

mgr inż. Jan Biernacki^{1)*}

ORCID: 0000-0002-3573-4763

prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec¹⁾

ORCID: 0000-0001-9825-6343

mgr inż. Katarzyna Nowak¹⁾

ORCID: 0000-0003-0020-3417

prof. dr hab. inż. Leszek Szojda¹⁾

ORCID: 0000-0002-9919-6263

Warszawskie Koloseum – analiza budynku dawnego zbiornika na gaz

Warsaw Coliseum – analysis of the historic gas tank

DOI: 10.15199/33.2023.02.03

Streszczenie. Uszkodzenia obiektów zabytkowych wynikają najczęściej ze zużycia technicznego, procesów starzenia materiałów, a także ze zużycia funkcjonalnego i środowiskowego. W najgorszym stanie znajdują się poprzemysłowe obiekty zabytkowe, które nie spełniają obecnie swojej funkcji. Chcąc utrzymać taki obiekt, często trzeba dokonać gruntownej modernizacji oraz adaptacji do innych funkcji użytkowych. W artykule przedstawiono analizę zabytkowej konstrukcji dawnego zbiornika na gaz zlokalizowanego w Warszawie, na podstawie której określono najsłabsze jej elementy, a także sprawdzono nośność pozostałych istotnych komponentów. Dokonano oceny najsłabszych elementów konstrukcji i sprawdzono wytrzymałość poszczególnych fragmentów konstrukcji murej, stalowej oraz drewnianej. Na tej podstawie określono sposób adaptacji przedmiotowego obiektu do innych funkcji użytkowych.

Słowa kluczowe: adaptacja; architektura przemysłowa; budynek zabytkowy; konstrukcje murej; konstrukcje stalowe; rewitalizacja i ochrona obiektów; zbiornik na gaz.

Abstract. Damage to historic buildings is most often caused by technical wear and tear, ageing of materials, as well as functional and environmental wear and tear. In the worst condition are post-industrial historic buildings, which are currently not fulfilling their function. In order to maintain such a facility, it is often necessary to make a thorough modernization and adaptation to other usable functions. The article presents an analysis of the historic construction of the former gas tank located in Warsaw, on the basis of which its weakest elements were determined, as well as the load capacity of other important components was checked. The weakest elements of the structure were assessed and the strengths of individual fragments of the masonry, steel and wooden structure were checked. On this basis, the method of adaptation of the object to other usable functions was determined.

Keywords: adaptation; industrial architecture; historic building; masonry structures; steel structures; revitalization and protection of facilities; gas tank.

Obiekty zabytkowe należy właściwie zabezpieczać przed degradacją, aby pełniły swoją funkcję, a także nie powodowały zagrożenia życia lub zdrowia ludzi oraz bezpieczeństwa mienia i środowiska [1, 2]. Do najgorszej utrzymanych obiektów zabytkowych należą budynki poprzemysłowe. W celu utrzymania takiego obiektu konieczna jest jego gruntowna modernizacja, a często również adaptacja do innych funkcji [3 ÷ 8]. Istnieje wiele przykładów udanych inwestycji polegających na aranżacji istniejących, zabytkowych budynków zgodnie ze współczesnymi normami. Adaptacji zabytków do współczesnych funkcji praktycznie zawsze towarzyszą: modernizacja; prace remontowe wynikające ze względów technicznych, a także przebudowy i rozbudowy wy-

nikające z przyjętego programu użytkowego.

Powszechnie wiadomo, że problem adaptacji do nowych funkcji i związanej z tym rewitalizacji zbiorników gazu jest złożony [1]. Oprócz potrzeby zachowania, a także podkreślenia walorów zabytkowych, pojawiał się istotny problem skażenia chemicznego. Brak pomysłu na nową funkcję, brak funduszy oraz wyolbrzymianie wpływu zanieczyszczeń murów stały się głównym powodem podejmowanych masowo w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. rozbiórek zbiorników gazowych wyłączanych z eksploatacji [9, 10].

W artykule przedstawiono analizę zabytkowej konstrukcji zbiornika na gaz, zlokalizowanej w Warszawie przy ul. Generała Ignacego Prądzyńskiego 14A. Na jej podstawie określono najsłabsze elementy konstrukcji, sprawdzono ich nośność, wyznaczono poziom wytrzymałości poszczególnych fragmentów kon-

strukcji murej, stalowej oraz drewnianej i sformułowano sposoby adaptacji przedmiotowego obiektu do innych funkcji użytkowych.

Historia

Początki gazu datują się na drugą połowę XIX wieku. Nie był to jednak gaz ziemny, lecz gaz węglowy pozyskiwany w procesie odgazowywania węgla kamiennego [3, 4, 11, 12].

