. Konstrukcje nowo projektowanych schodów bądź też zewnętrznych szybów windowych należy, w miarę możliwości, projektować jako samodzielną konstrukcję, niewspółpracującą z obiektem historycznym. Porównanie dwóch sposobów oparcia konstrukcji zewnętrznych schodów na ścianie wieży ciśnień położonej na terenie Politechniki Gdańskiej pozwala na zaobserwowanie zwiększonego negatywnego wpływu w przypadku utwierdzenia belki schodów w ścianie. Dla odczytanych naprężeń von Misesa, w miejscu połączenia konstrukcji nowo projektowanej z konstrukcją obiektu zabytkowego, wyniki różnią się 2-krotnie pomiędzy połączeniem sztywnym a przegubowym. Natomiast wyniki przemieszczeń pionowych w przypadku połączenia przegubowego są relatywnie większe niż w przypadku połączenia sztywnego.

#### 4. Podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników analizy numerycznej można stwierdzić, że wprowadzenie nowo projektowanych elementów konstrukcyjnych, mających współpracować z obiektami dziedzictwa kulturowego, może negatywnie wpływać na dotychczasową pracę tych obiektów. W takim przypadku należy rozważyć niezależną pracę konstrukcji klatki schodowej, windy lub innych elementów ułatwiających korzystanie z obiektów kultury. Po wynikach analizy numerycznej można stwierdzić, że najbardziej efektywnym połączeniem pomiędzy obydwoimi typami konstrukcji jest połączenie przegubowe. Naprężenia przy tego typu połączeniach są dwukrotnie mniejsze niż w przypadku połączenia sztywnego. Projekt renowacji, modernizacji lub przebudowy obiektu zabytkowego powinien być wykonany w taki sposób, aby maksymalnie ograniczyć wpływ oddziaływań na zabytek. Należy wziąć pod uwagę fakt, że są to obiekty historyczne, których materiał konstrukcyjny jest często w dużym stopniu zdegradowany. Dodatkowa ingerencja w strukturę obiektu mogłaby zachwiać jego pracę i spowodować znaczne zniszczenia. Dlatego ważne jest, aby wszelkie działania były dokładnie przemyślane. Pozwoli to na szybsze wyeliminowanie błędów i pomyłek podczas projektowania oraz modernizacji obiektów zabytkowych.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Projekt koncepcyjny klatki schodowej z tarasem widokowym
- [2] F. da Porto, M. Munari, A. Prota, C. Modena, Analysis and repair of clustered buildings: Case study of a block in the historic city centre of L'Aquila (Central Italy), *Construction and Building Materials*, Tom 38, Styczeń 2013, s. 1221–1237
- [3] Maurice Murphy, Eugene McGovern, Sara Pavia, Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Tom 76, Luty 2013, s. 89–102
- [4] Per Anker Jensen, Esmir Maslesa, Value based building renovation – A tool for decision-making and evaluation, *Building and Environment*, Tom 92, Październik 2015, s. 1–9
- [5] Wyciąg z dokumentacji projektowej zabytkowej wieży ciśnień zlokalizowanej na terenie Politechniki Gdańskiej
- [6] Kyehyung Lee, Youngtak Son, Seyoung Im, Three-dimensional variable-node elements based upon CS-FEM for elastic-plastic analysis, *Computers & Structures*, Tom 158, Październik 2015, s. 308–332
- [7] Aikaterini S. Genikomsou, Maria Anna Polak, Finite element analysis of punching shear of concrete slabs using damaged plasticity model in ABAQUS, *Engineering Structures*, Tom 98, 1 Wrzesień 2015, s. 38–48
- [8] Adjovi Tchalla, Salim Belouettar, Ahmed Makradi, Hamid Zahrouni, An ABAQUS toolbox for multiscale finite element computation, *Composites Part B: Engineering*, Tom 52, Wrzesień 2013, s. 323–333
- [9] K. Iyer, Solutions for contact in pinned connections, *International Journal of Solids and Structures*, Tom 38, Wydanie 50–51, Grudzień 2001, s. 9133–9148
- [10] A. Eslami, H.R. Ronagh, S.S. Mahini, R. Morshed, Experimental investigation and nonlinear FE analysis of historical masonry buildings – A case study, *Construction and Building Materials*, Tom 35, Październik 2012, s. 251–260