Pierwsze polskie gazownie węglowe powstawały kolejno we: Wrocławiu (1847 r.), Szczecinie (1848 r.), Gdańsku (1852 r.), Poznaniu (1856 r.) oraz Warszawie (1859 r.). Prawdziwy rozkwit technologii gazownictwa nastąpił jednak w latach sześćdziesiątych XX wieku, kiedy odnotowano ogromne zapotrzebowanie na gaz zarówno przeznaczony do przemysłu, jak i gospodarstw domowych [11]. Coraz większe zapotrzebowanie na gaz zostało zrewolucjonizowane przez zastosowanie gazociągów. W związku z tym w latach siedem-

¹⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

^{*}) Adres do korespondencji:
jan.biernacki@polsl.pl

dziesiątych XX wieku rozpoczęto masowe zamykanie gazowni węglowych, które nie przynosiły już dochodów, a jedynie generowały straty. Ostatnią gazownię węglową zamknięto w 1997 r. [11]. Zamiana trendu w wykorzystywaniu głównie gazu węglowego na gaz ziemny trwała na terenie Polski 30 lat.

Zbiorniki przeznaczone do magazynowania gazu musiały spełniać dwa podstawowe kryteria. Pierwszym z nich była zmienna pojemność magazynowa ze względu na zmienność produkcji gazu, jak i różne zapotrzebowanie, natomiast drugim kryterium była szczelność [3 ÷ 5, 13]. Powszechnym rozwiązaniem stosowanym przy tego typu konstrukcjach było stosowanie stalowego płaszcza (zbiornika) o potocznej nazwie dzwon. Dolną część zbiornika zalewano wodą, dzięki czemu uszczelniano go od dołu. Istniało kilka rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych, które można podzielić na zbiorniki:

- prowadzone przez podwieszenie za pomocą lin;
- w prowadnicach wykonanych jako słupy;
- w prowadnicach wykonanych jako ramownice;
- z prowadnicami spiralnymi;
- z dachem pływającym [3 ÷ 6, 13, 14].

W przypadku czterech pierwszych rozwiązań charakterystycznym elementem było dno wypełnione wodą. Ostatnie rozwiązanie można uznać za najekonomiczniejsze, nie wymagało wykorzystywania wody, a zatem budowy dodatkowego zbiornika na jej magazynowanie [3 ÷ 6, 13, 14]. Zależnie od czasów wzniesienia, do budowy zbiorników na gaz wykorzystywano takie materiały, jak kamienie, cegły, żelbet, żeliwo, żelazo lub stal.

Wraz z zakończeniem działalności zbiorników gazowych, na przestrzeni kilkudziesięciu ostatnich lat, systematycznie znikają nietypowe konstrukcje przedstawiające ówczesną, innowacyjną myśl techniczną. Na szczęście los był wyjątkowo łaskawy dla najbardziej charakterystycznych elementów warszawskiej Woli, jakimi są zabytkowe zbiorniki gazowe, czasami nazywane „warszawskimi Koloseami”. Znajdują się one w tylnej części starej gazowni przy ulicy Generała Ignacego Prądzyńskiego 14A (fotografia 1).



Fot. 1. Zbiorniki gazu na Woli w Warszawie przy u. Generała Ignacego Prądzyńskiego 14A

*Fot. D. Karsten
Photo 1. Gas tanks in Wola district in Warsaw at General Ignacy Prądzyński street 14A*

Photo D. Karsten

1867 r. przyniósł rozkwit technologii oświetlania ulic gazem. W związku z tym rozpoczęto budowę gazowni na Woli w Warszawie [15]. Wyższy ze zbiorników powstał w 1888 r. i do 1912 r. miał jedynie dwie kondygnacje, po czym zostały dobudowane kolejne dwie. Natomiast niższy z nich powstał w 1900 r. i nigdy nie modyfikowano jego wysokości (od początku ma trzy kondygnacje) [16]. Oba budynki przetrwały dwie wojny światowe w dość dobrym stanie technicznym (fotografia 2). W czasie drugiej wojny światowej konstrukcja dachu uległa praktycznie całkowitemu zniszczeniu, gdyż wpadła do środka obiektu budowlanego [16].

Ze względu na neoromańskie dekoracje zbiorniki wyróżniają się ciekawą architekturą na tle innych obiektów budowlanych [16]. Niestety od lat siedemdziesiątych XX wieku, kiedy era gazu węglowego dobiegła końca, budynki stoją puste i czekają na tchnięcie w nie



Fot. 2. Zbiornik gazu w czasie II wojny światowej

*Fot. <https://fotopolska.eu/Warszawa/b330817,Wnetrze.html? f=1127073-foto>
Photo 2. Gas tank during World War II
Photo: <https://fotopolska.eu/Warszawa/b330817,Wnetrze.html? f=1127073-foto>*

drugiego życia. Istniało wiele pomysłów co do możliwości wykorzystania tych zbiorników. Jednym z nich był plan na stworzenie w nich Muzeum Powstania Warszawskiego, ale ostatecznie wybrano inną lokalizację. Obecnie budynki znajdują się w rękach prywatnych i dzięki Fundacji Rodziny Biernackich mają realną szansę na uzyskanie unikatowego wizerunku na skalę europejską [16].

Charakterystyka obiektu

Budynki starych zbiorników (fotografia 3) mają nietypowy kształt w stosunku do obecnie powstających konstrukcji murowanych. Wysokość całkowita cylindra wyższego wynosi nawet 43,50 m, a średnica zewnętrzna – 55,05 m. Konstrukcja stalowa dachu jest oparta na murowanych pilastrach o wysokości 31,75 m. Grubość ściany wynosi 83 cm. W murze występuje też wiele elementów zwiększających sztywność całej konstrukcji, np. przypory (zlokalizowane od strony zewnętrznej) oraz wspomniane pilastry służące możliwości oparcia konstrukcji stalowej dachu. Maksymalna grubość ściany wraz z przyporą oraz pilastrem wynosi ok. 236 cm.



Fot. 3. Zabytkowy zbiornik gazu

*Fot. archiwum autorów
Photo 3. Historic gas tank
Photo by authors archive*

Dawniej wewnątrz murowanej obudowy znajdował się płaszcz stalowy. To on był zbiornikiem, w którym przechowywano gaz. Ten element jednak nie przetrwał do naszych czasów. Trudno też znaleźć wzmiankę o jego parametrach i rodzaju stali, z jakiej został wykonany. Jedyne, co udało się znaleźć, to informacja, że składał się z kilku cylin-

drycznych segmentów wchodzących jeden z drugim. Wysuwał się pod wpływem ciśnienia gazu wraz ze zwiększeniem jego objętości. Ciekawym detalem były również zamki między poszczególnymi ruchomymi segmentami. Aby zapewnić szczelność połączeń, zastosowano wyprofilowane „rynienki” wypełnione wodą (ciecz uniemożliwiała ulatnianie się gazu). Magazynowanie gazu w zbiornikach zakończono w 1978 r. i wówczas zdemontowano ich elementy stalowe. Gdyby przetrwały do dziś, stanowiłyby nie lada atrakcję, ale utrudniłyby modernizację oraz zmianę funkcji obiektu [17].

Ciekawym fragmentem całej konstrukcji jest dach (fotografia 4), z nietypową geometrią w postaci stalowej kopuły z wypiętrzoną świetlikiem w centralnej części. Elementem obrazującym zmiany technologiczne w budownictwie jest np. sposób wykonywania kształtowników stalowych typu T. W czasach wznoszenia konstrukcji dachu jedynym sposobem na wykonanie dźwigara dachowego o przekroju teowym było połączenie za pomocą nitów L 80 x 80 x 8 i płaskownika 240 x 10. Do płatwi drewnianych przymocowane zostało deskowanie pełne oraz warstwa izolacji termicznej i przeciwwodnej. Elementy nowego poszycia dachowego zostały niedawno wykonane w trakcie remontu.



Fot. 4. Konstrukcja dachu wraz ze świetlikiem
Fot. archiwum autorów
Photo 4. Roof construction with skylight
Photo by authors archive

Stan techniczny obiektu

Od wielu lat budynki były narażone na działanie niekorzystnych warunków atmosferycznych, także od wewnątrz przez nieszczelne pokrycie dachu. Taki stan spowodował liczne problemy zwią-

zane z korozją biologiczną zaprawy i cegieł w górnej części budynku (fotografia 5). Efekt utlenienia się stali w postaci rdzawego nalotu [18 ÷ 20] pokazano na fotografii 6. Wżery rdzy znajdują się na większości powierzchni stalowych profili. Można też zaobserwować znaczną degradację stali nie tylko na konstrukcji dachu, lecz też na belkach stalowych będących częścią gzymsu (fotografia 7). Warto wspomnieć o spróchniałych elementach drewnianych, z których wykonane zostały fragmenty dachu. Drewno wykorzystano do wykonania pełnego deskowania połaci oraz płatwi dachowych.

Pozostała część konstrukcji murewnej nie wykazywała znacznych śladów degradacji. Nie zaobserwowano rys czy też pęknięć wskazujących na duży sto-



Fot. 5. Korozja biologiczna cegieł i zaprawy oraz stalowego elementu obwodowego
Fot. materiały od inwestora
Photo 5. Biological corrosion of bricks and mortar and steel peripheral element
Photo by Investor archive



Fot. 6. Utlenienie się stali na więzarach dachowych
Fot. materiały od inwestora
Photo 6. Oxidation of steel on roof trusses
Photo by Investor archive



Fot. 7. Wżery rdzy na belce w gzymsie
Fot. materiały od inwestora
Photo 7. Rust pits on the beam in the cornice
Photo by Investor archive

pień wyężenia konstrukcji czy jej nierównomiernego osiadania. Mur miał jedynie odłamane fragmenty cegieł od strony zewnętrznej, które w trakcie remontu zostały wymienione na nowe z zachowaniem oryginalnych parametrów i kształtu.

W ramach prac konserwacyjnych wymieniono poszycie dachowe, naprawiono elewację i wykonano odwodnienie. Były to prace zabezpieczające, lecz dzięki nim konstrukcja może oczekiwać na kolejne etapy modernizacji przy minimalnym ryzyku powstawania uszkodzeń muru i stali przez wodę wnikającą przez nieszczelny dach.

Analiza statyczno-wytrzymałościowa

Przestrzenny model numeryczny obiektu zbudowano w programie AxisVM [17]. Na podstawie oględzin i archiwalnej inwentaryzacji starano się wiernie go odwzorować w postaci obliczeniowego modelu MES [11, 14, 21 ÷ 23]. Ze względu na braki w dokumentacji konieczne było zastosowanie uproszczeń. Nie było możliwości przeprowadzenia dokładnych badań diagnostycznych polegających np. na wykonaniu odwierćników w murze. Założono, że mur wykonano z cegły pełnej klasy 15 oraz zaprawy klasy 2,5 (dane te przyjęto na podstawie wcześniej stosowanych materiałów). Warto zwrócić uwagę, że obiekt powstał ponad 130 lat temu. Podczas wizji lokalnej nie zaobserwowano śladów sugerujących błędne wykonanie ścian murewanych i to pozwoliło założyć klasę wykonania robót A. Rozbieżności zauważono między inwentaryzacją z lat osiemdziesiątych i informacjami zawartymi w ekspertyzie [24]. Doty-

czą one np. grubości ścian murowanych. Zgodnie z projektami archiwalnymi mury charakteryzują się jednakową grubością na całej wysokości obiektu, natomiast jedna z ekspertyz wykonywanych obecnie wskazuje na ich zmienną grubość. Ostatecznie wizja lokalna potwierdziła, że przekrój ściany jest zgodny z dokumentacją archiwalną. W związku z tym w modelu zachowano wymiary muru zgodne z projektem archiwalnym. Podczas oględzin stwierdzono też inne rozbieżności ze stanem faktycznym, m.in. różnicę w przypadku wysokości pilastrów murowanych, na których oparta jest konstrukcja dachu. W rzeczywistości znajduje się ona kilkadziesiąt centymetrów niżej niż wysokość określona w inwentaryzacji z lat osiemdziesiątych.

Przeanalizowano również konstrukcję stalową dachu. Ekspertyza tej części obiektu była wykonywana dwukrotnie: w latach dziewięćdziesiątych XX w. oraz w 2017 r. Z dużą dozą prawdopodobieństwa można stwierdzić, że dźwigiary główne zostały zinwentaryzowane prawidłowo, ponieważ jest do nich dostęp z poziomu galerii technicznych zlokalizowanych na murowanych pilastrach. Profil główny określono jako kształtownik o przekroju T złożony z dwóch kątowników L 80 x 80 x 8 i płaskownika 240 x 10. Konstrukcja dachu została zamodelowana na podstawie istniejącej dokumentacji technicznej z uwzględnieniem przekrojów elementów zinwentaryzowanych, dostępnych z galerii. Dzięki temu model nie ogranicza się jedynie do ścian murowanych, ale tworzy spójną całość z zadaniem. Model konstrukcji stalowej jest uproszczony i nie uwzględnia dokładnych parametrów stali, z której został wykonany (nie prowadzono badań materiałowych stali). Zgodnie z monografią [25] w II połowie XIX w. elementy stalowe budynków przemysłowych były wykonywane najczęściej z żeliwa, a zawartość węgla w nich wynosiła $2,5 \div 4,5\%$. Należy podkreślić, że w tamtych czasach produkcja nie była określona normami, więc proces wytwarzania elementów z żeliwa nie dawał pewności co do uzyskanych parametrów (produkcja nie była unormowana). Pierwsze przepisy dotyczące produkcji wyrobów żelaz-

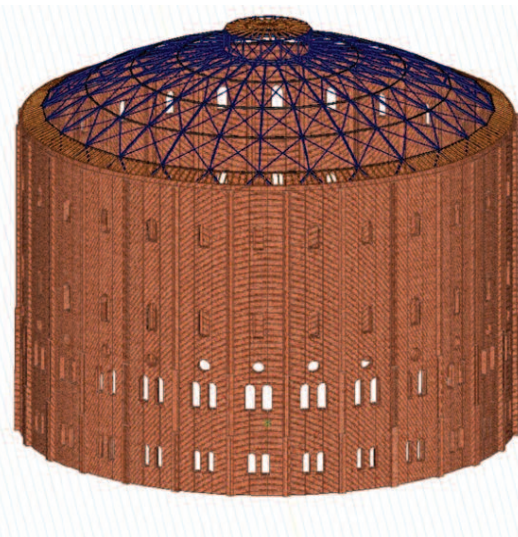
nych powstały dopiero po ponad trzydziestu latach od odzyskania przez Polskę niepodległości [25].

Dach ma kształt kopuły ze świetlikiem zlokalizowanym w centralnej części, wyniesionym 2,5 m ponad kopułę. Na konstrukcji stalowej widoczne są lokalne ślady korozji, będące jedynie nalotem i zgodnie z ekspertyzą nie zmniejszyła ona nośności profili. Górna oraz dolna krawędź świetlika zakończona jest stalowym pierścieniem obwodowym odpowiednio z kształtownika IPE240 oraz płaskownika o przekroju 270 x 35 mm. W celu zmniejszenia długości wyboconej więźby głównych zastosowano obwodowo drewniane płatwie o przekroju 100 x 140 w rozstawie co ok. 1000 mm.

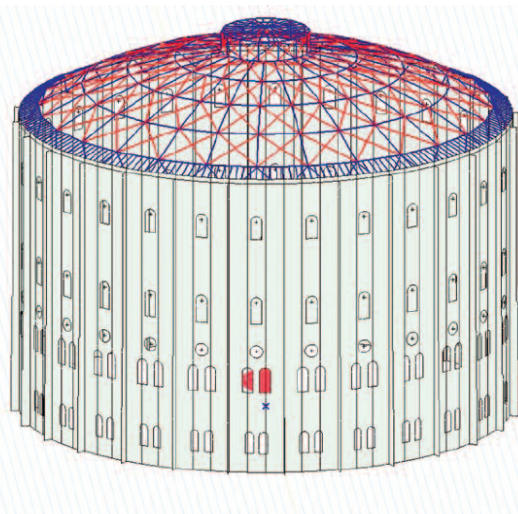
W modelu uwzględniono podstawowe obciążenia, takie jak: ciężar własny konstrukcji murowej, stalowej oraz warstw wykończeniowych dachu, obciążenie wiatrem oraz śniegiem. Warstwy wykończeniowe dachu wraz z deskowaniem pełnym oszacowano na 0,8 kN, a ciężar płatwi – 0,5 kN. W obliczeniach pominięto wartości obciążeń użytkowych, gdyż obecnie praktycznie nie występują. Na rysunku 1 przedstawiono model, w którym uwzględniono wszystkie elementy konstrukcji oraz otwory w ścianach, a na rysunku 2 ten sam model jako zbiór elementów przygotowany do analizy MES. Elementy ściennne zostały zadane jako panele (elementy powierzchniowe), natomiast elementy konstrukcji dachu jako pręty kratowe [21, 23]. Model wykonano jako liniowo sprężysty.

W kopule maksymalna wartość siły rozciągającej występuje na dolnym wieńcu stalowym i wynosi ok. 930 kN. Natomiast najbardziej ścisłym elementem kopuły jest pierścień górny, który przenosi siłę o wartości ponad 440 kN. Przeprowadzono analizę stanu naprężeń [16, 22] w murowanej konstrukcji ścian i pilastrów. Na rysunku 3 widoczna jest koncentracja maksymalnych naprężeń w dolnym fragmencie konstrukcji

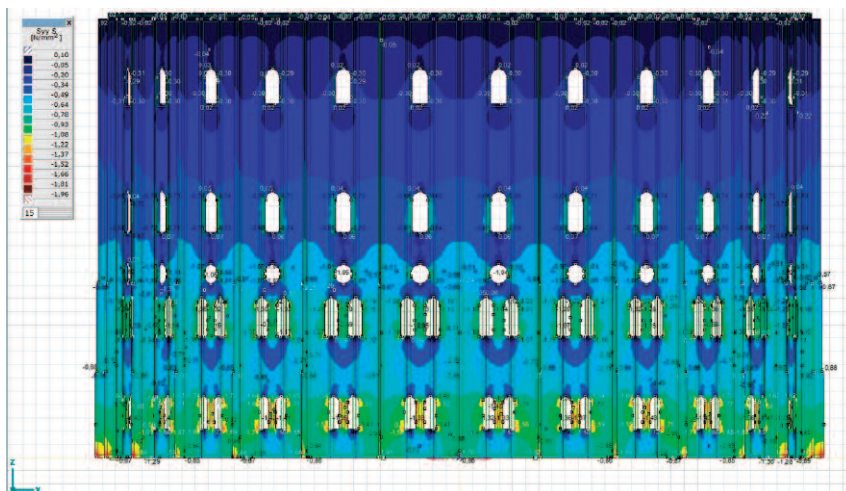
oraz w rejonie otworów okiennych (zaznaczone kolorem zielonymi). Można zauważyć, że naprężenia normalne rozciągające występują jedynie w nadprożach okiennych. Są to znikome wartości wynoszące ok. 1,5% wartości wytrzymałości muru na rozciąganie. Na rysunku 4 widoczny jest sposób działania naprężeń normalnych rozciągających pod wpływem zadanych sił. Maksymalne obliczone pionowe przemieszczenie wyniosło 53 mm i występowało ono mniej więcej w połowie rozpiętości wiązarów stalowych. Model deformacji pionowych zaprezentowano na rysunku 5.



Rys. 1. Model analizowanego obiektu
Fig. 1. Model of the analyzed object

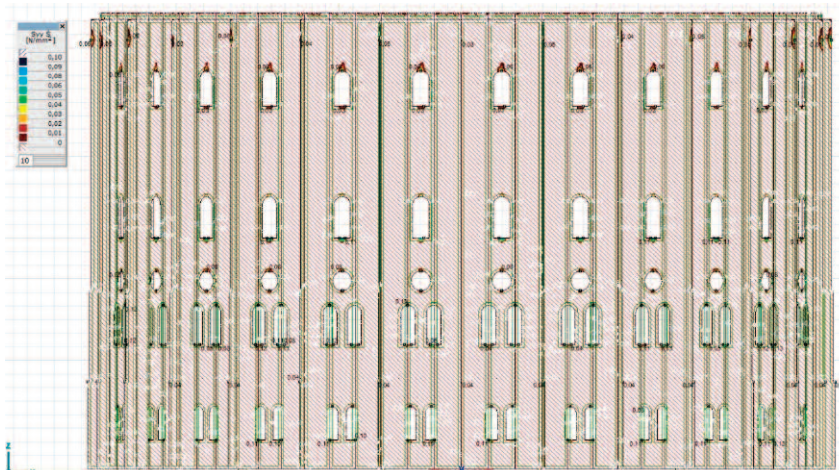


Rys. 2. Model analizowanej budowli jako elementy powierzchniowe oraz pręty kratowe
Fig. 2. Model of the analyzed structure as surface elements and lattice bars

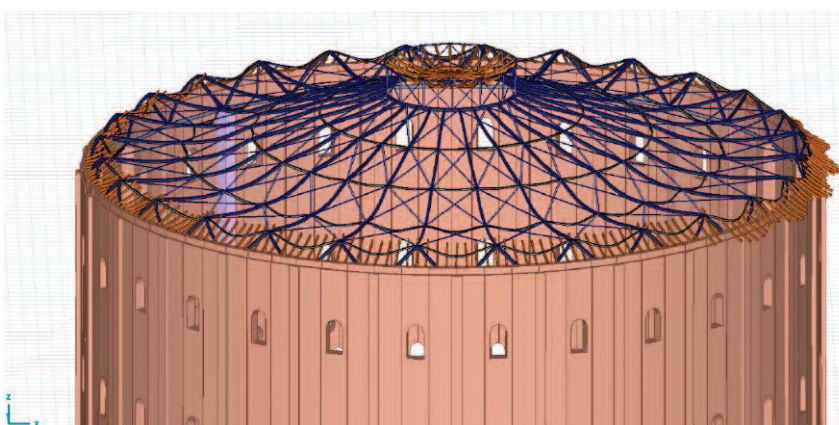


Rys. 3. Mapa naprężeń normalnych ściskających
 Fig. 3. Map of normal compressive stresses

Nośność konstrukcji sprawdzono zgodnie z aktualnymi normami. Konstrukcję murową podzielono na trzy fragmenty: mur między pilastrami, pilastr zewnętrzny oraz mniejszy pilastr wewnętrzny. Po wykonaniu obliczeń i zwymiarowaniu wymienionych fragmentów można stwierdzić, iż mur spełnia aktualne normy, a jego wyężenie nie zagraża funkcjonowaniu budynku w obecnej postaci. Mur między pilastrami jest wyężony w ok. 79%, przy czym jako wyężenie rozumie się stosunek największego naprężenia normalnego ściskającego do założonej wytrzymałości muru (klasa cegły 15 MPa; klasa zaprawy 2,5 MPa). Dokładne parametry przedstawiono na rysunku 6. Pilastr zewnętrzny ma bardzo dużą rezerwę nośności, gdyż obecnie wykorzystano jedynie 40%. Pilastry wewnętrzne, na których bezpośrednio oparta jest konstrukcja dachu, również są stabilne, a nośność wykorzystano w 72%. Po wykonaniu analizy stanu omawianego obiektu można stwierdzić, że konstrukcja murowa jest w dobrym stanie technicznym. Nie stwarza zagrożenia dla użytkowników przy obecnym sposobie eksploatacji. Warto jednak wspomnieć, że do obliczeń ostrożnie przyjęto wartości wytrzymałości poszczególnych materiałów, dające duży zapas bezpieczeństwa konstrukcji w przypadku obecnego przeznaczenia obiektu. W celu innego wykorzystania konstrukcji konieczne jest dokładniejsze wyznaczenie parametrów wytrzymałości muru.



Rys. 4. Mapa naprężeń normalnych rozciągających
 Fig. 4. Map of normal tensile stresses



Rys. 5. Deformacje konstrukcji dachu (skala deformacji x15)
 Fig. 5. Deformation of the roof structure (deformation scale x15)

Podsumowanie

Po przeprowadzeniu analizy obliczeniowej konstrukcji omawianego zbiornika gazu o obudowie ceglanej z zada-

zeniem stalowym można uznać, że konstrukcja murowa jest zachowana w dobrym stanie i nie stwarza zagrożenia dla jej użytkowania w obecny sposób. Wartości naprężeń występujących w pilastrze zewnętrznym, wewnętrznym i w ścianie murowanej pomiędzy nimi nie są przekroczone. Z wymienionych elementów największe wyężenie wykazuje ściana wypełniająca pomiędzy pilastrami, jednak nie jest ono nawet bliskie granicznemu. Wyężenie wynosi ok. 80%, co daje wystarczający margines nośności w przypadku założonych wartości wytrzymałości muru na ściskanie. Przed ostatecznym wydaniem zaleceń adaptacyjnych należałoby dodatkowo sprawdzić jakość muru wewnątrz ściany

na różnej wysokości oraz określić jego rzeczywiste parametry wytrzymałościowe (zaprawy oraz elementu murowego) dostępnymi metodami diagnostycznymi

Właściwości materiału

Nazwa:

Typ:

Bieżąca norma projektowa:

Krajowa norma projektowa:

Norma materiału:

Linie właściwości

Izotropowy Ortotropowy

E_x [N/mm²] = ρ [kg/m³] =

E_y [N/mm²] = α_T [1/°C] =

ν =

Nieliniowe właściwości

Model materiału / kryterium plastyczności

Wykres naprężenie-odkształcenie

Wg parametrów

E [N/mm²] =

E_T [N/mm²] =

σ_{yT} [N/mm²] =

σ_{yC} [N/mm²] =

Wg funkcji

Sciskanie dwuosiowe (Bresler-Pister)

C_{yB} = σ_{yB} [N/mm²] =

Wzmocnienie odkształceniowe

β =

Szywność

Kolor:

Kolor konturu:

Tekstura:

Param. wymiarowania muru

Spoina pionowa:

f_b [N/mm²] =

f_k [N/mm²] =

f_{vk0} [N/mm²] =

f_{xk1} [N/mm²] =

f_{xk2} [N/mm²] =

$f_{vk,lim}$ [N/mm²] =

ϕ_{∞} =

γ_M =

Powierzchnia uplastycznienia

Rys. 6. Założone parametry wytrzymałościowe muru
Fig. 6. Assumed strength parameters of masonry

mało inwazyjnymi. Opisana w artykule analiza dotyczyła jedynie części nadziemnej budynku (od poziomu terenu). Przed przystąpieniem do prac modernizacyjnych należałoby przeanalizować również żelbetową część podziemną budowli, stanowiącą jednocześnie fundament konstrukcji murowanej.

Walory zabytkowe zbiorników gazu [12, 26] determinują trzy najważniejsze elementy: przede wszystkim charakterystyczna bryła, elewacja oraz rodzaj zastosowanego materiału [10, 18 ÷ 20]. To właśnie na nich powinna się skupiać największa uwaga podczas prowadzenia prac modernizacyjnych przez inwestora, gdyż obiekt budowlany o silnie przekształconej bryle czy elewacji nie może być już traktowany jako zabytek [8]. Po odpowiedniej rewitalizacji i adaptacji do nowych funkcji zbiorniki gazu zlokalizowane na Woli w Warszawie będą doskonale służyć przyszłym użytkownikom.

Literatura

- [1] Bednarz Ł. Metody wzmacniania zabytkowych zakrzywionych konstrukcji ceglanych. Wiadomości Konserwatorskie. 2003; 14: 34 – 42.
- [2] Czapliński K, Gawron K. O technikach wykonania ceglanych konstrukcji murowych. Wiadomości Konserwatorskie. 2009; 26: 218 – 223.
- [3] Berger B. How technology turned into architecture. What is a gasholder and how was it converted into a building-type of its own? Review 2018 – 2019. Magazine of the TUM Department of Architecture. 2019; 6: 76 – 77.
- [4] Berger B. The gasholder – shaped by its function. The Italian example. 5th International Congress on Construction History. 2015; 203 – 210.
- [5] Fiorino L, Landolfo R, Mazzolani FM. The refurbishment of gasometers as a relevant witness of industrial archaeology. Engineering Structures. 2015; 84: 252 – 265.
- [6] Haiying L. History, types and regeneration of gasholders. The 2nd International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations. AHTI 2020; 318 – 324.
- [7] <https://wola.waw.pl/przewodnik-po-woli/59429/>.
- [8] Szymgin B. Adaptacja obiektów zabytkowych do współczesnych funkcji użytkowych. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej. 2009.

[9] Lewicki B. Ocena bezpieczeństwa istniejących konstrukcji murowych. Prace Instytutu Techniki Budowlanej. 1998; 4 (108): 3 – 8.

[10] Kawulok M. Diagnostowanie budynków zlokalizowanych na terenach górniczych. Poradnik. Instytut Techniki Budowlanej. Warszawa 2021.

[11] Majewski S, Szojda L. Analiza numeryczna złożonego stanu naprężeń w konstrukcjach murowych. XLVIII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB „Krynica 2002”, 179 – 186.

[12] Palacz T. Wielkopolskie gazownie. Ochrona Zabytków. 2006; 3: 97 – 111.

[13] Berkowski P, Kosior-Kazberuk M. Historyczna analiza konstrukcyjna wrocławskich zbiorników gazu z XIX i XX wieku. Materiały Budowlane. 2017; 11: 97 – 99.

[14] Russell T. The history of the gasholder. IGM Gasholder Conference. 2014; 1 – 29.

[15] Barszcz M. Latarnie gazowe Warszawy. Ochrona Zabytków. 2003; 1-2: 122 – 133.

[16] Lewicki B. Diagnostyczna wytrzymałość obliczeniowa betonu i muru. Prace Instytutu Techniki Budowlanej. 2002; 3 (123): 9 – 10.

[17] Biernacki J. Analiza statyczno-wytrzymałościowa zabytkowego zbiornika gazowniczego – praca magisterska – całość. Archiwum Politechniki Śląskiej – Wydział Budownictwa. 2021.

[18] Drobiec Ł. Naprawa rys i wzmocnienia murowanych ścian. XXX Jubileuszowe Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji. 2015. Szczyrk, 25-28 marca 2015, tom I, 323 – 398.

[19] Drobiec Ł. Przyczyny uszkodzeń murów. XXII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Szczyrk, 7-10 marca 2007, tom I, 105 – 147.

[20] Zawasa S. Problem wzmacniania spękanych murów i sklepień w obiektach zabytkowych. Ochrona Zabytków. 2017; 4 (67): 37 – 39.

[21] Kania S, Kania T, Pietraszek P. Rewitalizacja budynków przemysłowych z wykorzystaniem bloków gipsowych na przykładzie loftów w Tallinnie. Wiadomości Konserwatorskie. 2009; 26: 510 – 517.

[22] Szojda L. Możliwości analizy numerycznej konstrukcji murowej. XLVII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB. 2001; 385 – 392.

[23] Szojda L. Numerical analysis of masonry structures. 8th International Masonry Conference. 2010; 1009 – 1016.

[24] Pachowski P. Ekspertyza stanu technicznego obiektów dawnych obudów zbiorników gazu przy ul. Prądzyńskiego w Warszawie wraz z wytycznymi ich remontu i określeniem wymagań konstrukcyjnych odnośnie możliwości dalszej eksploatacji. 2017.

[25] Czapliński K, Wydra W. Gatunki stali i asortyment w ujęciu historycznym. XXXI Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji. Szczyrk, 24-27 lutego 2015, 559 – 615.

[26] Rucka M, Zielińska M. Wybrane metody wzmacniania ceglanych obiektów zabytkowych. Materiały Budowlane. 2017; 11: 29 – 30.

Przyjęto do druku: 23.01.2023 r.